

СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИЙ ІНСТИТУТ – НАЦІОНАЛЬНИЙ
ЦЕНТР НАСІННЄЗНАВСТВА ТА СОРТОВИВЧЕННЯ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФАНІН ЯРОСЛАВ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 633.11: 577.11: 631.8

ДИСЕРТАЦІЯ


«СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ТА
ПОКРАЩЕННЯ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЗЕРНА
ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ *TRITICUM AESTIVUM L.*»

201 Агрономія

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Фанін Я. С.

Наукові керівники:

Литвиненко Микола Антонович,
доктор сільськогосподарських наук,
професор, академік НААН;

Молодченкова Ольга Олегівна,
доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник

м. Одеса – 2023

АНОТАЦІЯ

Фанін Я.С. Селекційно-генетичні аспекти формування та покращення біохімічних показників якості зерна озимої м'якої пшениці *Triticum aestivum* L. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агронімія. – Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення. Одеса, 2023.

У дисертаційній роботі викладено результати досліджень сучасних сортів озимої м'якої пшениці із СГІ–НЦНС, вітчизняних і закордонних селекційних установ, які найбільш поширені в Україні. В досліджах головним чином порівнювались сучасні сорти з сортами попередніх етапів селекції для виявлення найбільших селекційних змін для сучасних сортів. Дослідження здійснювали за показниками елементів структури врожаю, вмістом білка та інших біохімічних показників у зерні, а також рівнем седиментації.

У роботі була задіяна колекція інтрогресивних ліній як можливих донорів високої білковості. Це лінії з геном *GPC-B1* (6 шт) від *Triticum dicoccoides* та лінії з генами від *Aegilops tauschii* (18 шт). Цей матеріал досліджувався за врожайністю, масою 1000 зерен, вмістом білка в зерні, фракційним складом білка, рівнем седиментації та вмістом мікроелементів. Було виявлено суттєвий вплив гена *GPC-B1* на процес накопичення та реутилізації азотовмісних сполук у порівнянні з дією інших генетичних систем.

Розпочата селекційна програма на базі нового генетичного матеріалу, внаслідок чого розроблені методичні прийоми введення гена *GPC-B1* та іншого інтрогресивного матеріалу в місцевий генофонд озимої м'якої пшениці для оптимізації селекційних прийомів вирощування пшениці озимої, які спрямовані на покращення біохімічної якості зерна, встановлені ефективні методи селекції на підвищення вмісту білка та інших господарсько цінних ознак.

В результаті аналізу найбільш поширених сортів озимої м'якої пшениці встановлено, що їх врожайність була на рівні 5,88 – 6,77 т/га, це в 1,32 – 2,25 раза більше, ніж у сортів попередніх етапів селекції. Виявлені суттєві селекційні зміни в ретроспективному аналізі, які вплинули на врожайність досліджених сортів. Так, зменшення висоти рослин, в порівнянні з сортами ранніх етапів селекції, варіювало від 19,1 до 26,5 %, що зумовило збільшення зерновою частки у співвідношенні зернової та вегетативної маси від 32 – 40 % у сортів ранніх етапів селекції до 42 – 48 % у сучасних сортів. Показник маси зерна з одного колоса у сучасних сортів також значно підвищився у порівнянні з представниками сортів ранніх етапів селекції. Маса зерна з одного колоса у сучасних сортів на 76 – 94 % у відносних величинах більша в порівнянні з масою сортів давнішої селекції. Серед сортів СГІ–НЦНС майже кожен четвертий сорт (24,8%) мав масу 1000 зерен понад, ніж 40 грамів. Проте лише 12,3 % сортів інших наукових установ України досягли такого показника. Таким чином, стійкий прогрес у нарощуванні маси 1000 зерен показували тільки сорти селекції СГІ–НЦНС та тільки деякі сорти з інших установ України.

На фоні значних успіхів у підвищенні врожайності сучасних сортів, виявлена перевага сортів ранніх етапів над сортами сучасної селекції за вмістом білка – від 10,4 до 14,8 % у відносних величинах. Найменша різниця спостерігалась за білковістю між сортами ранніх етапів і групою сортів з Українських установ (в середньому на 13,8 % у варіанті внесення добрив N 60 і 10,4 % у варіанті N 120). Найбільша різниця за білковістю зерна спостерігалась у сортів іноземної селекції у двох варіантах живлення – 14,8%.

З отриманих результатів вивчення рівня седиментації було зроблено висновок, що майже всі досліджені сорти в середньому по групах поступалися сортам ранніх етапів селекції. Виключенням був рівень седиментації сортів Української селекції у варіанті внесення добрив N 60, в порівнянні з сортом Пилипівка. Встановлені були високі рівні кореляції між

вмістом сирого протеїну та рівнем седиментації в різних групах сортів $r = 0,77 - 0,98$. Рівень седиментації зменшувався в середньому по сортах (від сортів СГІ-НЦНС до сортів іноземної селекції) у межах від 34,8 до 7,1 %

Отримані результати дали змогу зробити висновок, що сорти української та іноземної селекції поступаються місцевим сортам (СГІ-НЦНС) за продуктивністю та якістю зерна. Для селекції на поліпшення біохімічної якості зерна необхідно залучати сорти саме СГІ-НЦНС, які в собі найбільш вигідно поєднують як елементи продуктивності, так і біохімічні показники якості зерна.

Встановлено, що досліджені інтрогресивні лінії з геном *GPC-B1* та з генами від *A. tauschii* мали достатню продуктивність, щоб переважати за врожайністю такі сорти, як Колонія, Годувальниця та інші в середньому на 6 % відносних величин. Виявлено, що у роках з оптимальними умовами наявність гена *GPC-B1* не призводила до зменшення врожайності, але за дефіциту вологи спостерігалось зниження цього показника на 8,2 – 10,2 % у відносних величинах. Також з отриманих даних треба відмітити, що серед інтрогресивних ліній є декілька, які стабільно по роках і варіантах удобрення мали результати за врожайністю на рівні чи більші, ніж найврожайніші сорти-стандарти. Це – AIL96ф/18, E 1089-19, NIL4, Er 9155 та Er 9200.

Серед досліджених інтрогресивних ліній найбільшу МТЗ мали лінії з генами високої білковості від *A. tauschii*. Серед найкрупнозерних були лінії PIL814/13, H 242-197-2, E2778/14 і PIL355PH18. Вони перевищували за цим показником сорти-стандарти на 3 – 9 г та стабільно, незалежно від року і доз добрив, мали МТЗ понад за 40 г. Лінії з геном *GPC-B1* не мали значно підвищених показників МТЗ, але була виділена лінія *GPC-B1* 9200, у якої були достовірно вищі показники МТЗ, ніж у сортів-стандартів.

Виявлено, що лінії з геном *GPC-B1* та генами від *A. tauschii* мали однакові показники вмісту білка в межах 12,7 – 14,0% й 12,7 – 13,9 % залежно від варіанту внесення добрив (N 60 і N 120 відповідно). Найвищий вміст білка в зерні серед сортів-стандартів був у Одеської 16. В залежності

від року і варіанту внесення добрив аналогічний рівень білковості показали від однієї до дев'яти ліній з генами від *A. tauschii*, тобто в кращому випадку 50 % досліджених ліній. Серед них можна виділити Е 1598/12, P1L814/13, A1L379/18 та F268-14. Всі лінії з геном *GPC-B1*, за винятком варіанту N 120 у 2022 році, мали вміст протеїну на рівні сорту Одеська 16.

Виявлено, що наявність гена *GPC-B1* в інтрогресивних лініях значно підвищувала рівень седиментації. Лінії-носії гена *GPC-B1* за рівнем седиментації перевищували в середньому на 19-19,4 мл сорти-стандарти, на 9,5- 9,8 мл – лінії з генами від *A. tauschii* та на 8,4-12,0 мл – сестринську лінію без гена *GPC-B1*. Було виявлено декілька ліній з генами від *A. tauschii*, які стабільно, незалежно від року і дози мінеральних добрив показували вищий високий рівень седиментації, ніж сорти-стандарти. Це – лінії A1L379/18, P1L814/13, P1L690/18, N1L2, Eг 1598/12 та Е 1089-19.

Встановлено, що ген *GPC-B1* має вплив як на процеси накопичення, так і на реутилізацію азотовмісних сполук. Лінії-носії гена *GPC-B1* в нашому досліді мали достовірну різницю як у накопиченні, так і реутилізації азотовмісних сполук в порівнянні з сестринською лінією без гена *GPC-B1* у межах 2,7 – 45,0 % відносних величин, залежно від року та варіанту дози добрив. Також встановлена різниця (у межах 13,0 – 54,6 % відносних величин) у реутилізації азоту в листках і стеблах між лінією-носієм гена *GPC-B1* й сортами-носіями таких генетичних систем, як гени короткостебловості, пшенично-житні транслокації, алелі – носії високих хлібопекарських показників. У ліній з геном *GPC-B1* відсоток реутилізації азоту був вищий, ніж у інших генотипів, що пояснює природу підвищеного вмісту сирого протеїну в зерні генотипів з геном. Ці особливості накопичення та реутилізації азотовмісних сполук та формування якості зерна у ліній-носіїв гена *GPC-B1* можуть бути використані в якості надійного маркера фенотипової ідентифікації цього гена.

Внаслідок відпрацювання методичних прийомів введення гена *GPC-B1* та іншого інтрогресивного матеріалу в місцевий генофонд озимої м'якої

пшениці встановлені чіткі закономірності. Виявлена значно більша диференціація за показниками якості зерна у варіанті з підвищеною дозою добрив, внаслідок чого зростає ефективність добору. Використання розрідженого посіву (ширина міжряддя 30 см) в поєднанні з високим агрофоном азотних мінеральних добрив дає змогу найбільш ефективно виявляти генотипи з високим вмістом білка.

Встановлено, що використовуючи такі методи, як визначення білка з використанням інфрачервоного аналізатора на первинних ланках селекції (F3-5) з подальшою перевіркою методом К'ельдаля, рівня седиментації методом SDS-30 на первинних ланках селекції (F3-5) з подальшою перевіркою реологічних властивостей тіста на альвіографі (F5-6), можна створити вихідний матеріал з підвищеним вмістом білка та показниками якості сильних пшениць.

Внаслідок введення гена *GPC-B1* та іншого інтрогресивного матеріалу в місцевий генофонд були виявлені та відібрані лінії (в кількості від 3,1–6,6 % від початкової кількості ліній, залежно від гібридної комбінації), які стабільно за роками забезпечували високий вміст білка. Для прискорення ідентифікації таких ліній можливе використання різних екологічних зонах сортовипробування, або різних агрофонів.

В результаті добору за фенотиповими ознаками, відібрані лінії були досліджені на наявність гена *GPC-B1*. Частота таких ліній в наших дослідженнях в залежності від гібридної комбінації знаходилась у межах 1,7–2,4 %. Таким чином, досліджені лінії проходять подальше вивчення в конкурсних екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах, як можливі кандидати для передання нового сорту до Державного сорто випробування.

Ключові слова: озима м'яка пшениця, сорт, погодні умови, показники якості зерна, продуктивність рослин, вміст білка, фракції білка, мікроелементи, хлібопекарські властивості, седиментація, структура врожаю,

врожайність, маса тисячі зерен, азотне підживлення, *Triticum aestivum* L., *GPC-B1*, *Aegilops tauschii*, *Triticum dicoccoides*.

SUMMARY

Fanin Ya.S. Selection and genetic aspects of formation and improvement of biochemical parameters of grain quality of winter soft wheat *Triticum aestivum* L. - Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 201 Agronomy - Selection and Genetic Institute - National Centre for Seed and Variety Research. Odesa, 2023.

The dissertation presents the results of research on modern varieties of winter soft wheat from the PBGI-NCSCI, domestic and foreign breeding institutions, which are most common in Ukraine. The experiments mainly compared modern varieties with varieties of previous stages of breeding to identify the greatest selection changes for modern varieties. The research was carried out on the basis of yield structure elements, protein and other biochemical parameters in grain, and sedimentation levels.

The work involved collections of introgressive lines as possible donors of high protein content. These are lines with the *GPC-B1* gene (6 accessions) from *Triticum dicoccoides* and lines with genes from *Aegilops tauschii* (18 accessions). This material was studied for yield, weight of 1000 grains, protein content in grain, protein fractional composition, sedimentation level and trace elements content. A significant effect of the *GPC-B1* gene on the accumulation and recycling of nitrogen-containing compounds was found compared to the effect of other genetic systems.

A breeding programme based on the new genetic material was launched,

As a result, we have developed methods for introducing the *GPC-B1* gene and other introgressive material into the local winter soft wheat gene pool to optimise breeding practices for winter wheat cultivation aimed at improving the

biochemical quality of grain, and established effective breeding methods for increasing protein content and other economically valuable traits.

The analysis of the most common varieties of winter soft wheat revealed that their yields ranged from 5.88 to 6.77 t/ha, which is 1.32 to 2.25 times higher than the yields of varieties from previous stages of breeding. Significant breeding changes were identified in the retrospective analysis that affected the yield of the studied varieties. Thus, the decrease in plant height, compared to varieties of early stages of selection, varied from 19.1 to 26.5%, which led to an increase in the grain share in the ratio of grain and vegetative mass from 32 - 40% in varieties of early stages of selection to 42 - 48% in modern varieties. The grain weight per ear in modern varieties also increased significantly compared to the early breeding varieties. The weight of grain per ear in modern varieties is 76 - 94 % higher in relative terms compared to the weight of varieties of earlier selection. Among the varieties of PBGI-NCSCI, almost every fourth variety (24.8%) had a weight of 1000 grains exceeding 40 grams. However, only 12.3% of varieties from other scientific institutions in Ukraine reached this weight. Thus, only varieties of the SGI-NCNS breeding and only a few varieties from other Ukrainian institutions showed steady progress in increasing the weight of 1000 grains.

Against the background of significant success in increasing the yield of modern varieties, the superiority of early varieties over varieties of modern breeding in terms of protein content was found - from 10.4 to 14.8% in relative values. The smallest difference was observed in protein content between early-stage varieties and the group of varieties from Ukrainian institutions (on average by 13.8% in the variant of fertiliser application N 60 and 10.4% in the variant N 120). The largest difference in grain protein content was observed in varieties of foreign selection in two nutrition options - 14.8%.

From the results of the study of the level of sedimentation, it was concluded that almost all the studied varieties were, on average, inferior to the varieties of the early stages of selection. The exception was the level of sedimentation of varieties of Ukrainian selection in the variant of fertiliser

application N 60, compared to the variety Pylypivka. High levels of correlation between crude protein content and sedimentation level in different groups of varieties were found $r = 0.77 - 0.98$. The level of sedimentation decreased on average by varieties (from varieties of SGI-NCNS to varieties of foreign selection) in the range from 34.8 to 7.1 %.

The results obtained allowed us to conclude that varieties of Ukrainian and foreign selection are inferior to local varieties (PBGI-NCSCI) in terms of productivity and grain quality. For breeding to improve the biochemical quality of grain, it is necessary to use varieties of PBGI-NCSCI, which combine both productivity elements and biochemical indicators of grain quality in the most favourable way.

It was found that the studied introgressive lines with the GPC-B1 gene and with genes from *A. tauschii* had sufficient productivity to outperform such varieties as Kolonia, Giduvachnytsia and others by an average of 6 % relative values. It was found that in years with optimal conditions, the presence of the *GPC-B1* gene did not lead to a decrease in yield, but under moisture deficit, a decrease in this indicator was observed by 8.2-10.2% in relative terms. Also, from the data obtained, it should be noted that among the introgressive lines there are several that consistently over the years and fertilisation options had yield results equal to or higher than the highest yielding standard varieties. These are AIL96f/18, E 1089-19, NIL4, Er 9155 and Er 9200.

Among the studied introgressive lines, lines with high protein genes from *A. tauschii* had the highest MTW. Among the coarsest were lines PIL814/13, H 242-197-2, E2778/14 and PIL355PH18. They exceeded the standard varieties by 3-9 g by this indicator and consistently, regardless of the year and fertiliser doses, had a of more than 40 g. Lines with the GPC-B1 gene did not have significantly increased, but the line GPC-B1 9200 was isolated, which had significantly higher than the standard varieties.

It was found that the lines with the GPC-B1 gene and genes from *A. tauschii* had the same protein content in the range of 12.7-14.0% and 12.7-13.9%,

depending on the fertiliser application (N 60 and N 120, respectively). Odeska 16 had the highest protein content among the standard varieties. Depending on the year and fertilisation variant, from one to nine lines with genes from *A. tauschii* showed a similar level of protein content, i.e. at best 50% of the studied lines. Among them are E 1598/12, PIL814/13, AIL379/18 and F268-14. All lines with the *GPC-B1* gene, with the exception of the N 120 variant in 2022, had protein content at the level of Odeska 16.

It was found that the presence of the *GPC-B1* gene in introgressive lines significantly increased the level of sedimentation. Lines carrying the *GPC-B1* gene exceeded the standard varieties by 19-19.4 ml on average, lines with genes from *A. tauschi* and by 9.5-9.8 ml - lines with genes from *A. tauschi*, and by 8.4-12.0 ml - sister line without *GPC-B1* gene. Several lines with genes from *A. tauschii* were identified that consistently, regardless of the year and dose of mineral fertilisers, showed a higher high level of sedimentation than the standard varieties. These are the lines AIL379/18, PIL814/13, PIL690/18, NIL2, Er 1598/12 and E 1089-19.

It was found that the *GPC-B1* gene has an effect on both the accumulation and reutilisation of nitrogen-containing compounds. The lines carrying *the GPC-B1* gene in our experiment had a significant difference in both the accumulation and reutilisation of nitrogen-containing compounds compared to the sister line without the *GPC-B1* gene in the range of 2.7 - 45.0% relative values, depending on the year and fertiliser dose variant. There was also a difference (within 13.0 - 54.6 % relative values) in nitrogen recycling in leaves and stems between the line carrying the *GPC-B1* gene and varieties carrying such genetic systems as short-stemmed genes, wheat-rye translocations, and alleles carrying high baking traits. In lines with the *GPC-B1* gene, the percentage of nitrogen reutilisation was higher than in other genotypes, which explains the nature of the increased crude protein content in the grain of genotypes with the gene. These features of accumulation and reutilisation of nitrogen-containing compounds and formation of grain quality in *GPC-B1* gene carrier lines can be used as a reliable marker for phenotypic identification of this gene.

As a result of the development of methodological techniques for introducing the *GPC-B1* gene and other introgressive material into the local winter durum wheat gene pool, clear patterns were established. A much greater differentiation in grain quality was found in the variant with a higher dose of fertiliser, which increases the efficiency of selection. The use of sparse sowing (row spacing of 30 cm) in combination with a high agrophonics of nitrogen mineral fertilisers allows for the most efficient identification of genotypes with high protein content.

It has been established that using such methods as protein determination using an infrared analyser at the primary stages of selection (F3-5) with subsequent verification by the Kjeldahl method, sedimentation level using the SDS-30 method at the primary stages of selection (F3-5) with subsequent verification of the rheological properties of the dough on an alviograph (F5-6), it is possible to create starting material with increased protein content and quality indicators of durum wheat.

As a result of the introduction of the *GPC-B1* gene and other introgressive material into the local gene pool, lines were identified and selected (in the amount of 3.1-6.6% of the initial number of lines, depending on the hybrid combination) that consistently provided high protein content over the years. To accelerate the identification of such lines, it is possible to use different ecological zones of variety testing or different agro-phonics.

As a result of the selection for phenotypic traits, the selected lines were examined for the presence of the *GPC-B1* gene. The frequency of such lines in our studies, depending on the hybrid combination, was in the range of 1.7-2.4%. Thus, the studied lines are being further studied in competitive ecological variety trials and on different agricultural backgrounds as possible candidates for the transfer of a new variety to the State Variety Testing.

Keywords: winter bred wheat, variety, weather conditions, grain quality indicators, plant productivity, protein content, protein fractions, trace elements, baking properties, sedimentation, crop structure, yield, thousand grain weight,

nitrogen fertilisation, *Triticum aestivum* L., *GPC-B1*, *Aegilops tauschii*, *Triticum dicoccoides*.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях:

1. **Фанін Я. С.**, Литвиненко М. А. Урожайність та елементи продуктивності рослин у сучасних вітчизняних і закордонних сортів озимої м'якої. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 2023. №38. С. 70-77. DOI: 10.37406/2706-9052-2023-1.10 (Частка авторства здобувача – 50%; проведення дослідів, аналіз літературних джерел, обробка отриманих результатів, участь у написанні статті).

2. Молодченкова О.О, **Фанін Я.С.** Агробіологічна характеристика нових генетичних джерел високої білковості зерна і їх особливості в накопиченні і реутилізація азоту. *Аграрні інновації*, 2023 № 18. С. 196-204. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.27> (Частка авторства здобувача – 50%; проведення дослідів, аналіз літературних джерел, обробка отриманих результатів, участь у написанні статті).

3. **Фанін Я. С.**, Литвиненко М. А. Урожайність та показники якості зерна у вітчизняних і закордонних сортів озимої м'якої пшениці. *Зернові культури*, 2023. № 7 (1). С. 129-137. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0268> (Частка авторства здобувача – 50%; проведення дослідів, аналіз літературних джерел, обробка отриманих результатів, участь у написанні статті).

4. **Фанін Я. С.**, Литвиненко М. А. Дослідження ліній пшениці озимої м'якої від парних схрещувань місцевих сортів з лініями донорами гена *GPC-V1*. *Аграрні інновації*, 2023 № 20. С. 105-111. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.16> (Частка авторства здобувача – 50%; проведення дослідів, аналіз літературних джерел, обробка отриманих результатів, участь у написанні статті).

Стаття в іноземному науковому виданні, що індексується в Scopus та Web of Science

5. Motsnyi I., Lytvynenko M., Golub E., Nargan T., Nakonechnyy M., Lyfenko S., Molodcchenkova O., **Fanin Ya.**, Mishchenko I., Smertenko

A., Mishchenko L. Disease resistance and adaptation of winter wheat lines derived from wide hybridization under arid environments. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. Vol. 109, No. 3 P. 227 – 236 DOI:10.13080/z-a.2022.109.029 (Частка авторства здобувача – 10%: аналіз та узагальнення результатів, участь у написанні статті).

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. **Фанін Я. С.**, Литвиненко М. А., Молодченкова О. О. Дослідження впливу різних генетичних факторів на вміст білка в зерні пшениці. *Сучасні проблеми генетики, біотехнології і біохімії сільськогосподарських рослин: тези доповідей Міжнародної наукової конференції*, м. Одеса, 21 жовтня 2020 р. С. 71–73 (Частка авторства здобувача 60%: ідея, аналіз та узагальнення результатів, написання тез).

7. **Фанін Я. С.**, Литвиненко М. А., Молодченкова О.О., Моцний І.І., Безкровна Л.Я. Дослідження білкового складу зерна ліній пшениці (*Triticum aestivum* L.) з геном *GPC-B1* і генами високої білковості від *Aegilops tauschii*. *Селекція зернових та зернобобових культур в умовах змін клімату: напрями і пріоритети* : матеріали Міжнародної наукової конференції. м. Одеса, 5 травня 2021 р. С. 55–56 (Частка авторства здобувача – 40%: аналіз та узагальнення результатів, написання тез).

8. **Фанін Я.С.**, Литвиненко М.А., Молодченкова О.О. Біохімічних склад та технологічна оцінка зерна інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої з генами високої білковості від *Triticum dicoccoides* та *Aegilops tauschii*. *The latest scientific achievements in the modern agro-industrial complex* : Conference Proceedings of International scientific conference (December 28-29, 2021. Lublin, the Republic of Poland).2021.P.27-31 (Certificate ASC-2829036-UPL dated 29.12.2021. Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit) (Частка авторства здобувача – 40%: аналіз та узагальнення результатів, написання тез).

9. Lytvynenko M., Molodchenkova O., **Fanin Ya.** Peculiarities of nitrogen accumulation and reutilization from vegetative parts of wheat in different genotypes, and the levels of mineral nutrition. Proceedings of the 2nd

International Wheat Congress. Beijing. China. 11–15 September, 2022. P. 218 (*Частка авторства здобувача 30 %: аналіз та узагальнення результатів, написання тез*).

10. **Фанін Я.С.**, Молодченкова О.О. Вивчення особливостей накопичення азотних речовин і їх реутилізація в зернівку у різних генотипів в порівнянні с лініями з генами підвищеної білковості від *A. tauschii* та лінії з геном *GPC-B1*. Селекція агрокультур в умовах зміни клімату: напрямки і пріоритети : матеріали науково-практичної конференції, м. Одеса, 30 вересня 2022 року. С.128–131 (*Частка авторства здобувача – 80%: ідея, аналіз та узагальнення результатів, написання тез*).

11. Замбріборщ І.С., Шестопап О.Л., Чекалова М. С., **Фанін Я.С.**, Литвиненко М.А. О.І. Оцінка гаплопродуційного потенціалу в культурі пиляків *in vitro* генотипів пшениці м'якої озимої, що є носіями гена *GPC-B1*. *Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи* : матеріали наукової інтернет-конференції, присвяченої 110-річчю Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення, м. Одеса, 26 жовтня 2022 року. С. 170–171 (*Частка авторства здобувача – 20%: узагальнення результатів, участь у написанні тез*).

12. **Фанін Я.С.**, Литвиненко М.А., Молодченкова О.О. Проявлення ефектів генів підвищеного вмісту білка *GPC-B1* та від *A. tauschii* в зерні рекомбінантних ліній м'якої пшениці. *Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи* : матеріали наукової інтернет-конференції, присвяченої 110-річчю Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення, м. Одеса, 26 жовтня 2022 року. С. 77–78 (*Частка авторства здобувача – 60%: ідея, аналіз та узагальнення результатів, написання тез*).

13. **Фанін Я.С.**, Литвиненко М.А., Молодченкова О.О. Стан селекції озимої м'якої пшениці за врожаєм та вмістом білка зерні найбільш розповсюджених сортів української та зарубіжної селекції. *Селекція*

агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети : матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, м. Одеса, 24 березня 2023 року. С. 171–173 (*Частка авторства здобувача – 60%: ідея, отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів, написання тез*).

14. **Fanin Ya.**, Molodchenkova O.O., Lytvynenko M.A. Influence of genotypes on nitrogen accumulation and reutilization in winter bread wheat. *Cereal Breeding - Challenges and Opportunities for Global Improvement* : Book of Abstracts of the Eucarpia Cereals Section Conference. Szeged, 15–20 May, 2023, P. 96 (*Частка авторства здобувача – 60%: ідея, аналіз та узагальнення результатів, написання тез*).

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	1
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	13
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	20
ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ СЕЛЕКЦІЇ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ НА ПІДВИЩЕННЯ ВМІСТУ БІЛКА ТА ПОКРАЩЕННЯ ІНШИХ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.	28
1.1.1 Визначальні біохімічні показники якості зерна озимої м'якої пшениці різних напрямках використання.....	28
1.1.2. Біохімічні показники якості зерна хлібопекарської пшениці.	30
1.1.3 Особливості біохімічного складу зерна кондитерської пшениці.	34
1.1.4 Особливості біохімічного складу зерна круп'яної пшениці і цільнозернової продукції.	35
Розділ 1.2 Дослідження з генетичного удосконалення пшениці м'якої озимої за білковістю зерна.	37
1.3 Сучасні методи селекції на підвищення біохімічних показників якості зерна пшениці.	42
1.3.1 Методи та досягнення індукованого мутагенезу.....	43
1.3.2 Метод трансформації генетичного матеріалу.....	44
1.3.3 Методи та досягнення класичної селекції на поліпшення біохімічної якості зерна.	45
Розділ 1.4. Фізіологічно-генетичні аспекти накопичення та реутилізація азоту у пшениці	53
РОЗДІЛ 2.. МАТЕРІАЛИ, УМОВИ, МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.	59
2.1. Селекційні лінії і сорти у дослідженні.....	59
2.1.2. Селекційні лінії та сорти, що були використано у схрещування.....	60
2.2 Ґрунтовий покрив дослідних ділянок та погодні умови в роки досліджень.	61
2.2.1 Агрохімічна характеристика ґрунту.	61

2.3. Методи і методики дослідження.	66
2.3.1. Лабораторні дослідження.	66
2.3.2. Польові дослідження.	69
РОЗДІЛ 3. СТАН СУЧАСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ЗА ВРОЖАЙНІСТЮ ТА БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ ЗЕРНА У СОРТІВ ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАКОРДОННИХ ОЗИМИХ М'ЯКИХ ПШЕНИЦЬ.....	72
3.1 Урожайність зерна вітчизняних і закордонних сортів пшениці озимої залежно від фону живлення.	73
3.2 Структура врожаю сортів української і закордонної селекції пшениці озимої залежно від фону походження та живлення.	81
3.3 Вміст загального білка та інших біохімічних показників якості зерна..	87
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ГЕНЕТИЧНИХ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ БІЛКОВОСТІ ЗЕРНА ВІД <i>AEGILOPS TAUSCHII</i> ТА <i>TRITICUM DICOCOIDES</i>	99
4.1 Продуктивність генетичних джерел високої білковості інтрагресивних ліній та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень.	102
4.2 Біохімічні показники якості зерна інрогресивних генетичних джерел високої білковості.	109
4.3 Показники седиментації та фракційний склад білка зерна інрогресивних генетичних джерел високої білковості.	117
4.4 Мікроелементний та вітамінний склад зерна інтрогресивних генетичних джерел високої білковості.	124
4.5. Особливості накопичення та реутилізації азоту у нових генетичних джерелах високої білковості.	128
РОЗДІЛ 5. СЕЛЕКЦІЙНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНІВ ВІД <i>AEGILOPS TAUSCHII</i> ТА ГЕНА <i>GPC-B1</i> В РІЗНИХ ГЕНЕТИЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.	143
5.1 Дослідження ліній пшениці м'якої озимої від парних схрещувань місцевих сортів з лініями-донорами гена <i>GPC-B1</i>	144
5.2. Дослідження ліній пшениці м'якої озимої від потрійних схрещувань місцевих сортів з лініями донорами гена <i>GPC-B1</i> та складних схрещувань із залученням генів від <i>A. tauschii</i>	153

5.3 Порівняльна характеристика напрямів селекційного залучення генетичних донорів високого вмісту білка зерна в місцевий генофонд. ...	157
5.4 Агробіологічна характеристика відібраних високобілкових рекомбінантних ліній.....	162
ВИСНОВКИ.....	169
ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ТА ВИРОБНИЦТВА.	172
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	173
ДОДАТКИ.....	195

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СГІ – НЦНС – Селекційно-генетичний інститут – Національний центр

насіннезнавства та сортовивчення

ДСТУ – Державний стандарт України;

см — сантиметри

г - грам

мл – мілілітри

шт — штук

% — відсоток

ГТК — гідротермічний коефіцієнт

С° — градуси Цельсія

r – коефіцієнт кореляції

Cv – коефіцієнт варіації

NP_{0,05} – наймеша істотна різниця

т/га — тонни з 1 гектара

мг — міліграм

г/кг — грам на 1 кілограм

мкг/г – мікрокілограм на 1 грам

Ie – індекс еластичності тіста

P/L – конфігурація альвеограми

W – сила борошна

Max – максимальне значення показника

\bar{X} – середнє значення показника

Σ – сума

Min – мінімальне значення показника

MTЗ – маса 1000 зерен

Er. – Еритроспермум

ВСТУП

Пшениця є однією з найважливіших зернових культур в усьому світі як з точки зору споживчих якостей, так і продукту для перероблювання. Вона являється основним джерелом вуглеводів, білка та інших поживних речовин у раціоні людини. Пшениця забезпечує, приблизно, одну п'яту від загального калорійного складу раціону населення світу. Серед сучасних сортів домінують сорти м'якої, зерно яких слугує основною сировиною для виготовлення хліба. Пшеничний хліб є продуктом масового споживання і за своїми властивостями має задовольняти зростаючі потреби населення. На основі наукових досліджень та практики сільськогосподарського виробництва встановлено, що урожайність і якість зерна пшениці озимої залежать від комплексної дії екологічних, агротехнічних і, найголовніше, генетичних факторів. У зоні Степу України, яка є найсприятливішою для вирощування пшениці озимої, важливо знаходити та використовувати такі генетичні джерела, які б забезпечували одержання високих і сталих врожаїв з поліпшеними показниками біохімічної якості зерна (масова частка білка і його фракційний склад, вміст макро- і мікроелементів та ін.) незалежно від погодних умов.

Біохімічні показники якості характеризують харчову цінність зерна. Білок – одна з його складових. В останні роки середній вміст білка пшениці озимої м'якої досягає 11–14 %, проте є непоодинокі випадки, коли він варіює в межах 8,0–9,5 %. Проте найнеприємнішим фактом для селекціонерів було виявлення негативних кореляцій між ознаками вміст білка в зерні та компоненти структури врожаю (маса зерна, розмір зерна, урожай зерна, кількість зерен із колоса, кількість зерен із рослини). Їх наявність є свідченням того, що поліпшення сортів м'якої пшениці за вмістом білка в зерні — дуже складне завдання. Встановити причину таких кореляцій і визначити шляхи їх розриву можна лише детальним генетичним дослідженням, яке дасть чітке уявлення про генетичну структуру цієї ознаки.

Обґрунтування теми дисертаційної роботи. Проблема збільшення валового збору зерна і підвищення його якості завжди була й залишається актуальною і має надзвичайне господарське та наукове значення. І має вона два основних напрями вирішення. Перший — підвищення агротехнічного рівня вирощувальництва продукції. Другий — селекційно-генетичне удосконалення сортів. Ефективність першого напрямку можна значно підвищити вирощуванням генетично високопродуктивних сортів з високими показниками якості зерна, основними з яких є рівень білка та інших біохімічних компонентів. Із наукової літератури відомо декілька етапів вивчення цієї проблеми: в 70-х роках — міжнародна програма Джонсона, у 80-х — дослідження Канзаського університету США та багато інших досліджень передусім з пошуку і створення нових ефективних генетичних джерел високої білковості та інших біохімічних показників якості зерна. Проте досягнуті результати часто мали фрагментарний характер, а створені сорти з підвищеним вмістом білка були переважно вузько локалізовані. Основна причина такого стану – це негативний зв'язок між продуктивністю сорту і вмісту білка у його зерні, як і відсутність ефективних генетичних донорів бажаних донарів. Щодо остаточної проблеми є певні перспективи із створенням високобілкових генотипів від віддалених схрещувань з *Aegilops tauschii* та інтрогресії гена *GPC-B1* від *Triticum turgidum dicoccoides* у місцевий генофонд.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Наукові дослідження за темою дисертації є складовою частиною тематичного плану Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення і були виконані у відділі селекції та насінництва пшениці і лабораторії біохімії рослин впродовж 2019-2023 років згідно завдань наукових галузевих програм, зокрема в межах ПНД НААН 13 на 2016-2020 рр. «Селекція зернових і зернобобових культур» за завданням 13.00.01.01.Ф «Вивчити закономірності комбінування різних генетичних систем стійкості до біотичних і абіотичних факторів та створити сорти

пшениці м'якої озимої універсального типу з потенціалом врожайності 10,5-12,5 т/га, сильні та екстрасильні за якістю зерна для умов степу України», ПНД НААН № 13 на 2021-2025 рр. «Зернові, круп'яні, зернобобові культури» за завданням 13.00.02.01.Ф «Дослідження донорських властивостей нових генетичних джерел продуктивності, якості зерна та стійкості при внутрішньовидовій гібридизації пшениці м'якої озимої і на цій основі створення сортів екстрасильних за якістю зерна та адаптованих до змін клімату в Степу України» та за завданням 13.00.01.02.Ф «Дослідження фізіолого-біохімічних та генетичних критеріїв, що визначають якість зерна зернових і зернобобових культур, для добору генотипів харчового та кормового напрямів» (номер державної реєстрації 0121U107975).

Мета та завдання досліджень. Основною метою роботи було на базі нового генетичного матеріалу здійснити методологічне обґрунтування та реалізацію цілеспрямованої програми селекції пшениці озимої м'якої на підвищення вмісту білка та поліпшення інших біохімічних показників у зерні.

Для реалізації поставленої мети програмою досліджень передбачалося вирішити наступні завдання:

1. Здійснити ретроспективний аналіз стану сучасних селекційних досягнень за біохімічними показниками якості зерна.
2. Дослідити колекцію інтрогресивних ліній з генами від *Aegilops tauschii* та лінії з геном *GPC-B1* за головними показниками продуктивності та біохімічної якості зерна, і дати їм селекційну оцінку.
3. Дослідити формування білковості зерна в лініях з генами від *Aegilops tauschii* та ліній з геном *GPC-B1* шляхом порівняльного вивчення особливостей накопичення та реутилізації азоту з вегетативних органів рослин озимої пшениці в процесі онтогенезу в порівнянні з іншими генами.
4. Розробити прийоми введення гена *GPC-B1* та іншого інтегресивного матеріалу в місцевий генофонд озимої м'якої пшениці та визначити

ефективні методи селекції на підвищення вмісту білка та інших господарські цінних ознак.

Об'єкт дослідження: Процес накопичення білка та вплив генів певних груп у формування біохімічних показників якості зерна озимої м'якої пшениці

Предмет дослідження: Селекційно-генетичні, фізіолого-біохімічні, технологічні чинники, що зумовлюють формування якості зерна пшениці м'якої озимої, особливості рекомбіногенезу ознаки біохімічної якості зерна та інших господарсько цінних ознак, методи оцінки і добору генотипів за відповідними характеристиками.

Методи досліджень. У дослідженнях застосовані наступні методи:

- загальнонаукові: аналіз і синтез, узагальнення і систематизація для формування робочої гіпотези;
- польові: проведення гібридизації, випробування сортів і гібридів, аналіз адаптивних властивостей, добір видатних нащадків;
- візуальні: проведення фенологічних спостережень;
- вимірювально-вагові: визначення біометричних параметрів, облік урожайності рослин та елементів структури врожаю;
- лабораторні: визначення біохімічних показників якості зерна, вмісту елементів живлення в ґрунті;
- статистичний: проведення статистичної обробки експериментальних даних і визначення достовірності отриманих результатів досліджень.

Наукова новизна очікуваних результатів:

Уперше в Україні встановлено характер проявлення високої білковості зерна ліній з геном *GPC-B1* та генами від *Aegilops tauschii* у поєднанні з іншими господарськи цінними ознаками, в залежності від компонентів схрещувань, генерації добору та рівня азотного мінерального живлення. Розроблено теоретичні основи селекції озимої м'якої пшениці на підвищення вмісту білка в зерні на генетичній основі гена *GPC-B1* та генів від *A. tauschii*, що є теоретичною базою нової селекційної програми.

Досліджені особливості накопичення та реутилізації азотовмісних речовин в онтогенезі у генетичних джерелах підвищеної білковості з геном *GPC-B1* і генами від *A. tauschii* та вплив на ці процеси генетичних систем короткостебловості (*Rht8c*, *Rht-D1b*, *Rht-B1b*) та пшенично-житніх транслокацій (*AL/RS*, *-BL/RS*).

Удосконалені підходи для створення генотипів озимої м'якої пшениці, що поєднували підвищений вміст білка з іншими господарсько цінними ознаками. Відпрацьовано прийоми створення оригінального високобілкового вихідного матеріалу із залученням гена *GPC-B1* та генів від *A. tauschii*.

Набули подальшого розвитку:

– експериментальні положення щодо ролі гена *GPC-B1* та генів високої білковості від *A. tauschii* у формуванні біохімічних показників, насамперед вмісту білка в зерні, його фракційного складу, хлібопекарських властивостей;

– дослідження стану сучасної селекції озимої м'якої пшениці в Україні за біохімічними показниками якості зерна та елементами продуктивності за аналізу найбільш поширених сортів вітчизняної та зарубіжної селекції.

Практичне значення одержаних результатів. На основі чотирирічних досліджень виявлені особливості накопичення та реутилізації азотовмісних сполук і формування якості зерна у ліній-носіїв гена *GPC-B1*. Одержані результати можуть бути слугувати як надійною маркерною ознакою фенотипової ідентифікації зазначеного гена.

Дібрано 27 селекційних ліній, зерно яких характеризується підвищеною білковістю (перевищення батьківських компонентів за цим показником на 1,5–2,0%) та відмінними хлібопекарськими властивостями. Лінії створені на базі схрещувань носіїв гена *GPC-B1* з місцевими сортами які мають високі хлібопекарські властивості. Ці оригінальні лінії рекомендується залучати у селекційний процес та для поліпшення біохімічних показників якості зерна. Вони відповідають вимогам однорідності та стабільності за всіма селекційними ознаками.

В результаті молекулярно-генетичного аналізу дослідних ліній отримано 6 ліній з геном *GPC-B1*, які за вмістом білка стабільно переважали сорт-стандарт. Вони включені в програму подальшого вивчення, як майбутні кандидати в сорти.

Апробація результатів досліджень. Результати досліджень доповідались і обговорювались на засіданнях вченої ради Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення. Основні з них опубліковані в матеріалах науково-практичних конференцій:

- *міжнародних*: «Сучасні проблеми генетики, біотехнології і біохімії сільськогосподарських рослин: (Одеса, Україна, 21.10.2020); «Plants stress and adaptation» (Kharkiv, Ukraine 25–26.02.2021); «Селекція зернових та зернобобових культур в умовах змін клімату: напрями і пріоритети» (Одеса, Україна, 05.05.2021); 2nd International Wheat Congress (Beijing, China, 11–15.09.2022); Publishing House “Baltija Publishing”. 2022, «Cereal Breeding – Challenges and Opportunities for Global Improvement», Eucarpia Cereals Section (Szeged, Hungary, 15–20.05.2023).

- *всеукраїнських*: «Селекція агрокультур в умовах зміни клімату: напрями і пріоритети» (Одеса, 30.09.2022); «Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи» (Одеса, 26.10.2022); «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети» (Одеса, 24.03.2023).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійної науково-дослідницької праці здобувача. Самостійно розроблено робочу програму, виконано польові та лабораторні дослідження, здійснено літературний пошук і аналіз експериментального матеріалу. Автором проведено наукове обґрунтування та узагальнення одержаних даних, сформульовано основні положення дисертаційної роботи, зроблено висновки, підготовлено і опубліковано за результатами досліджень наукові

праці, звіти, розроблено рекомендації виробництву, виконано виробничу перевірку та забезпечено впровадження наукових розробок.

Публікації. Результати досліджень опубліковано у 14 наукових працях, в тому числі: у фахових виданнях України – 4, в іноземних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних – 1, матеріалах конференцій – 9.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота викладена на 227 сторінках комп'ютерного тексту, включає анотації, вступ, п'ять розділів, які містять 50 таблиць (16 в дисертації, 34 в додатках) і 26 рисунків (21 в дисертації, 3 в додатках), висновки, рекомендації для селекції та виробництва, список використаної літератури, додатки. Список використаних літературних джерел налічує 186 джерел, з яких 112 латиницею.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ СЕЛЕКЦІЇ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ НА ПІДВИЩЕННЯ ВМІСТУ БІЛКА ТА ПОКРАЩЕННЯ ІНШИХ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.

(огляд наукової літератури).

1.1.1 Визначальні біохімічні показники якості зерна озимої м'якої пшениці різних напрямках використання.

Озима м'яка пшениця – найголовніша світова продовольча культура, яка вирощується на всіх континентах, окрім Антарктиди, її площі посіву останніми роками складають від 215 до 225 мільйонів гектарів, що відповідає 22 % від площі всіх орних земель, а валовий збір знаходиться на рівні 630 – 770 мільйонів тонн зерна. Серед країн лідерів за площею і врожайністю пшениці є Україна з 6,5 – 8 мільйонами гектарів площі і валовим збором 22-25 мільйонів тонн [1].

Пшениця є однією з найважливіших зернових культур в усьому світі, як з точки зору споживчих властивостей. Вона являється основним джерелом вуглеводів, білка та інших поживних речовин у раціоні людини і забезпечує приблизно одну п'яту частину від загального калорійного складу раціону населення світу.

Із великого видового різноманіття пшениці м'якої, яка є гексаплоїдною, існує велике різноманіття текстури зерна, яке буває біле, червоне, коричневе, а також з м'яким і твердим ендоспермом. Вона має озимі, напівозимі і ярі форми, що дає можливість вирощувати її у різних кліматичних зонах. Оскільки тільки гексаплоїдні сорти пшениці володіють D геномом, унікальні властивості розмелювання та хлібопекарської якості борошна відносять до наявності саме третього геному [2].

Один із факторів, який робить пшеницю важливою, є також те, що в раціоні людини частка протеїнів рослинного походження складає 57%, джерелом половини якого є пшениця [3]. Підвищення вмісту білка та його

якості має велике господарське і наукове значення. У європейських країнах зернові, передусім пшениця, забезпечують близько 20-30% щоденного споживання калорій, в Центральній Азії в середньому 50%. Однак ендосперм у пшениці не завжди містить достатню кількість вітамінів (особливо вітамінів А, В, Е, С), мінералів (особливо заліза, цинку, магнію і селену) та незамінних амінокислот [4]. Також певні проблеми виникають при використанні продукції із пшеничного зерна, які містять певний вид спіцефічного білка глютену, який може викликати алергійчну реакцію у людей – целиакія [5].

Одна із проблем пшениці, яка виникає із-за низького вмісту і якості білка та інших мікроелементів у зерні пшениці – це так званий «прихований голод». Проблема «прихованого» голоду займає особливе місце серед «хвороб цивілізації». «Прихований» голод – це ситуація, коли людина отримує з їжею недостатню кількість одного, або декількох необхідних нутрієнтів, наприклад вітамінів і мінералів [6]. В сучасній ситуації 2 млрд населення страждають від «прихованого голоду», що становить майже одну третину всього населення світу та має численні негативні наслідки для здоров'я [7].

Складність у процесі підвищення у зерні вмісту білка викликає високий екзогенний ефект нового генетичного матеріалу і складність комплексу генетичних систем, що регулюють процес вбудовування нового генетичного матеріалу [8]. Вміст мікроелементів у зерні пшениці детермінується генетично та залежить від факторів навколишнього середовища. Одним із чинників формування зерна високоякісного є оптимальний вміст у рослинах важливих макро – та мікроелементів. Мікроелементи, всупереч їхньої низької концентрації, беруть активну участь у всіх життєво важливих біохімічних процесах [9]. Така роль мікроелементів значною мірою пов'язана з ферментативним каталізом, що визначає їх участь у процесах фотосинтезу, дихання, азотного і фосфорного обмінів. Дефіцит мікроелементів у рослинах порушує нормальний перебіг фізіолого-біохімічних процесів і виключає

отримання високих врожаїв саме якісного зерна [10]. Рівень реутилізації мікроелементів у генеративні органи пшениці доволі низький, тому є перспективним напрямом генетичного поліпшення культури.

За метою використання кінцевого продукту, селекцію пшениці можна поділити на основні та найбільш поширені напрями: продовольчий, кормовий і біоенергетичний. Зерно продовольчого типу використовується для виготовлення хліба, макаронів, крупів, кондитерських виробів та ін. Для продовольчого і кормового напрямів селекції пшениці важливим є вміст білка і його фракцій, для біоенергетичного напрямку – вміст крохмалю і його фракцій.

1.1.2. Біохімічні показники якості зерна хлібопекарської пшениці.

За даними П. П. Вавілова, пшениця м'яка містить у зерні 13,9 % білків, 79,9 % вуглеводів, 2,0 % жиру, 2,3 % клітковини та 1,9 % золи. Вміст білків у зерні озимої пшениці може коливатися від 8 до 22 %. Вуглеводи в основному представлені крохмалем (48–63 %), частка розчинних цукрів становить 2–7 %, 2–3 % – клітковина [11]. Протеїни в зерні відіграють важливу роль – з одного боку впливаючи на харчову цінність хліба, з іншого – на його технологічну цінність. На жаль, українська пшениця у загальній масі поступається за якістю зерна провідним виробникам пшениці і, як наслідок, повною мірою не задовольняє внутрішній і зовнішній ринок рівнем якості пшеничного борошна переважно через недоліки технології виробництва.

Більша частина пшениці, що вирощується в Україні, належить до фуражного класу, і тільки 40-50% – до продовольчої пшениці [12]. За нормами ДСТУ 2019 року, пшениця 1-го класу повинна мати масову частку білка у перерахунку на суху речовину не менше, ніж 14 % і масову частку сирої клейковини не менше, ніж 28 %; 2-го класу – 12,5 % і 23 %; 3-го класу – 11 % і 18% відповідно. Таким чином, для того, щоб пшениця відносилася не

до фуражного (кормового) класу, а до вищих (харчових) класів, вміст білка у зерні повинен перевищувати 11%, а краще 12,5 % [13].

Визначення вмісту білка за вітчизняним (ГОСТ 10846-91) та за міжнародним (ІСС 105/1) стандартами проводиться методом К'ельдаля, однак в Україні та Європі вміст білка визначають при вологості 14 %, а в США і Канаді – 12 %. Якщо не враховувати цю різницю, вміст білка в пшениці, визначеного відповідно до американських вимог, буде меншим, ніж при проведенні аналізів в Україні [14]. Додатково для визначення рівня білковості використовують більш доступний і ефективний метод інфрачервоної спектроскопії – ІЧС (NIR). ІЧС заснована на проходженні інфрачервоних променів через різні хімічні та органічні сполуки. Найбільш застосовується у виробництві на цільнозернових, комбікормових та борошномельних підприємствах. ІЧС-аналізатори зерна функціонують на базі пропускання випромінювань у ближньому інфрачервоному діапазоні. Ці технологічно складні прилади дозволяють вимірювати одночасно кілька показників: вміст білка, вологи, жиру, крохмалю. Такі експрес-аналізатори зручні при використанні та покривають декілька потреб у процесі обробки зерна [13].

Перша класифікація білків зерна пшениці була запропонована американським біохіміком Осборном у 1907 році і побудована на здатності білків розчинятися у різних середовищах: альбуміни – розчинні у воді, глобуліни – розчинні у сольових розчинах, гліадини – розчинні в 70-90% етанолі, глютеніни – не розчинні в нейтральних водних чи сольових розчинах та етанолі [15]. До альбумінів і глобулінів входять ферменти, структурні білки, білки клітинних стінок і мембран, клітинних органел тощо. Альбуміни і глобуліни в зерні пшениці становлять 10—25 % від загального білка і є фракцією легкорозчинних білків. Це функціонально активні сполуки: ферменти, інгібітори, нуклеопротейди, глікопротейди, пуротіоніни, лектини, тіоніни та ін. При цьому найбільший відсоток серед ферментів належить β -амілазі та α -протеазі. Близько 20 % усіх альбумінів у зерні

Triticum aestivum L. — це головний альбумін, бідний на фенілаланін, гістидин, без вільних SH-груп, але містить багато дисульфідних зв'язків [16]. Гліадини й глютеніни належать до класу запасних, або клейковинних білків. Вміст альбумінів і глобулінів становить 15-20%, гліадинів – 40-50%, глютенінів — 35-40% від загального вмісту білка [17]. Близько 75-90 % загального вмісту білка в зерні – це запасні, або клейковинні білки, що утворюють надзвичайно важливу щодо якості хліба білкову субстанцію, яка називається клейковиною. Вперше вона була виділена з пшеничного борошна італійським біохіміком Беккарі в 1745 році та складається приблизно на 60-65% з води і 35-40% з білка [18]. Гліадини впливають на такі важливі якості тіста, як в'язкість і розтяжність, глютеніни – на еластичність і пружність. Глютеніни здатні до полімеризації та за молекулярною масою поділяються на низькомолекулярні (30–50 кД) та високомолекулярні (60-100 кД і більше) у співвідношенні 6 : 1 [2]. Аналіз електрофоретичного складу гліадинів і глютенінів показав, що основою генетичного різноманіття сортів пшениці є явище множинного алелізму генних локусів, які контролюють біосинтез цих клейковинних білків [19]. Сучасна номенклатура клейковинних білків на основі їх електрофоретичного розподілу поділяє гліадини на α -, β -, γ - та ω -гліадини. Глютеніни за цією номенклатурою поділяються на високомолекулярні та низькомолекулярні [20]. Гени, що кодують запасні білки пшениці, локалізовані в коротких плечах хромосом гомеологічних груп 1 і 6. Методами двомірного електрофорезу білки зерна пшениці розділено більш як на 200 окремих субодиниць і поліпептидів [21]. Із використанням анеуплоїдних ліній сорту Чайніз Спрінг доведено, що фракція високомолекулярних глютенінів, яка найбільшою мірою визначає якість зерна, контролюється генами, локалізованими в довгих плечах, а низькомолекулярних – у коротких плечах хромосом гомеологічної групи 1 [22]. Пізніше було складено карти локалізації генних локусів, які кодують синтез клейковинних білків пшениці гліадинів і глютенінів на хромосомах 1A, 1B, 1D, 6A, 6B, 6D [23].

Реологічні властивості тіста відображає показник «сила» борошна (W), який використовується для непрямой оцінки хлібопекарської якості борошна пшениці (за альвеографом). Еластичність та пружність тіста, за які пов'язана відповідають глютеніни, і розтяжність, еластичність тіста, на які впливають гліадини, – це головні показники «сили» борошна.

Співвідношення пружності до розтяжності, індекс еластичності тіста та ін. надають додаткову інформацію про «силу» борошна та характеризують його здатність до формування тіста і збереження наданої йому форми. Ці основні показники «сили» борошна визначають за допомогою альвеографа.

Пружність тіста (P) – властивість тіста змінювати розмір і форму при навантаженні, а за його призупинення самостійно набирати початкової конфігурації. Встановлено, що показник пружності тіста має високий коефіцієнт успадкування, тому у процесі селекції селекціонер може продуктивно впливати на його величину.

Показник розтяжності (L) – це властивість тіста розтягуватися при навантаженні, що має велике значення при випіканні високоякісного хліба і залежить, в основному, від вмісту білка. Підвищена розтяжність тіста дуже важлива для утворення шпаристого м'якуша, тоді як при зниженні величини L у хліба формується більш збитий м'якуш, і він має низькі хлібопекарські властивості.

Показник (P/L) – це співвідношення пружності тіста до його розтяжності, які є складовими характеристиками «сили» борошна. Цей показник може мати різні вимоги до значення залежно від кінцевого продукту. Коефіцієнт конфігурації (P/L) для хлібопекарського борошна має бути на рівні від 0,8 до 0,95. Індекс еластичності тіста (I_e) – показник стійкості тіста до навантаження, після якого воно набуває попередньо наданої йому форми. Вимірюється показник I_e за шириною кривої альвеограми [24]. Показано, що найбільший вплив на показник «сили» борошна мав фактор «умови року вирощування» (64

%), достовірно суттєвий – генотип (27 %) та попередник (5 %, $p \leq 0,05$), а взаємодія між даними факторами була незначною (2 %) [17].

Показники рівня седиментації. Ключовим показником якості зерна є «сила» борошна (W). Визначення «сили» борошна на альвеографі, запатентованому французькою компанією «Chopin» — досить тривалий та коштовний процес. Тому одразу ж після впровадження в технологічний аналіз альвеографа набула привабливості ідея знайти простий та швидкісний спосіб непрямого визначення «сили» борошна. Так, з'явилися три основні методи визначення седиментації борошна: за Зелені, метод SDS-седиментації за Аксфордом та седиментація за Пумп'янським-Созіновим. Перші два методи широко застосовується на Заході, останній – на території колишнього СРСР. Але всі вони мають три основні недоліки: об'єм осаду седиментації значною мірою залежить від рівня твердозерності та загального вмісту білка в зерні. Через це залежність між показниками седиментації і силою борошна може суттєво варіювати від зразка до зразка зерна [25]. В Селекційно-генетичному інституті-Національному центрі насіннізнавства та сортовивчення під керівництвом О.І. Рибалки розроблено новий метод седиментації цілозмеленого зерна (шроту) або борошна (30 % або 70 % виходу) з попереднім автолізом і наступною седиментацією. Метод SDS 30 значно надійніший за інші відомі методи седиментації. Він показав найвищу корелятивну залежність із «силою» борошна (W) та індексом еластичності тіста (I_e) і не корелює із загальним вмістом білка в зерні [16].

1.1.3 Особливості біохімічного складу зерна кондитерської пшениці.

Для зерна кондитерської пшениці, на відміну від хлібопекарського, характерне: невисокий вміст білка 8-10 % та показника «сили» борошна W. Але є принципово важливий показник, який характеризує сорти кондитерської пшениці, – це твердість зерна. У світовій практиці пшеницю за твердістю зерна класифікують на екстрам'якозерну (extra-soft), м'якозерну

(soft), середньом'якозерну (medium soft), твердозерну (hard), середньо-твердозерну (medium hard), екстратвердозерну (extrahard). Прилад Inframatic 8611 має шкалу додатних значень твердості для твердозерних і екстратвердозерних пшениць і від'ємних – для м'якозерних та екстрам'якозерних [24].

Від схрещувань з *A. tauschii* в геном пшениці м'якої був перенесений унікальний чужинний алель гена *Ha* (ts), що детермінує екстраекспресію білків крохмальних гранул фріабілінів і, відповідно, екстра м'який тип консистенції ендосперму пшениці. Унікальний алель *Ha* (ts) легко ідентифікується на інфрачервоному аналізаторі моделі Inframatic 8611 у негативному діапазоні значень твердості зерна від – 45 до – 55...– 60, тоді як твердість звичайної м'якозерної хлібопекарської пшениці змінюється в основному в додатному і досить рідко – у від'ємному діапазоні значень близько нуля. Інтрогресований від егілопсу *A. tauschii* алель *Ha* (ts) обрано за генетичну основу для створення нового для України класу сортів пшениці (extra-soft) з екстрам'яким ендоспермом бісквітного (кондитерського) напрямку використання.

Основною відмінністю пшениці soft і hard є різна структура ендосперму зернівки. У пшениці типу hard стінки клітин в ендоспермі значно товщі, ніж у soft, і, відповідно, частина клітинних стінок значно вища. До складу клітин ендосперму пшениці типу hard входять геміцелюлози, що активно поглинають воду, на відміну від типу soft, що має в складі клітин целюлозу. Як наслідок, для твердозерних видів характерна висока ВПС – водапоглинальна спроможність.

1.1.4 Особливості біохімічного складу зерна круп'яної пшениці і цільнозернової продукції.

Такий продукт як крупа, що її виготовляють із цільного зерна, по праву можна вважати цінним для здоров'я натуральним продуктом. Щодо вимог до

пшениці для виробництва крупи (пластівців), то така пшениця не потребує високого вмісту клейковини та відмінних хлібопекарських характеристик. Вона має містити багато повноцінного розчинного білка, мікроелементів, вітамінів, резистентного до ферментів травлення крохмалю, бути збалансованою за всіма біологічно цінними елементами зерна [26]. Генетичною основою для створення сортів пшениці круп'яного використання мають бути такі характеристики зерна, як його колір та консистенція ендосперму (твердість). Розповсюджений серед сортів української селекції червоний колір зерна пшениці контролюють домінантні алелі від одного до трьох генів: *R-A1b* (хромосома 3AL), *R-B1b* (хромосома 3BL), *R-D1b* (хромосома 3DL) [27].

Для менш популярної, ніж червонозерна, пшениця білозерна детермінується рецесивними алелями цих генів і генотип білозерної пшениці має таку генетичну формулу: *R-A1a; R-B1a; R-D1a*. Різні кольори зерна визначають пігменти антоціани та фітомеланіни. Це водорозчинні пігменти, що належать до родини флавоноїдів, які, своєю чергою, є частиною ще більшої групи біологічно активних сполук-поліфенолів. Антоціаніни також відповідають за червоне, фіолетове, синє, помаранчеве та інші відтінки забарвлення різних рослинних органів, тканин, плодів [28]. Слід наголосити, що сорти пшениці з кольоровим зерном нині особливо популярні в Китаї через високу антиоксидантну активність їхнього зерна [29]. В СГП-НЦНС вперше в Україні створили й зареєстрували сорти озимої пшениці з фіолетовим зерном круп'яного і хлібопекарського застосовується з поліпшеною біологічною цінністю зерна – це Чорноброва і Чорнозерна. Ці сорти набувають популярності також для виготовлення хліба з пророщеного зерна (без борошна і без дріжджів) та цілющого соку із зелених 8–9-добових проростків [26]. Найвідомішими джерелами різного кольору зерна, що активно використовують у селекції культурної пшениці, є такі дикорослі види, як *Triticum boeoticum*, *T. monococcum*, *Agropyron glaucum*, *A. tricholporum*, *A. elongatum*, а також *Secale cereale* [51]. Крім генів

забарвлення зерна для круп'яної пшениці важливе значення має і твердість зерна, що контролюється, головним геном *Ha*, локалізованим у хромосомі 5DS (містить три гени *Pin a*, *Pin b* та *Gsp-1*), та серією генів-модифікаторів. Рецесивний алель гена *Ha* детермінує високу твердість зерна, а домінуючий – м'яке зерно. Висока твердість зерна потрібна для виготовлення круп, і навпаки, низька твердість важлива для виготовлення пластівців. Варіювання за ознакою твердості зерна можливе у вельми широкому діапазоні значень інфрачервоного аналізатора Inframatic 8611 – від від'ємного – 62 (extra-soft) до додатного +69 (extra-hard). Було встановлено, що для отримання високо якісної крупки найбільш годиться зерно з твердістю від 5 до 48 одиниць приладу Inframatic 8611[24].

Розділ 1.2 Дослідження з генетичного удосконалення пшениці м'якої озимої за білковістю зерна.

У різних країнах світу до початку ХХ в. численні дослідження виявили набір основних зовнішніх і внутрішніх чинників, що впливають на накопичення білка в зерні [30–32]. Серед зовнішніх факторів називають клімат (температура, опади) і родючість ґрунту (наявний вміст азоту для рослини). При цьому роль клімату визнана значною, але не вирішальною, оскільки поліпшення родючості ґрунтів могло б значно нейтралізувати вплив природних відмінностей умов клімату. Серед внутрішніх факторів пріоритет за генотипом сорту, який контролює ростові процеси, розвиток і засвоєння рослинами пшениці хімічних елементів із довкілля. У 1924 р. була створена державна випробувальна мережа під керівництвом М.І. Вавилова для впровадження нових сортів м'яких і твердих пшениць [32–33]. По багаторічному вивченню сортів у різних ґрунтово-кліматичних умовах були складені орієнтовні географічні карти середнього вмісту білка в зерні по кожному регіону культивування пшениці. Найбільш придатними для

отримання високобілкового (17-19% і більше) зерна м'яких і твердих пшениць виявились у південному сході європейської частини росії, степу середньої й нижньої Волги, степу і південному лісостепу західного Сибіру, степовій частині Ураїни, північній і південній частинах Казахстану [31]. Вперше було встановлено, що за руху пшениці з північного заходу на південний схід вміст білка збільшується, що може пов'язуватися зі значнішим дефіцитом опадів і пропорціями багатих азотом ґрунтів.

Узагальнений та порівняльний аналіз літератури щодо середнього вмісту білка в зерні пшениці в окремих країнах світу за період з 1920 по 1930 рік дали підставу К.А. Флаксбергеру [34] додати до регіонів країн СНГ, перерахованих вище, ще степові та лісостепові зони Північної Америки, де пшениця також утворює високобілкове зерно. Найнижчий вміст білка в зерні було виявлено у сортів з країн, з поширеним зрошуваним землеробством [35].

Наступний пік досліджень якості зерна припав на період з 1960 по 1980 рік. В цей час основним напрямом був пошук джерел високого вмісту білка з найбільш збалансованим складом незамінних амінокислот, в першу чергу лізину і триптофану [36–37]. Разом з м'якою і твердою пшеницею оцінювалися інші види *Triticum* L. і різні види *Aegilops* L. Було вичвлено велику кількість генетичних джерел, що стабільно відтворювали свої характеристики при вирощуванні в різних ґрунтово-кліматичних умовах [38–39]. Ці джерела були умовно об'єднані в окремому генофонді, колекції ядра, високобілкової пшениці. Тут були представлені дикі та погано культивовані види культурної пшениці та дикорослі види егілопів, донори геномів В, G і D, аллополіплоїдна пшениця.

У 1970-х і 1980-х роках існували Селекційні програми для створення високобілкової пшениці а також селекційно-генетичні теоретичні дослідження внутрішньовидових гібридів, отриманих за участі високобілкових джерел м'яких і твердих пшениць. Найбільш інтенсивний розвиток цих досліджень був у США і Канаді, де вміст білка в зерні м'яких сортів пшениці зростав на

0,5–3,0 % [40]. Було показано, що ознака «вміст загального білка в зерні» була полігенна. На її прояв суттєво впливали довкілля середовища, однак при гібридному розщепленні популяції ідентифікувалися форми, які відхиляються у бік батьківської лінії з високим вмістом білка. Підвищити білковість у нащадків цих форм можливо шляхом зворотних схрещувань [41–42].

Вміст білка у зерні – найпервиний показник, що переважною мірою визначає як харчові, так і технологічні характеристики зерна пшениці. Найвідоміші дослідження, спрямовані на підвищення вмісту протеїну в зерні пшениці, виконувалися і фінансувались в Департаментом сільського господарства США (USDA ARS) спільно з Університетом штату Небраска упродовж більш як 30 років (1954-1985). Автори цих досліджень дійшли висновку, що вміст протеїну в зерні пшениці є досить складною кількісною ознакою з чітко вираженою оберненою залежністю від рівня урожаю зерна, більш значною залежністю від середовища та умов вирощування, ніж від генотипу, та яка контролюється комплексом генів з адитивними й неадитивними ефектами та є складнодосяжною для істотного поліпшення методами традиційної селекції. Майже в кожній з 21 хромосом пшениці локалізовані гени з помітним або мінорним впливом на загальний вміст білка в зерні пшениці [41].

Виявлено негативну кореляцію між вмістом білка в зерні й врожайністю, яка значно ускладнює добір для посилення обох ознак водночас. З цієї причини, а також завдяки складному полігенному характеру ознаки та її сильної мінливості під впливом зовнішніх факторів, подальших досягнень у значному збільшенні вмісту білка в зерні пшениці не було.

Останніми роками з використанням спеціального генетичного матеріалу, а також молекулярно-генетичних маркерів виявлено локуси кількісних ознак вмісту білка в зерні м'якої пшениці. Одним із перших був мікросателітний маркер *wmc 41*, розміщений на хромосомі 2D м'якої пшениці, який маркує QTL, що визначає 18,73 % генетичної мінливості

ознаки [43]. Далі визначився маркер *wmc 415*, який знаходиться на хромосомі 5A і дає 6,21 % генетичної мінливості ознаки в популяції майже ізогенних ліній [44]. У подальших дослідженнях було знайдено й інші локуси на хромосомах 3D, 4A, 6B, 7A, 7D.

Важливо зазначити, що до кінця ХХ ст. високобілкові джерела слабо культивованих і диких видів пшениці мало залучалися в селекцію для підвищення вмісту білків, тому їх генетичний потенціал різноманіття цілком поки не розкритий.

У Франції вивчено колекцію з 372 зразків, яка відтворювала різноманітність сортів м'якої пшениці за агрономічними і якісними показниками. У колекції зібрано як 200-річні, так і нові сорти та місцеві популяції. Такі дослідження важливі для з'ясування зв'язків між комплексом морфологічних та інших ознак, які впливають на якість зерна. Оцінювання проводили за трьома групами ознак ростом і розвитком рослин, якістю зерна та хлібопекарськими властивостями. Найістотніші відмінності було виявлено серед стародавніх зразків, у яких значні відмінності серед рідкісних алелів сортів були усунені сучасною селекцією. У таких стародавніх сортів виявилися підвищений вміст пальміти-нової кислоти, значніше варіювання реологічних властивостей тіста. Сучасні сорти характеризуються підвищеним вмістом крохмалю і зокрема сорти Західної Європи, проте бідніші на білок, але збагачені крохмалем. Середній показник білка в зерні сортів пшениць Франції у 2006 р. становив 12,2 %, 80 % сортів містили від 11,5 до 13,0, а 11 % сортів – понад 13,0 % білка. У зерні основної колекції світових зразків вміст білка коливався від 10,9 до 19,2 % [45].

У Селекціно-генетичному інституті національному центрі насінництва й сортовивчення (СГІ-НЦНС) триває довгостроковий дослід «Історії сортозміни» в якому вивчалися різні за роками створення сорти – від «народної селекції» до найновіших на даний час. Матеріал поділений на 8 груп. До першої групи входили сорти, які вирощувалися на півдні України на початку 20-го сторіччя, наступні групи сортів нових етапів селекції (з

інтервалом 10-15 років). Починається з 1972 триває і досі на полях СГІ-НЦНС. Сорти досліджуються за показниками: елементи структури врожаю, висота рослин, довжина вегетації та рівень білковості зерна. Це дозволяє вивчати найбільш поширенні сорти в остані десятиліття та відслідковувати ефективність напрямків селекції.

За отриманими даними було зроблено наступний висновок. Багаторічна селекція, спрямована, головним чином, на підвищення зернової продуктивності, призвела до прискореної еволюції пшениці як культури та проявилася у зміні практично всіх ознак і властивостей рослини. За 100 - річний період наукової селекції врожайність пшениці на півдні України зросла у 2 рази. У степовій зоні підвищення врожайності більшою мірою зумовлено зниженням висоти рослин, збільшенням числа та маси зерен з рослини, меншою мірою маси 1000 зерен. При цьому спостерігалось переважне зростання продуктивності колосся у бокових пагонах рослини, скоротився розрив між продуктивністю головного колосу та кожного колосу бічного пагона. Цей дослід триває в відділі селекції і насінництва пшениці СГІ-НЦНС і досі.

Але на півдні України у пшениці вміст білка знизився з 14,4 % (середня білковість першої групи) до 11,3 % (середня білковість восьмої групи сортів). Спостерігалось також зменшення вмісту фосфору у зерні пшениці (з 0,30 до 0,25%). Кількістю калію практично не змінилась, залишившись на рівні 0,18...0,21%. Водночас на 15% зменшилася зольність зерна. Зросли розміри зернівок пшениці, причому значною мірою зросла ширина та товщина, внаслідок чого вони набули більш округлої форми. Проте виявлено, що при збільшенні лінійних розмірів зернівок їх обсяг зростав швидше, ніж площа поверхні. В результаті цього поверхня зернівки та її алейроновий шар, який містить основну частину білка, а одиниця маси та обсяг зернівки зменшилися. Це її призвело до зниження вмісту білка та зольних речовин у зерні. В амінокислотному складі зерна суттєвих змін не виявлено.

1.3 Сучасні методи селекції на підвищення біохімічних показників якості зерна пшениці.

У середині ХХ століття у світі зростає продовольча проблема, що пов'язана із значним збільшенням населення за темпи зростання якого не встигали темпи нарощування продовольства. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми було започаткування програми створення високопродуктивних і стійких до хвороб сортів пшениці. Даний етап в історії дістав назву як Зелена Революція, яка має відлік від 1944 року. Засновником її є Норман Борлоуг, лауреат Нобілевської премії за створення високопродуктивних сортів пшениці, ці сорти отримані в результаті схрещування японських карликових сортів з місцевими мексиканськими сортами. Вирощування цих високопродуктивних сортів дало можливість повністю забезпечити Мексику зерном. Створені сорти були не тільки високопродуктивними, а й стійкими до хвороб [46.]. Отримані нові короткостеблові сорти пшениці з більш високим врожаєм і підвищеною стійкістю до патогенів витіснили традиційні високорослі сорти майже в усіх країнах світу, які вирощували яру пшеницю.

Для досягнення якісного стрибка в селекції на високу продуктивність і якість зерна пшениці необхідно створювати нові сорти рослин, які б об'єднували в одному генотипі такі ознаки, як висока продуктивність, якість зерна різних напрямів використання з комплексною стійкістю до хвороб і шкідників, а також наявністю важливих мінералів і вітамінів. Результативність селекції на якість багато в чому залежить від наявності генетичного матеріалу, який сконцентрований у світових колекціях генофонду [47].

Вчені створюють нові та поліпшують наявні генетичні джерела злаків із використанням мутацій, трансгресій та індивідуальних генів, які вводять у геном методами генетичної інженерії, біотехнології, молекулярної селекції.

1.3.1 Методи та досягнення індукованого мутагенезу.

Мутації – це спадкові зміни в генотипі, що виникають несподівано і спричиняють зміни морфологічних, фізіологічних та біохімічних ознак організмів. Розширення спадкової мінливості, добір оригінальних мутацій і рекомбінацій, поєднання мутаційної й комбінаційної мінливості – основні методи збагачення генофонду. Показано, що під впливом мутагенних чинників частішає кросинговер, з'являються рідкісні трансгресивні комбінації, зміщується домінування ознак, змінюються ефекти взаємодії генів, що сприяє повнішій реалізації потенційної спадкової мінливості. Установлено, що найперспективнішими за селекційним значенням є мутанти, отримані на сортах із високим потенціалом продуктивності та якості зерна [48]. Виявлено, що найкращим об'єктом впливу є диплоїдні культури, які легкі для подальшого молекулярного дослідження. Знайдені мішені в диплоїдних культурах є цінним джерелом інформації для об'єднання в усіх гомогенних культурах [49]. За дією електромагнітного випромінювання на гексаплоїдну пшеницю було отримано 19% мутації за фенотиповим проявом, а також генетичні мутації в алелях з заміною амінокислот [50]. Такі результати свідчать про можливу велику фенотипову і генетичну варіацію, що сприятливе селекціонерам у створенні нових сортів [52]. Ефективним у розширенні спадкової мінливості та доборі нових селекційних форм із поліпшеною якістю зерна пшениці є поєднання методів експериментального мутагенезу і генетичної трансформації, що підтверджують результати, отримані зокрема в Китаї. Насіння 4 сортів пшениці опромінювали пульсівним пучком іонів N^+ і занурювали в розчин ДНК сої. В дослідних варіантах виявили форми, що містили у зерні до 21,4 % білка за його вмісту у вихідних сортів 14-14,7 %. Автори вважають, що трансформація пшениці ДНК сої через посередника з використанням низько-енергетичних іонів є ефективним методом індукції змінених форм із підвищеним вмістом білка [53].

Оскільки генетичний аналіз пшениці є кропіткою роботою через складний алогексаплоїдний геном, постала необхідність розробки нових технологій підвищення продуктивності мутантних популяцій. TILLING – це протокол дії, що дає можливість розширити межі класичного мутагенезу внаслідок пришвидшення добору із мутаційних популяцій. В онову TILLING покладено отримання мутаційної популяції шляхом індукованого хімічного мутагенезу, далі за допомогою методів молекулярної генетики, з використанням капілярного та гель-електрофарезу, секвенування і спрямованої дії специфічних ферментів, які здатні впізнати місця зміни ДНК. Як результат, за допомогою цієї технології було створено лінії з підвищеним вмістом β - каротину в зерні, зменшеним розміром крохмальних гранул і високим вмістом амілози в зернівках. Ця технологія розширила можливості індукованого мутагенезу та відкривала шлях до вибіркового внесення бажаних мутації [54].

1.3.2 Метод трансформації генетичного матеріалу.

Протягом останніх двох десятиліть для введення екзогенної ДНК у пшеницю використовували різні методи. Для перенесення рекомбінантної ДНК в різні види цієї культури було використано кілька методологічних підходів. Трансформація генів може здійснюватися за допомогою природного біологічного вектора, такого як *Agrobacterium tumefaciens*, або за допомогою системи прямого переносу генів (біологічна трансформація, електропорація, мікроін'єкції, лазер, Ca^{2+} -залежна трансформація в присутності поліетиленгліколю, використання волокон карбиду кремнію та мезопористих кремнеземних наночастинок оксидиру - система MSN) з використанням фізичних, електричних або хімічних засобів. Найпоширенішими методами є бомбардування мікрочастинками та спільне культивування з *Agrobacterium tumefaciens* [54].

Однак цей підхід має ряд обмежень і недоліків: По-перше, необхідні стерильні умови; по-друге, це досить складна і трудомістка процедура; по-третє, під час культивування *in vitro* в клітинах рослин часто відбуваються соматичні мутації або соматональні зміни; і, нарешті, деякі генотипи можуть взагалі не утворювати пагонів.

Agrobacterium-опосередкована трансформація дозволила значно поліпшити не тільки врожайність та продовольчі характеристики сільськогосподарських рослин. Були отримані рослини з підвищеною толерантністю до біотичних і абіотичних стресів, стійкістю до шкідників тощо [55]. Ефективна трансформація генетичного матеріалу пшениці з отриманням фертильного покоління вперше здійснена в 1992 р. [56]. Після введення через пилкову трубку сортові м'якої пшениці Jihe 916 ДНК сорго, в поколінні були виявлені зразки зі зміненим забарвленням насіння та значно підвищеним вмістом білка, амінокислот, мінеральних речовин і розчинного цукру в порівнянні з вихідним сортом. RAPD-аналізами й електрофорезом гліадинів підтверджено інтеграцію екзогенної ДНК в геном реципієнта [57]. Дослідження з удосконалення методів експериментального мутагенезу і генетичної трансформації дають змогу значно розширити спектри спадкової мінливості. На жаль, більшість країн обмежує використання генетично модифікованих організмів, тому все більше селекціонерів повертаються до використання методу віддаленої гібридизації пшениці з її дикими родичами задля залучення їхніх корисних ознак.

1.3.3 Методи та досягнення класичної селекції на поліпшення біохімічної якості зерна.

Для покращення якості зерна часто використовують традиційні методи селекції: самозапилення, гібридизацію та добір. Традиційно робота Селекційно-генетичного інституту - Національного центру насіннізнавства та сортовивчення (СП-НЦНС) зосереджена на створенні м'якої озимої

пшениці (*Triticum aestivum* L.) з генетично обумовленими високими хлібопекарськими властивостями, потенціал якої повністю розкривається лише тоді, коли борошно містить не менше 12,5% білка. Відділом селекції та насінництва пшениці Інституту створено сорти з відмінними хлібопекарськими властивостями. Більшість сортів мають високий вміст білка та високу силу борошна (понад 350 одиниць) і відносяться до категорії надсильних пшениць. Серед сортів з покращеною якістю зерна - Альбатрос одеський, Мудрість, Нива, Кантата, Традиція та багато інших. Крім того, в ДГРІ-НЦНС створено і використовуються такі сорти, як Панна, Куяльник, Селянка, Скарбниця, Подолянка, Ремесло-Лівна, Ніконія, Респект, Коломак 5, Донецька 46, Донська остиста, а також зразки особливо сильної канадської ярої пшениці Glen lea та AC Superb. Однак прогрес сучасної селекції супроводжується також дефіцитом генетичних ресурсів, і селекціонерам стає все важче знаходити нові комбінації. Цілеспрямована селекція на певні ознаки є однією з причин звуження різноманітності генетичної плазми культурних рослин. Останнім часом в літературі все частіше з'являється термін, який відображає сучасний стан генофонду культурної пшениці: "генна ерозія" [58].

Одним із головних варіантів розв'язання проблеми «генної ерозії» є віддалена гібридизація. Принципова значущість цього методу полягає в тому, що він дає змогу не тільки поліпшувати сорти існуючих культурних рослин, а й створювати зовсім нові, невідомі раніше культури, тоді як за внутрішньовидової гібридизації всі зміни мають характер часткових варіацій ознак певного виду. Окремі види мають споріднені геноми і спроможні при гібридизації передавати ознаки звичайним шляхом. Для переважної більшості родичів необхідно застосування певних прийомів перетворення чужорідного генетичного матеріалу у форму, доступну для ініціації рекомбінаційних процесів і отримання ліній з транслокаціями, заміщенням хромосом і цілих субгеномів [59].

При роботі з лініями, які походять від віддалених схрещувань і не мають гомологічних хромосом, часто виникає необхідність перенесення сегментів хромосом одного виду або роду в хромосому іншого виду або роду, залученого до схрещування. У такий спосіб можна отримати форми з бажаною комбінацією батьківських ознак без повернення до ознак того чи іншого з батьків, як це можна спостерігати при зворотному схрещуванні віддалених гібридів. Гібридизація з подальшим багаторазовим індивідуальним добором зараз широко використовується [60].

Останнім часом для створення нового селекційного матеріалу пшениці використовується генетичне різноманіття дикого виду *Aegilops* L. (DD, $2n = 2x = 14$), який є донором ключового геному D культурної гексаплоїдної пшениці *T. aestivum* L. і визначає основні агрономічні ознаки пшениці, такі як врожайність, якість, стійкість до фітопатогенів та екстремальних факторів навколишнього середовища, включаючи посуху. Генетична мінливість *Aegilops* L. незрівнянно (у кілька тисяч разів) перевищує генетичну різноманітність сортів пшениці [61]. На основі багатьох досліджень, *A. tauschii* найкраще підходить для покращення якості зерна в роді *Aegilops* L.. Найефективнішим способом введення генетичної плазми *A. tauschii* в культуру є використання штучно створених гексаплоїдних синтетиків з геномною формулою AABBDD ($2n = 6x = 42$) у схрещуваннях з культурною пшеницею, де геноми A і B - від твердої пшениці або диких дводольних рослин, а ген D - від ехілопса *A. tauschii*. Доведено, що гексаплоїдна синтетика є потужним джерелом покращення культурної пшениці за низкою агрономічних ознак, таких як зернова продуктивність, стійкість до біотичних та абіотичних факторів, і майже єдиним джерелом покращення культурної пшениці за такою стратегічно важливою ознакою, як стійкість до посухи [62]. Крім того, основний донор геному D, пшениця *A. cylindrica* (CCDD, $2n = 4x = 28$), також використовується в схрещуваннях з культурною пшеницею.

Практично всі поліплоїдні види егілопсу, які мають геном D, також володіють хлібопекарськими властивостями, ними володіють і синтетичні

амфідиплоїди, отримані також за участі цього генома [63]. Причина позитивного впливу геному D на хлібопекарські властивості полягає в тому, що він кодує збалансований склад проламінів, особливо високомолекулярних субодиниць глютену. Хромосома 5 D кодує синтез ліпопротеїдів, які містять дігалактозилдиглицерид – найбільш ефективний фактор, що забезпечує міцність та еластичність тіста, газоутримну здатність і об'єм хліба. Великий інтерес представляє характерний для геному D дуплет компонента ω -89 гліадину, який контролюється 1D хромосоною. Цей дуплет впливає на такі показники, як еластичність клейковини й хлібопекарські властивості. ω - гліадини не містять SH-груп чи S-S зв'язків. Ці гліадини мають три типи N-кінцевих амінокислотних послідовностей, одна з яких SPQ у м'якої пшениці знаходиться у хромосомі 1В. Гліадини з електрофоретичною рухомістю в β -зоні спектра мають N-кінцеву послідовність α -типу [64]. Дуплет ω -89 виявлений також у деяких інших видів егілопсів та їх поліплоїдних похідних. Перспективність використання егілопсів для покращення якості зерна доведена численними дослідженнями. Так, від гібридів *A. geniculata*, *A. crassa*, *A. triuncialis* з сортами м'якої пшениці отримані лінії, які містять більше білка в зерні, у порівнянні з пшеницею – на 3-4%, а у гібридів *A. geniculata* x Безоста 1 – на 7%. Вміст гліадинів у зерні цих гібридів зменшився, тоді як вміст глютенінів збільшився, що свідчить про поліпшення хлібопекарських властивостей. Більшість гібридів характеризуються кращими фізико-хімічними й технологічними якостями в порівнянні з пшеницею. Лінії, отримані від *A. geniculata*, мали кращі показники седиментації, якості клейковини і маси 1000 зерен [65]. В Інституті генетики і селекції Академії наук Азербайджану під керівництвом академіка Мустафаєва шляхом гібридизації егілопсів і сортів твердої та м'якої пшениці було створено велику кількість форм із значно поліпшеною якістю зерна. Так, схрещування місцевих сортів і форм *T. durum*, *T. turgidum* з *A. biuncialis*, *A. triarstata*, *A. triuncialis* отримані лінії з масою 1000 зерен 62-67 грамів, 100%-вою скловидністю, вмістом білка 15-18% та клейковини 35-53%.

Якість клейковини деяких ліній була вища, ніж у сортів твердої пшениці [66]. Також ці гібриди відрізнялися поліпшеним складом амінокислот. Так, вміст лізину було збільшено – від 343 до 472 мг на 100 г зерна триптофану був – 200 мг на 100 г зерна. Були створені гібриди дісомно-доповнені та замішені від *A. speltoides* та лінії м'якої пшениці з високим вмістом білка 18-19 %, високим вмістом клейковини та рівнем седиментації [67].

В СГІ-НЦНС також займаються створенням та дослідженням інтрогресивних ліній на базі *A. tauschii*. Великий об'єм роботи в цьому напрямку проведена співробітником відділу загальної та молекулярної генетики к.б.н. Іваном Івановичем Моцним. Серед генетичного матеріалу, одержаного у його дослідженнях, є інтрогресивні лінії з високою стійкістю до хвороб, та підвищеною врожайністю та масою 1000 зерен, але головним чином - це підвищений вміст білка в зерні та поліпшені його хлібопекарські властивості [68–72].

Особливий інтерес в цьому напрямку представляє ген *GPC-B1* [73]. Серед колекційних зразків пшениці Ізраїлю нещодавно виявлено дикорослу пшеницю емер *T. dicoccoides* Thell, у хромосомі 6В якої ідентифіковано QTL-фактор *GPC-B1*, що істотно підвищує вміст білка в зерні та ключових мінералів (Fe, Zn, Mn) [46]. Для пояснення, яким чином функціональний алель *GPC-B1* збільшує вміст білка, М.А. Kade з колегами [74] порівняли майже ізогенні рекомбінантні заміщені лінії, що несуть активні або неактивні алелі *GPC-B1*, з реципієнтним сортом LDN за вмістом розчинного білка та амінокислот у прапорцевих листках і концентрацією сумарного азоту в колосках, зерні та стеблах. На підставі отриманих даних було зроблено висновок, що лінія, яка містила функціональні алелі GPC, накопичувала більше білка внаслідок ефективною ремобілізації азоту з листя у колосся під час наливу зерна. Значні відмінності між деякими рекомбінантними заміщеними лініями твердої пшениці спостерігали також за швидкістю їхнього старіння, що виявлялося у пожовтінні стебла і прапорцевого листя, і зниженні у прапорцевому листі вмісту хлорофілу [75]. Ці відмінності були

повністю пов'язані з наявністю *GPC-B1* від *DIC*, а точніше – ділянки розміром 250 т. п. н. (0,3 сМ), фланкованої маркерними локусами *Xuhw89* і *Xucw71*.

Відомо, що старіння – це запрограмована деградація компонентів клітини, що робить доступними поживні речовини для ремобілізації в насіння. Можливо, *GPC-B1* бере участь у контролі цього процесу і володіє широким плейотропним ефектом [56]. У зерні рекомбінантних інбредних ліній, що несуть алелі від *DIC*, порівняно з лініями, що містять алелі від *LDN*, була виявлена вища концентрація не тільки білка (у середньому на 38%), а й цинку (12%), заліза (18%) та марганцю (29 %). З використанням сучасних технологій секвенування (Roche 454 pyrosequencing та Illumina systems) D. Cantu з колегами [76] на 12-й день після цвітіння провели транскрипційний аналіз прапорцевого листка у трансгенних ліній сорту *Bobwhite* у порівнянні з не трансгенним контролем, і показали, що процес старіння рослин пшениці пов'язаний із змінами в експресії кількох сотень генів. Серед них були гени-транспортери, гени, які беруть участь у фотосинтезі, що регулює метаболічні процеси та відповідні реакції на стресори та ін. Різницю за рівнем їхньої експресії виявляли задовго до появи візуальних симптомів старіння. Таким чином, проведені у світі дослідження показали, що дія генів *GPC*, які впливають на вміст білка в зерні, проявляється після цвітіння, на ранньому етапі старіння рослини, і пов'язане з ремобілізацією поживних речовин з вегетативних органів рослини у зерно в процесі його наливу.

У Канаді за допомогою створення дигаплоїдів і використання маркер-контрольованого відбору отримано три комерційні сорти ярої м'якої пшениці. Два з них, сорти *Lillian* та *Somerset* [77], відносяться до екстрасильних класу канадських західних ярих червонозерних сортів, а *Burnside* – до канадських західних надсильних сортів. Створені сорти або трохи перевищували, або не відрізнялися за врожайністю від сортів, у яких не був маркер гена *GPC-B1*, але всі вони мали вищий вміст білка в зерні (від 13,4 до

16,1%) і дозрівали на два-три дні раніше. Сорт Lillian також містив блок зчеплених генів *Lr34/Yr18* (хромосома 7D) стійкості до бурої та жовтої іржі, мав наповнене стебло і був стійким до пшеничного стеблового пильщика *Serphus cinctus* Nort., поширеного у Північній Америці.

Відомо, що реакція на спеку як стресор виявляється в укороченні періоду розвитку зернівки, прискоренні старіння верхнього міжвузля, зниження врожайності та зміні показників якості клейковини. Особливо чутливий до спеки синтез крохмалю, що пояснюється впливом стресора на розмір зерна і концентрацію в ньому білка. Австралійські вчені провели дослідження щодо з'ясування дії високої температури на налив зерна у ліній, що несуть функціональні алелі *GPC-B1*. Для цього використовували сорти Gladius, Drysdale, Wyalkatchem, Burnside, Somerset, Glupro та селекційну лінію RAC1262A (відбір з лінії RAC1262, яка згодом стала Gladius). Дослід було проведено за великої кількості повторностей у теплиці за контрольованих умов (24/18 °C, 14/10 год день/ніч), через три дні після цвітіння половину рослин кожного сорту та лінії поміщали у камеру (37/27 °C, 14/10 год день/ніч) на 15 днів. Як показали результати дослідження, дія високої температури не мала істотного впливу на фенотипічний прояв функціональних алелів *GPC-B1*.

Впровадження нового гена в адаптований високоврожайний сорт завжди критично оцінюється з точки зору його впливу на врожайність. З 15 досліджень, які аналізували вплив гена *GPC-B1* на врожайність, 79% не виявили суттєвих відмінностей, 17% показали позитивний вплив на врожайність, тоді як 4% показали зниження врожайності. Це свідчить про те, що варіація врожайності залежить не тільки від наявності певного гена, а й від генетичного середовища сорту, в якому цей ген експресується, та його взаємодії з навколишнім середовищем [78].

США для введення функціональних алелів *GPC-B1* використовували сорти та лінії м'якої пшениці Anza, Yecora Rojo, Attila, UC1037, UC1041, а також твердої пшениці Kofa, Kronos, UC1113, причому у Yecora Rojo та

UC1113, як і у Lilian, введений функціональний алель *GPC-B1* був тісно зчеплений з геном Yr36 [79]. Створені майже ізогенні та сестринські лінії BC6F3 були протестовані у трьох пунктах протягом трьох років. Усі лінії з функціональними алелями *GPC-B1* мали більше білка в зерні та менше азоту в стеблах, при цьому у них була нижча маса 1000 зерен, але за врожайністю вони не відрізнялися. Крім того, у ліній м'якої пшениці з функціональними алелями *GPC-B1* збільшувалися водопоглинальна здатність борошна, час замісу тіста та обсяг хліба; у ліній твердої пшениці покращувалися якість клейковини та реологічні властивості тіста, твердість спагеті, також зменшувалися втрати сухої речовини при варінні [80–81].

Неоднозначні результати були отримані при оцінці майже ізогенних ліній BC5F5 сортів ярої м'якої пшениці Tara та Scarlet, адаптованих до умов регіонів з великою кількістю опадів або з напіваридним кліматом відповідно [82]. У порівнянні з батьківськими сортами прискорене старіння було виявлено тільки в один рік для лінії Tara 2002, що несла функціональні алелі *GPC-B1*, а також для таких ліній обох сортів у теплиці при оптимальних умовах вирощування та розвитку рослин. Однак ці відмінності не вплинули на вміст білка в зерні. В інший рік у тих же ліній Tara 2002 спостерігали збільшення вмісту білка на 0,5%, при цьому видимих симптомів старіння не було виявлено. Протягом двох років у всіх ліній з функціональними алелями *GPC-B1* зазначили зменшення маси 1000 зерен, але ні за врожайністю, ні за накопиченням Mg, Cu та Zn, ні за вмістом азоту і вуглецю в соломі та зерні лінії не відрізнялися. Не виявивши очікуваного ефекту функціональних алелів *GPC-B1*, автори пов'язали цей факт із коротким періодом вегетації рослин у регіоні. Вплив різної довжини вегетації на прояв гена *GPC-B1* потребує подальшого вивчення. В Аргентині результати проведених досліджень на майже ізогенних лініях сортів ярої м'якої пшениці ProINTA Granar і ProINTA Oasis дали підставу зробити висновок, що інтрогресія функціональних алелів *GPC-B1* – цінний ресурс підвищення вмісту білка у зерні [83].

Виходячи з аналізу літературних даних можна зауважити, що для досягнення мети створення на основі нових генів оригінального генетичного матеріалу, придатного для використання в селекції, необхідно дотримуватися наступних правил. По-перше, надання пріоритету цитоплазмі культурної пшениці перед цитоплазмою дикорослих представників. Тобто, комерційні сорти в первинних схрещуваннях та бекроссах повинні використовуватися як материнський компонент. По-друге, визнання головної ролі геному D у ботанічного виду *T. aestivum* як культури та значенням на вплив біохімічних і хлібопекарських показників якості зерна. По-третє, надання в дослідженнях пріоритету білкам, які мають домінуючий вплив на хлібопекарські властивості пшениці – гліадином *Gli-1* і глютеніном *Glu-3* (низькомолекулярним), *Glu-1* (високомолекулярним).

Селекційні дослідження гена *GPC-B1* були проведені у відділі генетичних основ селекції СГІ-НЦНС під керівництвом д.б.н. Олександра Ілліча Рибалки. Було встановлено, що ген *GPC-B1* має позитивний вплив не тільки на вміст сирого протеїну зерна, а й на рівень седиментації та як наслідок на хлібопекарські властивості. Були отримані лінії, від схрещувань ліній з геном *GPC-B1* і місцевого сорту Куяльник які головними господарсько цінними ознаками відповідали сортам стандартам [84 – 88].

Розділ 1.4. Фізіологічно-генетичні аспекти накопичення та реутилізація азоту у пшениці

Серед мінеральних поживних речовин азот є найважливішим мінеральним елементом живлення, оскільки він є невід'ємним компонентом амінокислот, а отже, і білків. Вміст білка в зерні залежить від генотипових особливостей та забезпеченості рослин азотом. Коли рослини удобрюють азотом на пізніх стадіях розвитку (цвітіння - молочна стиглість), відтік азоту з вегетативних органів зменшується, і більша частина білка в зерні

накопичується за рахунок поглинання азоту під час наливу зерна [89]. Генетичний.

Здатність коренів поглинати азот з ґрунту залежить від генотипових особливостей сорту. Ця здатність поглинати азот з ґрунту протягом тривалого часу після цвітіння визначає особливості генотипів накопичувати високий вміст хлорофілу в листі та продовжувати фотосинтез після цвітіння [90]. Крім того, коріння пшениці також може ремобілізувати азот в надземну частину рослин, оскільки містить 10-20% загального азоту всієї рослини [91].

Відомо, що вміст білка в умовах посухи дещо зростає, на відміну від врожайності [92]. При низьких температурах під час наливу зерна та високому забезпеченні рослин азотом вміст вільних амінокислот у зерні зростає, тоді як вміст білка знижується [93]. Таким чином, умови навколишнього середовища відіграють важливу роль у ремобілізації азоту зі стебла та листя в зерно [94]. Дослідники надають великого значення визначенню взаємозв'язку між різними фізіологічними параметрами та врожайністю і якістю зерна пшениці або окремими господарсько-цінними ознаками [95].

Через брак азоту в ґрунті або неможливість кореневої системи якісно постачати його до ростових процесів, особливо в період наливу зерна, значну роль у накопиченні білка в зерні відіграють запаси цього елемента у вегетативній масі [96]. Проте для ефективного використання тимчасово депонованого азоту потрібне поліпшення механізмів його ремобілізації [52]. Це питання наразі є дуже актуальним і привертає увагу багатьох дослідників. Головною метою для вчених є пошук можливостей керування співвідношенням між продуктивним процесом і асиміляцією азоту для збільшення врожайності та вмісту азоту в зерні. На сьогодні можна виділити три основні постулати цієї проблеми: існує негативне співвідношення між врожаєм зерна і вмістом білка, яке багато в чому визначається координацією депонувальних процесів на рівні стебла; зернова продуктивність більше обмежена синтезом крохмалю в зернівках, ніж синтезом білка; зростання

врожайності супроводжується підвищенням ефективності використання азоту [97]. Фаза цвітіння рослин пшениці значною мірою є визначальною для майбутнього врожаю. Доведено, що між фотосинтетичною активністю і азотним статусом рослин та накопиченням сухої речовини й азоту перед цвітінням існує позитивна кореляція [98].

Італійські вчені виявили сповільнення старіння листків після цвітіння за тривалої селекції твердої пшениці на підвищення врожайності, причому цей ефект корелював із більшим надходженням азоту в зерно. Висловлена думка, що раннє цвітіння має зв'язок зі сповільненим старінням. Зростання врожаю корелювало в часі зі зниженням продигового опору і питомого вмісту азоту в листках [99]. При цьому різниці за ремобілізацією із вегетативних частин рослин між гібридами і батьківськими формами не спостерігалось, проте асиміляція азоту після періоду цвітіння була значнішою у гібридів, ніж у їхніх батьківських форм. В порівняльному дослідженні двох ліній пшениці, однакових за врожайністю, але різних за білковістю, виявлено, що амінокислоти (глутамін, аспарагін і гліцин) у низькобілкової лінії транспортувалися до флоєми у значно меншій кількості [100]. Водночас досліджені генотипи не відрізнялися за здатністю до поглинання азоту, активністю нітратредуктази та загальним вмістом азоту в рослині, хоча у високобілкової лінії за повної стиглості вміст азоту у вегетативних частинах був нижчий, ніж у низькобілкової. Це свідчить про те, що із листків і стебел, котрі старіють протягом наливу зерна, через низьку здатність ремобілізації азоту внаслідок пригнічення транспорту амінокислот, вміст азоту в листках рослин озимої пшениці різних ярусів є неоднаковим. Зазвичай він зменшується зверху донизу [101]. У стеблі цей градієнт виражений менше, внаслідок чого із листків верхнього ярусу формується більша частина білковості зерна. У рослин високобілкового сорту ремобілізація азоту із стебла та листків нижніх ярусів відігравала більшу роль у формуванні якості зерна, на відміну від низькобілкового. Німецькі вчені показали, що краща реакція на азотне підживлення та вища

інтенсивність азотного метаболізму була у високобілкових сортів озимої пшениці, в порівнянні з низькобілковими сортами. Але при цьому маса 1000 зерен них була меншою, що пов'язано з обмеженою атрагувальною здатністю [102]. Підживлення азотом несуттєво впливало на масу 1000 зерен. Цей показник більше залежав від погодних умов та забезпеченості рослин асимілятами в період колосіння – цвітіння.

У дослідженнях, проведених американськими вченими на восьми генотипах ярої м'якої пшениці з метою пошуку селекційних критеріїв для одночасного підвищення врожайності та білковості зерна, виявлено високу кореляцію між вмістом білка в зерні та азотним індексом врожаю [103]. Активне поглинання азоту після цвітіння, високий азотний індекс врожаю й ефективність ремобілізації були характерні для високобілкових і врожайних генотипів. Автори зробили висновок, що при селекції на збір білка в зерні та покращення врожайності у популяціях, створених за принципом поєднання високого вмісту азоту в рослині за повної стиглості, азотним індексом і К-госп, краще вести добір на мінімально прийнятний рівень врожайності та підвищену білковість з подальшою селекцією на врожайність.

Висновки до розділу 1

Виходячи з вищесказаного, напрямки роботи з поліпшення якості зерна пшениці дуже різноманітні і мають велике значення для подальшого розвитку сільського господарства. У деяких областях виведені перспективні лінії з високим вмістом мінеральних речовин і вітамінів, які вже широко використовуються в сільському господарстві. Однак існують також області, де зроблені лише перші кроки у вивченні генів, відповідальних за накопичення цінних сполук. Розвиток технологій генетичного поліпшення якості зерна стрімко прогресує, і в недалекому майбутньому є перспектива отримання зерен пшениці, які задовольнятимуть більшість потреб людства.

Окрім традиційних методів покращення біохімічних показників якості зерна, віддалена гібридизація є одним з найбільш економічно вигідних та

ефективних методів досягнення генетичного різноманіття в генофонді пшениці. *Aegilops L.*, донор ключового D-геному культурної гексаплоїдної пшениці *T. aestivum L.*, який відповідає за основні агрономічні ознаки пшениці, такі як врожайність, якість, стійкість до фітопатогенів та несприятливих факторів навколишнього середовища, включаючи посуху, найкраще підходить для поліпшення якості зерна шляхом віддаленої гібридизації. Генетична мінливість *Aegilops L.* незрівнянно (у кілька тисяч разів) перевищує генетичну різноманітність сортів пшениці. Крім того, багаті на білок гени *Aegilops L.* мають значний позитивний вплив на фракційний склад білка і, таким чином, на хлібопекарські властивості борошна. Показано, що ген GPC-B1 з *Triticum turgidum ssp. Dicoccoides* позитивно впливає на вміст білків і важливих мікроелементів (Fe, Mn і Zn) у зерні пшениці на різних генетичних фонах і за різних умов, а також на якість борошна для хлібопечення і виробництва макаронних виробів. Оскільки функціональний алель дикого типу GPC-B1 з *Triticum turgidum ssp. Dicoccoides* рідко зустрічається в сучасних сортах твердої пшениці, його включення в національні селекційні програми є надзвичайно важливим. Впровадження цього гена в сучасні сорти пшениці може позитивно вплинути на якість зерна пшениці та вирішити глобальну проблему "прихованого голоду".

Аналіз літературних даних дозволяє зробити важливі висновки:

1) Пшениця – залишається однією з головних продовольчих культур, як джерело одержання білка, вуглеводів, біологічно активних сполук, мікроелементів;

2) Майже півтора століття науково обґрунтована селекція велася спочатку на удосконалення морфологічних показників, тобто добір та поліпшення сортів за так званої народною селекцією. Наступний етап після «Зеленої революції» – це стрімке підвищення врожайності пшениці, і як наслідок, значна втрата вмісту білка і зольних елементів у зерні;

3) Головні методи створення нових сортів з поліпшеною якістю зерна – мутагенез, трансформація ДНК та молекулярна інженерія мають чимало вагомих і цікавих результатів. Але ці методи потребують великих затрат та ресурсів, проте їх практичний результат є неконтрольованим і важко передбачуваним;

4) Використання методу віддаленої гібридизації – один із важливих методів підвищення якості зерна пшениці. Він також мало передбачуваний, але більш доступний і дозволяє включати в селекційний процес великий об'єм дослідних ліній. Це дає змогу створити інтрогресивний матеріал, який може бути використаний як генетичне «джерело» удосконалення пшениці за біохімічними показниками якості зерна.

Великий інтерес у напрямку поліпшення харчових якостей пшениці, представляють дослідження з накопичення та реутилізації азоту в пшениці. Воно відкриває можливість підвищити ефективність використання добрив. Також зроблено висновок про необхідність підвищення ефективності ремобілізації азотовмісних сполук із вегетативних органів наприкінці вегетації і контролю фракціонування азотовмісних сполук у зерні між різними формами білка для поліпшення хлібопекарських властивостей борошна. Збільшення відсотку реутилізації є перспективним напрямком у розриві негативної кореляції між врожайністю і якістю зерна пшениці.

Водночас залишається ряд проблем використання інтрогресивних ліній у селекційних напрямках пшениці на підвищення якості зерна. Враховуючи наявність в СГІ-НЦНС напрацьованих інтрогресивних ліній на базі *A. tauschii* та гена *GPC-B1*, який показував у минулих дослідках значне зростання вмісту сирого протеїну, виникла необхідність їх більш глибокого вивчення й на базі нового генетичного матеріалу здійснити теоретично обґрунтовану цільову програму селекції пшениці м'якої озимої на поліпшення біохімічних показників якості зерна. Рекомбінантні лінії мають поєднувати комплекс господарсько цінних ознак і властивостей як можливі кандидати в нові сорти.

РОЗДІЛ 2.. МАТЕРІАЛИ, УМОВИ, МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1. Селекційні лінії і сорти у дослідженні.

2.1.1 Склад колекції відділу селекції та насінництва пшениці.

Колекція сортів відділу селекції та насінництва пшениці налічувала в 2019-20 р. – 88 сортів, 2020-21 р. – 100 сортів, 2021-22р. – 88 сортів найбільш поширених і перспективних сортів із СГІ-НЦНС, 6 установ України й 6 іноземних компаній. А саме: вітчизняні установи – Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України, Білоцерківська дослідно-селекційна станція ім. О.К. Коломієць, Миронівській інститут пшениці ім. В. М. Ремесла, Інститут зрошувального землеробства НААН, Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, Херсонський державний аграрний університет; іноземні компанії – Fr.Strube Saatzucht KG Sollingen (Німечена), Deutsche Saatveredelung AG (Німечина), Limagrain (Франція), RAGT (Чехія), Nordsaat Saatzucht (Бельгія), SAATBAU LINZ eGen (Австрія). Для відображення селекційних досягнень за показниками біохімічної і технологічної якості зерна пшениці в колекціях представленні сорти, створені за останні 30 років. Як контроль використовувались сорти попередніх етапів селекції – Одеська 16 – 1946 р., Безоста 1 – 1955 р., Одеська 51– 1968 р.

Враховуючи те, що в державному реєстрі зростає кількість сортів пшениці закордонного походження, в колекції відділу були представлені найбільш розповсюджені в Україні сорти із цієї категорії. Для аналізу експериментальних даних сорти були згруповані за місцем створення: I – сорти селекції СГІ-НЦНС; II – сорти, які створені в Українських установах; III – сорти, створені в закордонних компаніях.

2.1.2. Селекційні лінії та сорти, що були використано у схрещування

1) Сорти м'якої озимої пшениці, що використовуються як батьківські компоненти у схрещуваннях - Куяльник, Нива, Оранта, Кантата, Оптима, Наснага, Ветеран, Мелодія, Мудр, створені в Національному центрі насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса.

Куяльник - суперсильний сорт з високою якістю зерна та високою врожайністю 6,72-9,88 т/га. Це один із сильних сортів. Нива - надсильний сорт пшениці з урожайністю 7,9-10,2 т/га, що на 9,4-14,7% вище національних стандартів. Характеризується великим, добре виповненим колосом (62 - 82 зерна) та високою врожайністю (616 - 818 стебел на 1 м²). Мелодія - сильна пшениця, високоінтенсивного типу, універсального призначення, з урожайністю 7,2 - 11,4 т/га, вмістом білка 13,2 - 14,4%, клейковини 30 - 32%, силою борошна 322 - 368 о.а. Нанага - короткостеблова, високоінтенсивного типу, з середньою урожайністю 8,1 - 8,7 т/га в роки конкурсного сортовипробування інституту. Генетичний потенціал сорту становить 11,0 - 12,0 т/га. Якість зерна: Сорт відноситься до сильних сортів пшениці. "Сила борошна 430 - 450 о.а., вміст білка в зерні до 14,4%, вміст клейковини 28,3 - 30,2%. Загальна оцінка хліба - 5,0 балів. Оранта - універсальний сорт для вирощування в високих і середніх агроекологічних умовах. Якість зерна: сильна пшениця, вміст білка - 12,8 - 13,8%, клейковини - 29 - 33%, сила борошна - 382 - 420 о.а. Ветеран - інтенсивний сорт пшениці універсального призначення. Якість зерна: належить до групи сильних сортів пшениці, вміст білка 13,5 - 14,0%, клейковини 28,7 - 29,1%, сила борошна 380 - 420 одиниць, загальна хлібна оцінка 4,9 бала. Таким чином, всі сорти були відібрані за основними характеристиками - високими хлібопекарськими властивостями в поєднанні з елементами стійкості до абіотичних факторів.

2) Нові інтрогресивні лінії, створені методом віддаленої гібридизації у відділі загальної та молекулярної генетики та у відділі генетичних основ селекції СГІ-НЦНС. Матеріалом для вивчення гена GPC-B1 слугували лінії F6 - F7, отримані від схрещування сорту *T. aestivum* Куяльник з лінією-донором гена GPC-B1 *T. turgidum* ssp. *dicoccoides*, надані для дослідження к.б.н. О. І. Рибалкою.

Матеріалом для вивчення впливу білковозбагачених генів *A. tauschii* слугували лінії, отримані від 3-10 насичених схрещувань адаптованих сортів пшениці Одеська 267, Куяльник, Зміна, Ватажок, Віжен, Альбатрос ff, Селенка. З мексиканськими елітними синтетиками (амфіплоїдами *T. durum* Desf./*Aegilops tauschii* Coss.) подальші ступінчасті схрещування отриманих гібридів з сучасними сортами та 4-6 самозапиленнями, проведені к.с.-г.н. І.І. Моцним.

2.2 Ґрунтовий покрив дослідних ділянок та погодні умови в роки досліджень.

2.2.1 Агрохімічна характеристика ґрунту.

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводили упродовж 2019–2023р. років на дослідному полі Селекційно-генетичного інституту - Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ-НЦНС), розташованого в м. Одеса, а також на дослідних полях ДП «ДГ» Покровське» СГІ-НЦНС, яке розташоване за адресою Одеська обл., Одеський р-н, село Маринівка. Ґрунт дослідного поля в СГІ-НЦНС - чорноземи південні залишково-солонцюваті на лесових породах, в ДП «ДГ» Покровське» - чорноземи південні на лесових породах. За даними ґрунтового обстеження дослідного поля, проведеного у 2022 р. Одеською філією ДУ «ДЕРЖҐРУНТОХОРОНА» визначено, що в орному шарі міститься 3,2% гумусу (за Тюрінім). Агрохімічні показники родючості ґрунту забезпечують високі рівні урожайності зерна пшениці озимої. Вони

характеризуються наступним вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) (за Тюрінім) 3,2%, P₂O₅ і K₂O (за Чіріковим) в середньому відповідно 45 та 270 мг, легкогідролізованого азоту – 12,3 мг на 100 г ґрунту, рН (сольове) – 6,4–6,6.

У морфологічному відношенні територія регіону, де знаходяться дослідні поля, розташована в межах Південного степу України, в зоні Причорномор'я і території міжліманя Куяльника та Хаджибею. Місцевість характеризується слабохвилястим рельєфом і є типовою для даного агрокліматичного району. Ґрунтові води залягають на глибині 20 – 30 м.

2.2.2 Характеристика погодних умов

Клімат південного степу помірно-континентальний, характеризується теплою зимою і помірною вологістю влітку. Однак в останні роки погодні умови змінилися і характеризуються більш теплим і тривалим вегетаційним періодом восени і взимку. За останні десять років середньодобова температура зросла при незначній кількості опадів або їх відсутності. Загалом, з кліматичної точки зору, південна степова зона належить до регіону з неоптимальним співвідношенням тепла і вологи, де гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за Селяніновим становить 0,6, тобто переважає помірна посуха. У роки наших досліджень погода відрізнялася за гідротермічними показниками (табл. 2.1).

Наприклад, кількість опадів у 2019/20 році становила 290 мм. Агрометеорологічні умови для осінньої вегетації озимих культур у листопаді були не зовсім сприятливими. Опадів було недостатньо для інтенсивної вегетації. Через недостатню кількість вологи у верхньому шарі ґрунту (0-10 см та 0-20 см) сходи та кущіння на площах, засіяних озимою пшеницею, були слабкими.

Середньомісячна температура повітря в грудні була в межах норми - 5,4°C, при цьому максимальна температура в найтепліші дні піднімалася до

+12°C, а мінімальна опускалася до -3,3°C. Середня кількість опадів за місяць склала 35,3 мм.

Таблиця.2.1.

Середньомісячні показники температури повітря і опадів за роки досліджень.

Вегетаційний рік	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
Кількість опадів, мм.									
2019-20	51,6	22,6	35,3	31	49	18,2	23,4	35	29
2020-21	50,3	22,5	37,2	115,1	50,6	27,8	38,8	46,27	110,5
2021-22	25,3	25,6	88,6	25,9	26,1	30,8	32,6	15,4	30,7
Середня температура, С°									
2019-20	+12,8	+9,4	+5,4	+2,5	+4,7	+8	+10,4	+14,1	+21
2020-21	+16,7	+6,5	+3,5	+1,2	+0,8	+3,9	+8,5	+15	+20,1
2021-22	+11,1	+8,3	+3	+0,9	+4,4	+4,5	+9,4	+16,3	+22,3

У лютому погода була холодною, випало 49 мм опадів. Середньомісячна температура повітря цього місяця становила +4,7°C, при цьому найнижча тепла температура опускалася до +6,2°C, а в найхолодніші ночі спостерігалися заморозки, тоді як максимальна температура піднімалася до +16,3°C в деякі з перших десяти днів місяця. Середньомісячний сніговий покрив становив 6 см.

Перший місяць весни був надзвичайно сухим з чергуванням холодних і теплих періодів, що негативно вплинуло на відновлення весняної рослинності. Середньомісячна температура становила +8 °С, при цьому мінімальна температура в найхолодніші ночі опускалася до -1,5 °С, а максимальна піднімалася до +18,5 °С. Загальна кількість опадів за місяць склала 18,2 мм, що було недостатньо для ефективного відновлення весняної рослинності.

Нестійка погода в першій половині квітня характеризувалася чергуванням дощових, сухих і теплих днів, з коливаннями температури і вітром 15-24 м/с. Середньомісячна температура становила +10,4 °С. У найтепліші дні температура повітря піднімалася до +22,6°C, а мінімальна температура опускалася до -0,9°C. Опади цього місяця розподілилися

наступним чином: 23,4 мм опадів випало в першій половині квітня, тоді як друга половина була абсолютно сухою. Як і в попередньому місяці, на дослідних полях спостерігався дефіцит вологи.

За температурним режимом травень був місяцем контрастів: перша декада місяця була прохолодною, друга - помірно теплою, а третя - спекотною. У найтепліші дні максимальна температура повітря піднімалася до +24,7 °С, а мінімальна опускалася до +5,9 °С. Опади у вигляді сильного дощу спостерігалися в кілька днів місяця і були нерівномірно розподілені по території області. Місячна сума склала 35 мм на більшій частині території області. Такі зміни в опадах позитивно вплинули на вегетацію, особливо під час наливу зерна, але дефіцит попередніх місяців все ще був чітко помітний.

Червень також був контрастним з точки зору погодних умов: з 1 по 8 червня та з 15 по 23 червня було сухо і спекотно. Протягом решти місяця спостерігалася активна циклонічна діяльність, що супроводжувалася дощами різної інтенсивності. Середньомісячна температура в червні становила +21°С. У найхолодніші ночі температура опускалася до +9,2°С. За місяць випало 29 мм опадів. Загалом рік можна охарактеризувати як посушливий, що призвело до нерівномірних сходів восени. На жаль, ситуація не покращилася і після відновлення вегетації навесні.

Веgetаційний період озимої пшениці в 2020/2021 роках був досить вологим із загальною кількістю опадів 500 мм. Така кількість опадів є достатньою для нормальної вегетації пшениці. Кінець серпня - початок вересня 2020 року характеризувався сухою та теплою погодою. Починаючи з другої декади вересня випала низька кількість опадів при температурі, нижчій за середню багаторічну.

Загалом, всю осінь 2020 року можна охарактеризувати як суху і теплу, але вологи було достатньо (завдяки опадам у червні та липні), щоб отримати досить дружні сходи озимої пшениці.

Зима 2020/2021 була досить прохолодною. У грудні та лютому температура була нижче 0 °С, а в січні досягала -4,4 °С. Стійкого снігового покриву протягом зими не було.

Весна 2021 року була ранньою і теплою, зі значними опадами в травні. Температура в березні, квітні та травні перевищила середню багаторічну на 3,9, 8,5 та 15 °С відповідно. При цьому за березень, квітень і травень випало майже 105 мм опадів, що було достатньо для формування колосу та наливу зерна.

Літній період 2021 року можна охарактеризувати як спекотний, але з великою кількістю опадів. З червня по липень випало майже 110 мм опадів.

Загалом, погодні умови під час вегетації озимої пшениці 2020/21 року дозволили повністю реалізувати потенціал врожайності культури.

Погодні умови вегетації озимої пшениці в 2021/2022 рр. були менш сприятливими, ніж у попередньому році, і становили близько 300 мм опадів. Осінь була відносно теплою з невеликою кількістю опадів. Середня температура жовтня становила +11,1°С, а листопада - +8,3°С. Перший осінній заморозок стався в третій декаді листопада. За сезон випало 51 мм опадів, що менше, ніж у попередньому році.

Зима характеризувалася близьким до середньорічних показників за температурою, лише в лютому спостерігалось значне потепління упродовж першої та другої декади. Дуже теплі були перша та друга декади грудня. Стійкого снігового покриву не було. Опади спостерігалися у вигляді дощу та снігу, (за зимовий період їх сума склала 140 мм), що досить багато для цього сезону. Весна була типовою за температурним режимом, але загальна кількість опадів була до 80 мм. Значною мірою дефіцит опадів весною невілювався її запасом вологи у зимового періоду. З третьої декади квітня спостерігалась різка зміна погоди. Настала рання жарка погода, без дощів. Стійкий перехід середньодобової температури через 15°С відбувся наприкінці травня.

Літо було типове за температурою, середній показник температури повітря $+23^{\circ}\text{C}$, але значних опадів не було – лише 30 мм опадів. Загалом період вегетації був відносно сприятливий для формування достатнього рівня урожайності озимих культур, але не для формування біохімічних показників високої якості зерна.

Припинення осінньої вегетації пшениці озимої в умовах 2019 р. встановлено 21 листопада, у 2020 р. – 29 листопада, в умовах 2021 р. – 30 листопада, а відновлення весняної вегетації настало у 2020 р. – 18 березня, у 2021 р. – 15 березня, у 2022 р. – 19 березня. Таким чином, період зимового спокою, або анабіозу, рослин пшениці озимої проходив в умовах 2019/2020 рр. упродовж 126 діб, в 2020/2021 роках – 122 доби і в умовах 2021/2022 рр. – 128 діб.

2.3. Методи і методики дослідження.

2.3.1. Лабораторні дослідження.

2.3.1.1 Визначення якісних показників пшениці методом інфрачервоної спектроскопії.

Аналіз проводили у відділі генетичних основ селекції Селекційно-генетичного інституту - Національного центру насіннєзнавства та сортівивчення (СГІ-НЦНСГ). Загальний вміст білка та фізичні властивості твердості вимірювали за допомогою методу інфрачервоної спектроскопії (NIR). Метод заснований на відображенні ближнього інфрачервоного випромінювання в діапазоні довжин хвиль 500-2300 нм і подальшому порівнянні спектра з результатами калібрувальної бази даних. Наважку зерна масою 50 г розмелювали на лабораторному млині Perten LM 3100 (Швеція). Твердість і вміст білка в пшеничному борошні визначали на приладі Perten Informatic 8600 (Швеція) [104].

2.3.1.2 Визначення загального азоту за методом К'ельдаля

Визначення загального азоту за методом К'ельдаля проводили в лабораторії біохімії рослин НЦНС. Він складався з трьох етапів: мінералізації, нейтралізації та титрування. Наважку зерна масою 0,8000 г поміщали в колбу на 250 мл, додавали 2 таблетки Kjeltabs СК (кожна таблетка містить 3,5 г K_2SO_4 і 0,4 г $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) і 15 мл концентрованої сірчаної кислоти. Процес мінералізації проводили за лабораторною методикою InKjel D-40599 (Німеччина) протягом 90 хвилин. На наступному етапі в пробірку автоматично додавали 20 мл дистильованої води і 20 мл 40% NaOH для видалення аміаку. Дистильований аміак поглинали 4% борною кислотою. Аміак нагрівали і переганяли протягом 5 хвилин. Процес проводили автоматично з використанням приладу для розкладання за К'ельдалем Behr Labor Technik SR3i (Німеччина). Третій етап титрування проводили з використанням оцифровувача TitroLine (Німеччина). Титрування проводили 0,1 N H_2SO_4 і продовжували до тих пір, поки рН не впаде до 4,8. Прилад відображав результат кількості загального азоту в зразку. Для перерахунку загального азоту в загальний білок використовували коефіцієнт перерахунку 5,7 для пшениці згідно з ГОСТ 10846-91 [105].

Визначення вмісту білка у дослідному матеріалі з використанням двох методів дозволило зробити висновок, що дані вмісту білка, отримані методом інфрачервоної спектрометрії, на 0,3 – 0,7% відрізняються від результатів, отриманих методом К'ельдаля (табл. №2.2). Але при цьому була зауважена сильна позитивна кореляційна залежність $r = 0,90 - 0,95$ між результатами визначення вмісту білка цими двома методами. Також метод інфрачервоної спектрометрії має низку переваг, таких як швидкість проведення, простота здійснення, відсутність необхідності реактивів і малі витрати трудових ресурсів. Висока кореляційна залежність, невеликий відсоток відхилення і вищеперераховані аргументи роблять цей метод цілком придатним для масових аналізів у селекційному процесі. Але при визначенні

класності зерна згідно з ГОСТом для уникнення неточностей краще використовувати найточніший, арбітражний метод К'ельдаля, в тому числі й для калібрування на вміст білка інфрачервоного спектрофотометра.

2.3.1.3 Визначення індексу седиментації за методом SDS-30.

Непряму оцінку «сили» борошна, тобто визначення індексу седиментації за методом SDS-30 (SDS – додецилсульфат натрію) здійснювали на автоматичному приладі з програмним управлінням. Прилад розроблений в СГІ-НЦНС. Для цього відбирали середню пробу борошна масою 3,2 г в поліпропіленові склянки та заливали його 10 мл 4%-ої оцтової кислоти. Кожну склянку закривали кришечкою та інтенсивно струшували його вміст 4-5 рази для отримання однорідної суспензії. Після цього стиканки поміщали у попередньо прогріту до +30°C водяну баню і відстоювали 30 хвилин. Готували розчини 2%-ного додецилсульфату натрію та 4%-ої оцтової кислоти із додаванням метилену синього. Через 30 хвилин виймали склянки з бані, поміщали у лабораторний штатив і додавали у кожен з них стакан по 20 мл 4% розчину льодяної оцтової кислоти, збовтували і виливали в 100 мл циліндри ротаційного приладу. Цим же розчином ополіскували кожен склянку, переливали залишок в циліндр і доводили об'єм до 50 мл. Давали суспензії в циліндрах відстоятися протягом 2 хв. Циліндри у блок-пакеті ротаційного приладу закривали загальною кришкою і плавно обертали блок-пакет навкруг горизонтальної осі 5 разів. Давали суспензії відстоятися на протязі 5 хвилин. Циліндри відкривали і повільно додавали 2% розчин додецил сульфату натрію до 100 мл. Циліндри в блок-пакеті закривали суцільною кришкою, блок-пакет поміщали на автоматичний ротаційний пристрій, фіксували його і запускали програму циклів обертання, через 16 хвилин (3 кругові оберти приладу) знімали показники [25].

2.3.1.4. Додаткові методи.

Відразу після очищення зерна відбирали зразки для визначення вологості [106], засміченості [107], маси 1000 зерен [108], текстури зерна [109], склоподібності [110], сили шроту (на альвеографі), білкового складу [111] та вмісту вітамінів і мінералів [112]. При доборі ліній з високим вмістом білка розраховували додаткові білкові критерії: "Вихід білка з одиниці площі" = ("Урожайність, ц/га" × "Вміст білка, %")/100 % та "Абсолютний вміст білка в 1000 зерен" = ("Маса зерна, г" × "Вміст білка, %")/100 %..

Детекцію гена *GPC-B1* у сортів та ліній з використанням молекулярно-генетичних маркерів *Xuhw89-6B* та *Xgwm508-6B* за допомогою загально прийнятих методик [113-115] проводили у відділі загальної та молекулярної генетики кандидати біологічних наук Галаєва Марія Вячеславівна та Галаєв Олексій Володимирович.

2.3.2. Польові дослідження.

Експериментальна частина роботи виконувалась у 2019-2023 роках на полях СГІ-НЦНС в Одесі. Одеса в Одеській області, на півдні України.

Досліди проводили за схемою трифакторного експерименту: Дози добрив та генотип. Закладання і проведення дослідів, а також відбір зразків ґрунту і рослин та їх підготовка до аналізу здійснювалися відповідно до методик досліджень, методичних рекомендацій та ДСТУ [116].

Агротехніка вирощування пшениці озимої загальноприйнята для степової зони України. Підживлення проводили навесні після відновлення весняної вегетації. Фенологічні спостереження за розвитком рослин пшениці озимої з наступним визначенням строків настання фаз і тривалості основних періодів росту та розвитку, відбір та аналіз пробних снопів для визначення структури врожаю проводили згідно з методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур [117].

Стан рослин до і після перезимівлі, інтенсивність відростання та стійкість до ураження грибами визначали візуально за п'ятибальною шкалою. Перед збиранням врожаю візуально оцінювали вилягання в балах: 5 - повна відсутність грибкового ураження, 4 - слабе грибкове ураження, 3 - середнє грибкове ураження, 2 - рослини були сильно уражені, 1 - рослини були уражені задовго до збирання врожаю. Зерно збирали прямим обмолотом на всіх ділянках досліду зернозбиральним комбайном Sampo-500.

Вивчення колекції сортів пшениці м'якої озимої відділу селекції та насінництва пшениці СГІ-НЦНС. Продуктивну куцистість рослин пшениці м'якої озимої визначали перед збиранням у фазі повної стиглості зерна. Для цього підраховували кількість стебел і продуктивних колосків на 1 м². З цих же зразків відбирали середній зразок для лабораторного аналізу снопа. Лабораторний аналіз включав визначення густоти стояння рослин перед збиранням та висоти рослин. Висота рослин і продуктивність колоса (маса зерна з колоса, кількість зерен у колосі) визначалися на зразках снопа площею 1 м².

Дослідження проводилися на колекційних сортах відділу селекції та насінництва пшениці. Площа облікової ділянки складала 10 м², розмір прямокутний 1,5x10 метрів. Дослідження закладалися в 3-кратній повторності з розміром облікової ділянки 10м² на двох агрофонах з внесенням аміачної селітри у нормі 60 і 120 кг/га діючої речовини. Аміачну селітру вносили врозкид поверхневим способом та за допомогою сівалки локально. Кожен варіант був представлений в трьохкратній повторності.

Особливості накопичення і реутилізації азоту. Польові досліди проводилися на ділянках 6 м², у 3-кратній повторності, з шириною міжряддя 15 см, поділені на два варіанти за кількістю внесення азотних добрив (NH₄NO₃) на двох фонах за кількістю діючої речовини на 1га, N60 і N120. Для визначення накопичення азоту в динаміці були взяті зразки листків і стебел до колосіння і колосу після колосіння. Зразків брали в 5 строків, починаючи з періоду виходу в трубку (ВВСН 30) й далі фазі 3-го вузла

(ВВСН 33-37), фазі колосіння (ВВСН 51-57), і починаючи з колосіння, у фази стиглості зерна: молочна стиглість (ВВСН 73-77) та воскова стиглість (ВВСН 83-87). Для визначення ефективності реутилізації азоту визначався відсоток зміни частки азоту сухої речовини від його вмісту у фазах від виходу в трубку до воскової стиглості.

Дослідження рекомбінантних ліній від схрещувань місцевих сортів з лініями – донарами. Закладався дослід за схемою традиційного селекційного процесу. Насіння рослин виділені при індивідуальному доборі, із гібридних популяцій F₂ за морфологічними характеристиками. Ці лінії слугували вихідним матеріалом для закладки ліній F₃, які були початковим об'єктом даних досліджень в селекційному розсаднику при ширині міжряддя 45 см, довжині рядка 2,5 м без повторень. Через кожні 20 ліній були розміщені сорт – стандарт Куяльник та батьківські компоненти. Наступний етап досліджень – попереднє сортовипробування (ширина міжряддя 30 см, довжина ділянки 6,8 м). Далі – сортовипробування (ширина міжряддя 15 см, довжина ділянки 6,8 м) з додаванням двох варіантів доз добрив N 60 й N 120. Під врожай 2023 року був закладений дослід конкурсного сортовипробування був з двома варіантами внесення добрив як і попереднього року. Спосіб посіву також був у двох варіантах: суцільний (ширина міжряддя 15 см), розріджений з міжряддям 30 см). Попереднє сортовипробування, сортовипробування та конкурсне сортовипробування проводилися в 3-кратній повторності.

Дані урожаю і результати досліджень з дослідів обробляли, використовуючи методи дисперсійного та статистичного аналізу [118, 119, 120] за допомогою комп'ютерною програмою Microsoft Excel.

Дисертація написана та оформлена згідно вимог ДАК України [121, 122].

РОЗДІЛ 3. СТАН СУЧАСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ЗА ВРОЖАЙНІСТЮ ТА БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ ЗЕРНА У СОРТІВ ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАКОРДОННИХ ОЗИМИХ М'ЯКИХ ПШЕНИЦЬ

Одним з основних показників, з яким пов'язана товарна цінність пшениці, її хлібопекарські й технологічні властивості, є масова частка білка у її зерна. У різних країнах світу до початку ХХ ст. численними дослідженнями було визначено провідну роль факторів, які зумовлюють накопичення білка в зерні пшениці [31]. Серед зовнішніх чинників названо клімат (температура, кількість опадів) і родючість ґрунту (вміст доступного азоту для рослини). Серед внутрішніх чинників пріоритет віддано генотипу, який контролює процеси росту та розвитку рослин пшениці, поглинання та засвоєння ними з довкілля хімічних елементів. Наступний етап активного дослідження якості зерна припадає на 60-80 роки ХХ ст. та пов'язаний з пошуком високобілкових генотипів у диких видів *Triticum* L. і *Aegilops* L. [19]. Найбільш вдало велася робота в цей час у США і Канаді, де вдалося збільшити кількість білка в зерні нових сортів на 0,5–3,0 % [21, 40]. Було доведено, що вміст білка в зерні має полігенний характер [123]. На сьогодні у всіх хромосомах пшениці знайдені головні та мінорні локуси, які впливають формування білка в зерні [43].

Було також виявлено велику кількість генетичних джерел, що стабільно відтворювали свої позитивні характеристики при вирощуванні в різних ґрунтово-кліматичних умовах [38-39].

Під час ідентифікації всі ці джерела були умовно об'єднані в окремий генофонд – високобілкова пшениця. У ній представлені дикі та ще недокультивовані види культурної пшениці, також дикорослі види егілопсів, оцінювальні донори геномів В, G і D, аллополіплоїдна пшениця. У 1970-х і 1980-х роках існували селекційні програми для створення високобілкової пшениці та селекційно-генетичні теоретичні дослідження внутрішньо-видових гібридів, отриманих за участю високобілкових джерел м'яких і

твердих пшениць. Було показано, що ознака «вміст загального білка в зерні» полігенна. На її прояв сильно впливають умови зовнішнього середовища, однак при гібридному розщепленні популяції ідентифікують форми, які відхиляються у бік батьківської лінії з високим вмістом білка. Підвищити бажані ознаки у нащадків цих форм можливо шляхом зворотних схрещувань [41,124].

В СГІ-НЦНС був проведений довгостроковий дослід з вивчення різних за роком створення сортів. Колекцію за хронологією склали сорти від «народної селекції» до найновіших на той час внесків наукових колективів. Багаторічна селекція була спрямована, головним чином, на підвищення зернової продуктивності і призвела до прискореної еволюції пшениці, яка проявилася у зміні практично всіх ознак і властивостей рослини [125]. Дослідний матеріал був поділений на 8 груп: до першої групи входили сорти, які вирощувалися на півдні України на початку 20-го сторіччя, і далі групи сортів нових етапів селекції (різниця між групами приблизно складала 10-15 років). Дослід був проведений з 1972 року на полях СГІ-НЦНС. Сорти вивчалися за багатьма показниками: врожайність, елементи структури врожаю, висота рослин, довжина вегетації та вміст білка у зерні.

У даному розділі роботи були досліджені колекційні сорти відділу селекції та насінництва пшениці СГІ-НЦНС, до яких належать найбільш поширені сорти в Україні. Враховуючи сильну кореляційну залежність між елементами продуктивності та параметрами якості зерна [126], дослідження проводилися як за врожайністю, елементами структури врожайності, так і за біохімічними показниками.

3.1 Урожайність зерна вітчизняних і закордонних сортів пшениці озимої залежно від фону живлення.

У процесі реформування державного сортовипробування і переходу від районування сортів до їхнього реєстрації, кількість сортів у державному реєстрі за останні тридцять років зросла від 60 (1992 р.) до 560 (2022 р.), тобто майже в 10 разів. При цьому зростає кількість сортів закордонної селекції, так сортів пшениці вітчизняної селекції в реєстрі 352 (63%), сортів закордонних селекції 208 (37%) (рис 3.1). У зв'язку з цим, важливо встановити, які зміни господарських та біологічних властивостей сортів відображаються при порівнянні вітчизняного і закордонного сортименту озимої м'якої пшениці на прикладі найбільш розповсюджених сортів в Україні. Досліджувані сорти були розділені на три групи за географічним походженням: I – сорти СГІ-НЦНС, II – сорти української селекції, III – сорти, створені в закордонних установах.



Рисунок 3.1 – Співвідношення сортів пшениці вітчизняної й закордонної селекції в державному реєстрі сортів України

У період 2020-22 рр. сорти з колекції відділу селекції та насінництва пшениці були проаналізовані за низкою показників: урожайність, структурні елементи рослини, вміст білка в зерні та ступінь озерненості. Врожайність озимої пшениці в основному формується чотирма основними структурними

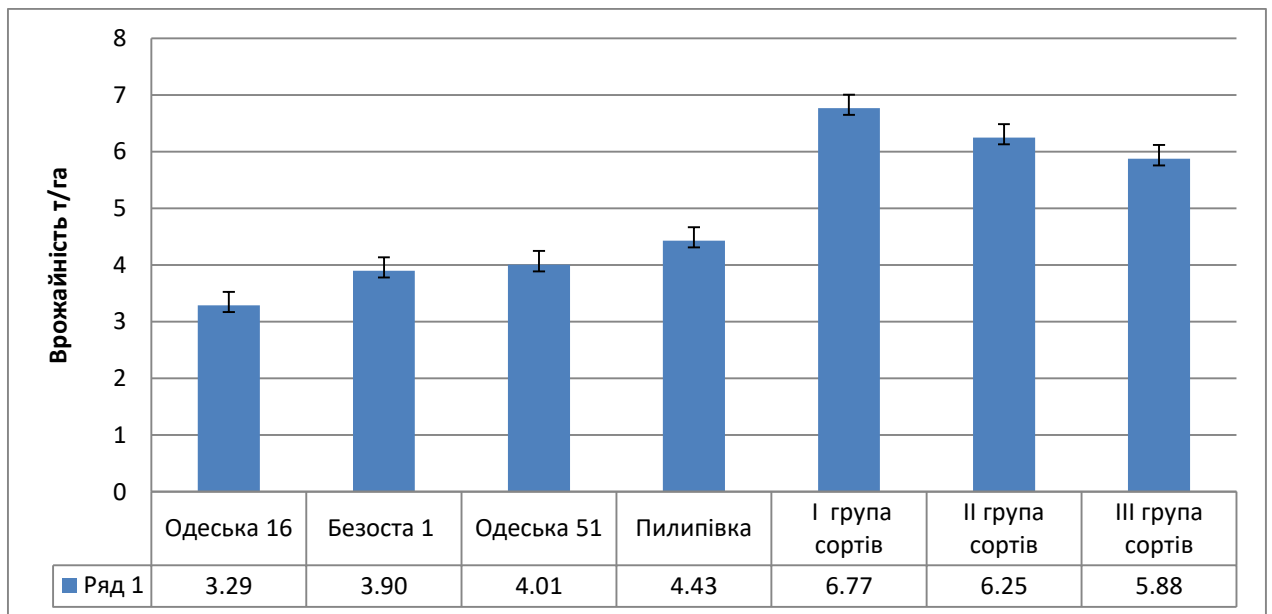
елементами: кількістю продуктивних рослин на одиниці площі, кількістю продуктивних колосків на рослині, кількістю зерен у колосі та масою 1000 зерен. Збільшення окремих елементів структури врожайності призводить до збільшення загального врожаю [126-127].

За результатами досліджень, перш за все, треба зазначити, що середня врожайність сортів-стандартів, незважаючи на відмінність погодних умов за роками, відрізнялася несуттєво: у 2021 р – $4,04 \pm 0,25$ т/га, у 2022 р – $3,77 \pm 0,18$ т/га, тобто різниця складала 0,27 т/га, відповідно 7,1 % (Додаток таблиця А 1.1). Встановлена закономірність: з кожним новим етапом селекції, включаючи сучасні сорти, відбувалося зростання врожайності. Також виявлено позитивну реакцію на збільшення норм внесення азотних добрив у вигляді відповідного збільшення врожайності та значну диференціацію по групах. Приріст врожайності між варіантами доз внесення добрив в обидва роки мав суттєву різницю. Зміни врожайності при збільшенні дози мінеральних азотних добрив варіювали від 0,35 т/га (8,9 %) у Безостої 1 до 0,79 т/га (16 %) у Пилипівки врожаю 2021 року. У 2022 році варіація приросту складала від 0,25 т/га (6,4 %) у Безостої 1 до 0,53 т/га (17,6 %).

Як видно, з кожним новим етапом селекції зростала врожайність, починаючи від стародавнього сорту екстенсивного типу Одеська 16 $3,29$ т/га до $4,43$ т/га у сучасного високорослого інтенсивного типу сорту Пилипівка, (збільшення врожаю складало 34,6%). Суттєвим зростанням врожайності було сучасних короткостеблових сортів різного походження.

За результатами оцінки врожайності сорти сучасної селекції поділили на групи за географічним походженням (рис.3.1), При цьому було показано, що найбільший рівень врожайності був у I-й групі, до якої входять сорти СГІ-НЦНС, з середнім за роками і варіантами внесення добрив показником $6,77 \pm 0,14$ т/га. Сорти з інших українських установ мали менший показник врожайності $6,25 \pm 0,18$ т/га (відповідно на 8,32 %), тоді як сорти III-ої групи мали середню за факторами впливу врожайність – на рівні $5,88 \pm 0,21$ т/га, що менше від сортів I-ої групи на 0,88 т/га (15,1 %).

З наведених даних можна зробити висновок, що сорти іноземної селекції значно поступаються місцевим сортам за продуктивністю, але це імовірно може бути наслідком їхньої недостатньої стійкості до абіотичних факторів впливу. Це також стосується і сортів української селекції, враховуючи те, що вегетаційний рік 2021/22 був дефіцитним на опади. Також треба зазначити, що умови вирощування значно поступалися за рівнем зволоження областям створення сортів з III-ї групи (центральна і західна Європа). Виявлено, що показники врожайності у сортів II-ї та III-ої груп були достовірно вищі, в порівнянні з показниками найбільш врожайного сорту напівекстенсивного типу Пилипівка (рис. 3.2).



Примітка - Врожайність $HP_{0,05}$ т/га: по фактору В - 0,26.

Рисунок.3.2 – Урожайність сучасних сортів різних груп за походженням у порівнянні з етапними сортами-стандартами (т/га) в середньому по роках і варіантом добрив.

Аналіз одержаних експериментальних даних свідчить про вплив факторів внесення добрив та умов року на врожайність (Додаток таблиця А 1.2). Так, по усіх групах у 2021 році спостерігалася позитивна реакція на внесення

добрив. У I-й групі приріст врожайності у варіанті добрив N 120, у порівнянні з N 60, склав у середньому по сортах 1,29 т/га (при $НІР_{0,05}$ 0,54 т/га), що відповідає 20,6 %.

Серед найбільш врожайних сортів першої групи: Щедрість – 8,67 т/га і Перемога – 8,60 т/га. Аналогічні дані отримані у II-й групі, де перевищення врожайності у варіанті N 120, порівнянно з N 60 склало 1,74 т/га (30,4 %) ($НІР_{0,05}$ по факторах ABC 0,54 т/га). Серед найбільш урожайних сортів можна виділити сорти Щедра нива – 7,48 т/га й Новосмуглянка – 7,53 т/га. Дещо менший приріст врожайності було встановлено в III-й групі сортів – 1,11 т/га (20,7 %) ($НІР_{0,05}$ по факторах ABC 0,54 т/га) в середньому по сортах. До найбільш врожайних можна віднести сорти Ленокс – 7,11 т/га і Магбол – 6,95 т/га.

Враховуючи оптимальні погодні умови року, можна стверджувати про значний приріст врожайності та повноцінний вплив доз азотних мінеральних добрив на цей показник.

В 2022 році спостерігався дефіцит вологості ґрунту та опадів, що своєю чергою негативно відобразилось як на загальній врожайності, так й на його прирості при збільшенні дози добрив (Додаток таблиця А 1.3).

Як і попереднього року, сорти I-ї групи мали найвищу врожайність. Серед сортів можна виділити сорт Довіра – 7,72 т/га й сорт Октава – 7,64 т/га. У II-й груп найбільш врожайними виявилися Генічанка та Кесарія – 6,99 т/га та Чорнява – 6,98 т/га. З іноземної селекції, III-ї групи, найбільш врожайними були Ортегус – 7,54 т/га й Єтана – 6,96 т/га. Порівнюючи приріст врожайності при збільшенні дози азотних мінеральних добрив у сучасних сортів і більш ранніх етапів селекції, нами було показано, що в оптимальний за вологістю 2021 рік сучасні сорти дали приріст врожайності від 20,6 до 30,4 % в середньому по групах, в той час, як сорти давніх етапів селекції – від 8,9 до 16 % в середньому по сортах. Кардинально інші результати були отримані в дефіцитний за вологістю 2022 рік. Так, серед сучасних сортів варіація збільшення врожайності межує від 6,4 до 17,6 %. Приблизно такі ж

результати були у давних сортів – від 6,8 до 14,8 %. Отже, можна зробити висновок, що в оптимальні за погодними умовами роки сучасні сорти значно перевищують інші за здатністю збільшувати врожайність при підвищенні дози добрив. Але сучасні сорти суттєво втрачають приріст врожайності в дефіцитні за опадами роки, тоді як сорти більш ранніх етапів селекції реагують на збільшення доз добрив без суттєвих змін.

Проведене дослідження найбільш поширених в Україні сортів за рівнем врожайності та порівняння їх з сортами-стандартами дозволило нам зробити аналіз сучасного стану селекції за цим показником (табл.3.1). Найвищу врожайність встановлено у сортів, створених у СГІ-НЦНС – з перевищенням сортів попередніх етапів селекції на 52,8 – 105,8 %. Значне перевищення продемонстрували сорти української селекції – на 41,1 – 90,0 %.

Суттєво менша врожайність і перевага над стандартами була характерна для закордонних сортів. Ймовірно, це пов'язано з їхньою слабкою адаптацією до місцевих умов, що обмежує реалізацію генетичного потенціалу продуктивності.

Преставляють інтерес результати досліджень зміни реакції сортів за врожайністю на внесення різних доз азотних добрив: N60 і N120. У досліджених сортів чітко видно, що кожен новий етап селекції супроводжувався не тільки збільшенням врожайності, а й підвищенням позитивної реакції на внесення азотних мінеральних добрив. Ця особливість характерна передусім для сучасних сортів пшениці.

Коефіцієнт кореляції між врожайністю сортів і реакцією на азот у досліді в середньому за два роки знаходиться на середньому рівні $r = 0,48 \pm 0,08$. Однак ефект від внесення азотного живлення значною мірою може залежить саме від азотного живлення.

Таблиця 3.1

Збільшення врожайності у сучасних сортів різних груп за походженням відносно ранніх сортів-стандартів

I – Сорти СГІ НЦНС; II – Сорти вітчизняних установ; III – Сорти закордонних установ;

Група сортів за місцем створення	Урожайність 2021-22р., т/га	Перевищення над сучасними сортами							
		Одеська 16		Безоста 1		Одеська 51		Пилипівка	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
I, n – 20	6,77±0,14	+3,48	105,8	+2,87	73,6	+2,76	68,8	+2,34	52,8
II, n – 15	6,25±0,18	+2,96	90,0	+2,35	60,2	+2,24	55,9	+1,82	41,1
III, n – 11	5,88±0,21	+2,59	78,7	+1,98	50,7	+1,76	39,7	+1,45	32,7
НІР _{0,05} т/га: по фактору В – 0,26									

«n» – кількість сортів.

У кожній групі сортів спостерігається певний розмах як за врожайністю, так і за реакцією сортів на збільшення азотного живлення. За врожайністю в середньому на двох варіантах доз добрив коефіцієнт варіації (V%) був значно вищий у посушливий 2022 рік, ніж в оптимальний за вологою 2021 рік – 11,3 % і 8,0 % відповідно. При цьому зростання доз азотного живлення зменшує варіацію у сортів при N 60 V % = 10,1 – 13,2 %, при N 120 = 5,9 – 9,6 %. Найбільший розмах варіації за врожайністю характерний для групи сортів закордонної селекції, особлива на низькому азотному фоні V = 10,5 – 17,8 %, що можливо пояснюється недостатньою адаптивністю до місцевих умов. Таким чином, з підвищенням генетичним потенціалом врожайності у сучасних сортів пшениці ефективність використання підвищених доз мінерального азоту зростає, але ця особливість модифікується адаптивними властивостями кожного сорту.

Дисперсійним аналізом доведена істотна різниця у впливі досліджуваних факторів на формування врожайності зерна (рис.3.3).

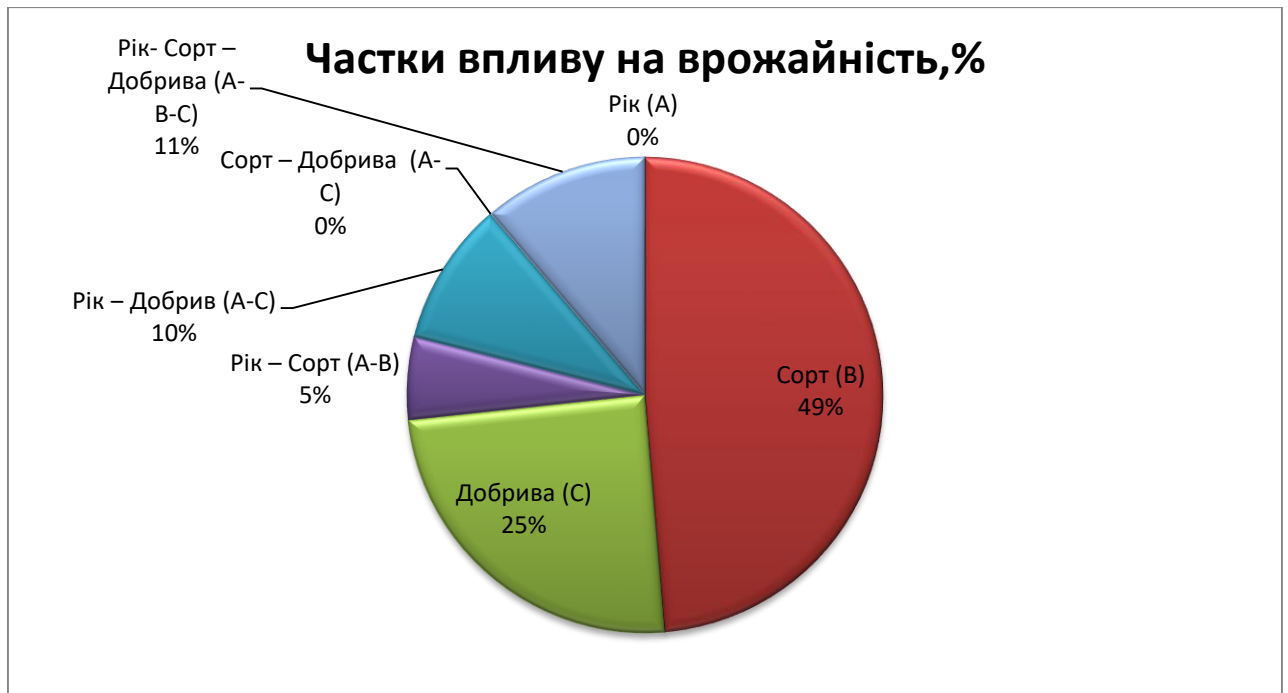


Рисунок 3.3 – Частки впливу досліджуваних факторів на врожайність пшениці озимої.

Встановлено, що найбільший вплив на формування врожайності був у фактора В сорту – 48,5 %, значно менше фактор С добрива – 24,6 %, взаємодія факторів А – В – С (року – сорту – добрив) – 11,2 %.

Отже, у цілому за наведеними даними можна стверджувати, що в селекції на підвищення врожайності досягнуто значного прогресу як в Україні, так і за кордоном. Врожайність у сучасних сортів із різних груп за місцем створення перевищувала врожайність сортів ранніх етапів в 1,32 – 2,25 рази. Для того, щоб знайти відповідь на питання, яким шляхом саме відбувся такий значний приріст врожайності, був проведений аналіз структури врожайності сортів колекції відділу селекції та насінництва пшениці СГІ- НЦНС.

3.2 Структура врожаю сортів української і закордонної селекції пшениці озимої залежно від фону походження та живлення.

Кількісні характеристики формують елементи структури прибутку. Існує взаємозв'язок між капіталізованою вартістю прибутку та елементами структури прибутку [128]. Кожен з елементів прибутку має різний вплив на величину прибутку. Ігнорування цих взаємозв'язків може призвести до значних втрат і зниження рентабельності [129-130]. Цілеспрямований розвиток окремих елементів структури рослин сприяє створенню високопродуктивних посівів. Важливо враховувати синхронний розвиток стебел, качанів та всіх інших структурних елементів. Чим вища фактична продуктивність, тим більш синхронними та інтенсивними є ростові процеси на кожному етапі органогенезу [131].

На основі наведених вище даних ми проаналізували елементи структури рослин, щоб з'ясувати, яким чином відбуваються такі кількісні зміни в структурі. Згідно з літературними даними, на врожайність озимої пшениці суттєво впливає лежкість сортів та їх придатність до механізованого збирання. В результаті селекційних зусиль у багатьох країнах висота рослин пшениці зменшувалася приблизно на 15 см кожні 30 років по мірі зростання рівня сільського господарства. Це явище мало велике значення для вирішення глобальної проблеми збільшення виробництва продуктів харчування і тому отримало назву "Зелена революція" [132]. У зв'язку з цим у своїх дослідках ми порівнювали досліджувані характеристики сортів за цим показником.

При збільшенні дози азотного живлення збільшується і висота рослин. Найсуттєвіші зміни за висотою рослин зазнали сучасні сорти в порівнянні з сортами ранніх етапів селекції (Додаток таблиця А 2.1). Так, у варіанті N 60 серед сортів ранніх етапів селекції найвищою висота рослин була у Одеської 16 (в середньому по роках, 112,8 см), найнижчою – у Пилипівки (98 см). Сорти I-ї групи у варіанті N 60 мали висоту рослин в середньому по роках –

87 см, II-ї групи – 86,3 см, III-ї групи – 79,2 см. У варіанті N 120 в середньому по роках висота рослин сорту Одеська 16 була 117,8 см, у Пилипівки – 102,4 см, у сортів I-ї групи – 91,2 см, II-ї – 90,9 см, III-ї – 84 см. Отже, ми спостерігали значне зменшення висоти рослин у сучасних сортів в середньому по групах в порівнянні з сортами ранніх етапів селекції. Для варіанту N 60 у сортів II-ї групи це зменшення висоти рослин – на 20,8 см (19,2%), III-ї групи – 21,5 см (19,9%), IV-ї групи – 28,6 см (26,5%). Для варіанту N 120 цей показник складав для II-ї групи сортів – 21,6 см (19,1%), III-ї групи – 21,9 см (19,4%), IV-ї групи – 28,8 см (25,5%). Якщо порівнювати сучасні сорти між ними, то висота рослин в середньому у сортів I-ї і II-ї груп була на одному рівні, а у сортів III-ї групи – достовірно нижча, в середньому на 7 см (8,1 %). Звісно, у кожній групі сортів є певний розмах мінливості генів короткостебловості та експресії цих генів у конкретних умовах. Відомо, що зниження генетично детермінованої висоти рослини відіграє значну роль у збільшенні врожаю у сучасних сортів [133]. Однак у наших дослідженнях між висотою рослин та урожайністю була виявлена невисока негативна кореляційна залежність.

За літературними даними, короткостебловість значно впливає на урожайність завдяки підвищенню стійкості рослин до вилягання і зміни у співвідношенні маси стебла і колоса [133].

Абсолютні показники приросту надземної маси є зовнішніми індикаторами внутрішніх процесів у рослинному організмі. Інтенсивність накопичення біомаси рослин сильно залежить від рівня мінерального живлення [134]. Для визначення розподілу загальної біомаси між генеративними та вегетативними органами ми вимірювали масу всієї надземної частини рослин на 1 м², а також масу стебел і зерен усіх рослин на 1 м² окремо.

Для визначення частки врожаю зерна в загальній масі, тобто для визначення "К-господарське" рослини, ми розраховували відсоток маси зерна, отриманого з 1 м² по відношенню до загальної маси надземної

частини на 1 м². Частка маси зерна в загальній надземній біомасі також має тенденцію до збільшення у сортів сучасної селекції [135]. Аналіз даних показав, що залежно від року та рівня внесення азотних добрив на окремих етапах селекції відбувалося збільшення "К-господарське" від 32-40 % до 42-45 % у високорослих сортів селекції СГІ-НЦНС, на 39-44 % у сортів вітчизняних установ та на 46-48 % у сортів зарубіжної селекції. Між значеннями "К-господарське" та врожайністю сортів спостерігається досить висока кореляція залежно від умов року, азотного живлення та групи сортів: від мінімального значення $r = 0,54 \pm 0,14$ до максимального значення $r = 0,73 \pm 0,24$.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що у сучасних сортів, у порівнянні з високорослими сортами ранніх етапів селекції, масова частка зерна зросла значніше, ніж маса стебла. Найбільшу величину зернової частки у відношенні до маси стебел мають сорти закордонного походження. Також за допомогою кореляційного аналізу було виявлено певний негативний кореляційний зв'язок між часткою зерна та висотою рослин $r = - 0,49 \pm 0,5$. Ймовірно, надалі у збільшенні «К господарського» існує певний резерв подальшого зростання і продуктивності нових сортів. Але цей напрямок удосконалення сортів потребує детальної конкретизації для певних умов вирощування.

За літературними даними, одним із головних елементів для формування врожайності є густина продуктивного стеблостою та маса зерен з одного колоса [136]. Нами були досліджені всі групи сортів на площі 1 м² (табл. 3.2). За результатом дисперсійного аналізу було встановлено, що на формування густоти стеблостою найбільше впливає фактор рік-сорт (32,0 %), на другому місці – комплекс факторів рік-сорт-добрива (26,3 %) та фактор сорту (13,7 %). Аналіз структури врожаю також показав, що збільшення дози азотних добрив призводило до поступового і закономірного зростання густоти продуктивного стеблостою, але загальна кількість стебел на 1 м² змінювалася по-різному і залежала передусім від сортових особливостей та

реакції конкретного генотипу на фон живлення й умови вирощування. Отже, порівнюючи сорти й групи сортів різного походження, були отримані диференційовані результати. Так, у варіанті N60 середня густина стеблостою по роках для сортів ранніх етапів селекції складала $477 \pm 7,2$ шт/м², для сортів I-ї групи цей показник склав $483 \pm 8,3$ шт/м², для сортів II-ї групи – $445 \pm 7,4$ шт/м², для сортів III-ї групи – $444 \pm 7,9$ шт/м². Найвища густина серед сучасних сортів спостерігалася в I-й групі, тоді як в інших групах вона була на одному рівні. Перевищення сортів ранніх етапів за цим показником над сортами II-ї та III-ї груп склало 33 шт/м² (6,9 %) (При $HP_{0,05}$ по фактора ABC 26,8). У варіанті N 120 кількість продуктивних стебел в середньому по роках збільшилася: для сортів ранніх етапів цей показник склав $581 \pm 9,2$ шт/м², тоді як у сортів I-ї групи – $591 \pm 8,9$ шт/м², у сортів II-ї групи – $549 \pm 6,4$ шт/м², у сортів III-ї групи – $527 \pm 10,1$ шт/м². При збільшенні норм добрив найвищий густіший стеблистий мали сорти II-ї групи, але на відміну від варіанту N 60, між групами спостерігалася значна диференціація. Як видно, сорти більш ранніх етапів селекції в обох варіантах удобнення були на одному рівні або переважали за кількістю продуктивного стеблостою сорти II-ї та III-ї груп. Так, густина стеблостою у сортів I-ї групи була вища, ніж у сортів-стандартів на 10 шт/м² (1,7 %), що менше, ніж $HP_{0,05}$ 26,8 шт., в той час, як у сортів із II-ї та III-ї груп знижувалася на 32 шт/м² (5,8 %) та 54 шт/м² (10,2 %) відповідно.

Встановлено, що при збільшенні доз добрив спостерігалася значна диференціація по густоті стеблостою. Видно, що збільшення доз мінеральних добрив призводило до закономірного зростання питомої ваги продуктивних стебел у всіх групах сортів. Тільки сорти з I-ї групи перевищували за показником густоти стеблостою сорти ранніх етапів селекції на 1,2 % у варіанті N 60 та на 1,7 % у варіанті N 120, тоді як сорти II-ї та III-ї груп поступалися їм за густиною стеблостою у двох варіантах доз добрив у середньому по роках.

Відповідно до попередніх досліджень і результатів, які були отримані в цій роботі, більш значний вплив на формування врожайності має ознака

маса зерна з одного колоса [137]. Ця ознака має суттєвий кореляційний зв'язок з врожайністю у групах в цьому досліді ($r = 0,73 \pm 0,7$) з розмахом в залежності від фактора дослідження, доз азотних добрив та груп сортів за місцем походження ($r = 0,58 - 0,86$).

Таблиця 3.2

Фактор	Частка впливу			
	Густота стебла-стою, %	Маса зерна з 1м ² , %	Маса зерна зі одного стебла, %	Маса 1000 зерн, %
Рік (А)	2,5	2,8	-	20,1
Сорт (В)	13,7	50,3	58,1	17,0
Добрива (С)	7,0	21,5	-	12,4
Рік – Сорт (А-В)	32,0	8,1	13,2	15,1
Рік – Добрив (А-С)	9,5	4,5	20,4	1,7
Сорт – Добрива (А-С)	8,7	0,6	-	-
Рік- Сорт – Добрива (А-В-С)	26,3	11,8	8,1	33,5
Інші фактори	0,3	0,4	0,2	0,2

Частка впливу факторів на формування елементів структури врожаю

«-» Фактор не має суттєвого впливу

За результатами дисперсійного аналізу, найбільший вплив на масу зерна з одного колоса має фактор сорту – 58,1 %, далі взаємодія факторів рік-добрива – 20,4 % та рік-сорт – 13,2 %. Ознака маса зерен з колоса включає сумарний ефект на урожайність маси зерна – маси 1000 зерен і кількість зерен з колоса. Аналіз характеристик сорту за цією ознакою в різних варіантах досліді та в контрастних за погодними умовами роках, переконливо свідчать щодо значного прогресу селекції на підвищення врожайності внаслідок продуктивності колоса.

Так, сорти ранніх етапів селекції мали врожайність зерен з колоса в межах 0,77 – 0,95 грама, що значно менше від показників сучасних сортів. У сортів селекції СГІ-НЦНС показник продуктивності колоса був на рівні 1,33-1,64 грама. Трохи менший він був у сортів вітчизняної селекції в залежності

від року і доз добрив (у межах 1,31-1,60 грами). У сортів закордонної селекції цей показник складав 1,25-1,44 грама. Порівнюючи ці показники з сортами ранніх етапів селекції, можна зробити висновок, що їх маса поступається на 76 – 94 %.

Щодо показника маси 1000 зерен, то згідно літературних джерел, він визначається не тільки як елемент продуктивності, а і як показник адаптивних можливостей сорту за визначених якості зерна та норми висіву [136]. За результатами дисперсійного аналізу експериментальних даних, на масу 1000 зерен найбільший вплив мали комплекс факторів рік-сорт-добрива – 33,5 %, трохи менше фактор року – 20,1 % та фактор сорту – 17,0 %. Ці показники свідчать про відносну стійкість ознаки. Наприклад, коефіцієнт варіації, який змінювався в межах 2,2 – 6,6 % (Додаток таблиця А 3.1). Аналізуючи конкретний показник масу 1000 зерен у сортів різних етапів селекції та групах за походженням, можна зробити наступні висновки. Серед сортів СГІ- НЦНС майже кожен четвертий сорт (24,8%) має масу 1000 зерен понад 40 грамів. Сорти наукових установ України мають (близько 12,3 % сортів) з такою ж масою 1000 зерен більше – 40 грамів. Серед сортів іноземної селекції таких сортів не виявлено. Серед сортів ранніх етапів селекції крупнозерних сортів не спостерігається.

У сортів-стандартів середня маса 1000 зерен (МТЗ) на низькому агрофоні була на рівні 37,9 г, тоді як при збільшенні доз добрив у середньому по роках маса 1000 зерен склала 39,7 г. Порівнюючи показники цих сортів з сортами СГІ- НЦНС, які мали масу зерна у варіантах N 60 і N 120 38,4 г. і 39,7 г. відповідно, суттєвої різниці не виявлено. Аналогічна ситуація спостерігалася у сортів II-ї групи – 38,1 та 39,5 г в середньому по роках відповідно у варіантах N 60 і N 120. Сорти закордонних установ мали меншу масу 1000 зерен (37,4 й 38,4 г відповідно до варіантів N 60 і N 120). Таким чином, про досягнення в селекції на підвищення маси 1000 зерен можна говорити тільки стосовно оремих сортів СГІ-НЦНС. Проте не можна стверджувати про перспективність селекції на крупнозерність зерна для

підвищення врожайності, адже між цими показниками кореляційний зв'язок був на статистично недостовірному рівні $r = -0,18 - 0,28$.

3.3 Вміст загального білка та інших біохімічних показників якості зерна.

Степова зона завжди славилася високоякісним зерном пшениці, оскільки умови для формування високоякісного зерна в цій зоні є сприятливими. На жаль, в останні роки якість зерна пшениці не відповідає вимогам харчової промисловості, не кажучи вже про вимоги світового ринку.

Результати наукових досліджень і практика сільськогосподарського виробництва свідчать, що вміст білка в зерні озимої пшениці в південних регіонах України за останні 80-90 років знизився з 17-18% до 10-12%, а за несприятливих погодних умов вміст білка в зерні може знижуватися навіть до 8,0-9,5% [138]. Тому підвищення якості зерна пшениці є одним з найактуальніших питань в Україні на сьогоднішній день. Україна відіграє важливу роль на світовому ринку зерна: її частка в експорті пшениці в середньому становить 5%, при цьому частка України в експорті пшениці до ЄС досягає 32% [139]. Це значною мірою пов'язано з нестачею добрив та недосконалими агрономічними практиками у поєднанні з впровадженням інтенсивних технологій вирощування та використанням сортів нового покоління, які дають високі врожаї.

Якість зерна пшениці визначається зовнішніми умовами вирощування та біологічними особливостями сортів. Її визначають за такими основними показниками: Натура зерна (г/л), вміст білка (%), ступінь седиментації (мл) і вихід хліба з 100 г борошна (см³). Хлібопекарські властивості борошна визначаються еластичністю і розтяжністю тіста, а також фізико-хімічними властивостями тіста, які визначають еластичність борошна.

Вміст білка і ступінь седиментації (швидкий метод визначення хлібопекарських властивостей) були і залишаються найважливішими характеристиками, що обмежують виробництво високоякісного зерна. Ці показники тісно пов'язані між собою і мають високий коефіцієнт кореляції ($r=0,75$) [140]. Якість зерна, особливо вміст білка, сильно варіює як під впливом умов вирощування, так і залежно від спадкових (сортових) особливостей [141].

У даному розділі представлені результати дослідження за показниками якості, головним чином вмістом білка та рівнем седиментації в зерні у найбільш розповсюджених сортів в Україні як вітчизняної, так і закордонної селекції в порівнянні з сортами ранніх етапів селекції. Метою даної роботи було з'ясування сучасного стану селекції за показниками якості зерна пшениці, щоб мати розуміння, які проблеми та потреби в поліпшенні біохімічних показників треба вирішувати.

Результати лабораторних досліджень дозволили виявити перевагу всіх сортів ранніх етапів селекції (табл. 3.3) за білковістю зерна в порівнянні з сучасними сортами вітчизняної та закордонної селекції (Додаток А таблиця 4.1). Також встановлена позитивна реакція за білковістю зерна при збільшенні доз азотних добрив кожного року, хоча погодні умови в дослідні роки були досить контрастними.

Наші дослідження показали, значні зміни білковості у серед сортів ранніх етапів селекції. Так, у варіанті внесення добрив N 60 найбільший рівень білковості був у сорту Одеська 16 – 12,0%, найменший – у Пилипівки – 10,5 %. Тобто, найбільша різниця складала 1,5 % ($HP_{0,05}$, %: по факторах АВ – 0,6). У варіанті N 120, у сортів описаних вище, ця різниця складала 1,7 % ($HP_{0,05}$, %: по факторах АВ – 0,6). Також суттєва варіація спостерігалась серед груп сучасних сортів. За результатами визначення коефіцієнта варіації (CV) трирічні дані за вмістом білка межують від 4,2 до 10,7 %, що свідчить про однорідний стан сортів у кожній з груп. Аналізуючи результати визначення показників якості сучасних сортів різних груп за місцем

створення, зауважемо, що всі сорти цих груп відносяться до короткостеблового напівкарликового типу з висотою рослин 72 – 96 см в залежності від наявності експресії генів короткостебловості в конкретних умовах [142]. Водночас проявляється закономірність підвищення генетичного потенціалу врожайності та позитивна реакція на збільшення азотних добрив. Щодо показників якості зерна, то в наших експериментах сучасні сорти підтвержували загальну закономірність – при зростанні генетично детермінованої врожайності знижувався вміст білка в зерні.

Таблиця 3.3

Сорти (Фактор В)	Доза азотних добрив, N, кг/г (Фактор С)	Вміст білка, %				Седиментація, мл			
		Фактор А			Сред. знач. \bar{X}	Фактор А			Сред. знач. \bar{X}
		2020 р.	2021 р.	2022 р.		2020 р.	2021 р.	2022 р.	
Одеська 16	60	11,1 $\pm 0,1$	12,5 $\pm 0,2$	12,4 $\pm 0,2$	12,0	50 $\pm 1,2$	70 $\pm 1,3$	57 $\pm 2,2$	59
	120	12,5 $\pm 0,2$	13,3 $\pm 0,1$	14,1 $\pm 0,3$	13,3	66 $\pm 2,2$	75 $\pm 1,2$	68 $\pm 2,1$	70
Безоста 1	60	10,8 $\pm 0,2$	12,4 $\pm 0,2$	12,2 $\pm 0,1$	11,8	43 $\pm 2,4$	64 $\pm 2,0$	53 $\pm 1,2$	53
	120	11,9 $\pm 0,3$	13,4 $\pm 0,3$	13,7 $\pm 0,3$	13,0	61 $\pm 1,4$	74 $\pm 2,2$	63 $\pm 0,9$	66
Одеська 51	60	10,6 $\pm 0,2$	11,0 $\pm 0,2$	12,1 $\pm 0,4$	11,2	42 $\pm 1,6$	57 $\pm 1,2$	52 $\pm 2,1$	50
	120	11,5 $\pm 0,1$	12,3 $\pm 0,1$	12,9 $\pm 0,2$	12,2	57 $\pm 1,5$	71 $\pm 1,5$	62 $\pm 1,2$	63
Пилипівка	60	9,4 $\pm 0,2$	10,3 $\pm 0,3$	11,8 $\pm 0,2$	10,5	39 $\pm 2,4$	55 $\pm 1,4$	49 $\pm 1,7$	48
	120	10,1 $\pm 0,2$	11,7 $\pm 0,3$	13,0 $\pm 0,1$	11,6	54 $\pm 2,1$	69 $\pm 1,1$	58 $\pm 1,6$	60
Вміст білка $HP_{0,05}$, %: по факторах АВС – 0,8 Седиментація $HP_{0,05}$ мл: по факторах АВС – 5,54									

Вміст білка у зерні та рівень седиментації у сортів минулих етапів
селекції пшениці м'якої озимої

Порівнюючи вміст білка в зерні сортів по групах, встановили, що в середньому по сортах не існує суттєвої різниці між групами. У варіанті N 60 I-ша група мала білковість зерна на рівні 10,0 %, II-га й III-я групи – 10,3 і 9,9 % відповідно (при $HP_{0,05}$ для фактора B – 0,4 % різниця не є суттєвою). Аналогічна ситуація спостерігалася у варіанті доз добрив N 120 – від I-ї до III-ї групи білковість зерна була на рівні 11,2, 11,0 та 10,9 % відповідно до груп. Як видно, різниця на високому агрофоні теж несуттєва.

Значні зміни в білковості зерна спостерігалися за роками досліджень. Так, найбільший вміст білка був в оптимальний за кліматичними умовами 2021 рік. Дещо гірша ситуація спостерігалася 2022 року, який супроводжувався значним дефіцитом вологи. Найменша білковість була встановлена у 2020 році у всіх варіантах внесення доз добрив. Також різниця помітна за змінами білковості при збільшенні доз добрив. Так, в оптимальний за опадами 2021 рік приріст білка в зерні при збільшенні доз добрив для I-ї групи склав 21,7 %, для II-ї та III-ї груп – 10,0% та 10,6 % відповідно. В посушливий 2020 рік ці показники склали 2,0%, 5,0% та 6,6 % для I-ї, II-ї та III-ї груп сортів відповідно. Цікаві результати були отримані для I-ї групи у контрастні за зволоженням роками. Так, в оптимальний рік різниця за вмістом білка у зерні зерна була найбільшою, тоді як в посушливий рік найменшою. У 2021 році результати реакції за вмістом білка у зерні на збільшення дози добрив склали для I-ї групи для I-ї групи 9,7 %, для II-ї – 6,9 % та для III-ї – 8,5 %. Отже, з отриманих результатів можна зробити висновок, що несприятливі погодні умови (дефіцит вологи) сприяли зменшенню не тільки загальної білковості зерна, але й зменшенню або взагалі відсутності позитивної реакції на збільшення дози добрив. Таким був 2020 рік, коли середній вміст білка зерна сортів з I-ї групи у варіанті N 60 був 9,7 % та 9,9 % у варіанті N 120 (при $HP_{0,05}$ по фактору C 0,08 %).

На основі отриманих результатів можна провести порівняння сучасних сортів і сортів ранніх етапів селекції (Додаток А таблиця 5.1). Як видно з таблиці, середній вміст білка у зерні сортів із різних груп, поділених за

походженням, поступався цьому показнику у сортів ранніх етапів селекції при всіх варіантах досліду. Так, найбільша різниця спостерігалася у сорту Одеська 16, який переважав за білковістю зерна сучасні сорти у варіанті N 60 на 19,2 %, у варіанті N 120 на 20,5 %. Значно менша різниця була в порівнянні з інтенсивним сортом високорослого типу Пилипівка, перевага сорту над групами склала у варіанті N 60 4,3 %, у варіанті N 120 – 5,1 %. Якщо проводити аналіз по групах, то I-а поступалася сортам-стандартам у варіанті N 60 на 13,7 %, у варіанті N120 на 12,4 %. Різниця білковості зерна для II-ї групи склала 10,4 % та 13,8 % відповідно до варіантів N 60 та N 120. У сортів III-ї групи різниця за вмістом білка склала 14,8 % в обох варіантах.

Проте у кожній групі сортів при однакових умовах вирощування (рік, добрива) виділялися деякі сорти, які за показниками вмісту білка в зерні та рівня седиментації перевищували середні показники сортів минулих етапів селекції. Такі окремі сорти підтвердили свою перевагу у декількох варіантах експерименту: серед сортів СГІ-НЦНС – це Альбатрос, Годувальниця, Мудрість одеська; серед вітчизняних сортів – це Валенсія, Аналог; із закордонних сортів можна виділити Трокілд, Фаустус, Магбол. Але ці сорти не можна впевнено віднести до високобілкових або врожайних, тому що окрім фактора впливу генотипу, велике значення мають і фактори року, і та доза мінерального живлення (рис. 3.4).

Хоча вплив фактора року є найбільш визначальним на вміст білка, але й вплив інших факторів (рік, добрива) та взаємодія між цими, знижують вірогідність ідентифікації сортів з генетично детермінованими показниками. Так, у посушливі роки (2020 і 2022) диференціація сортів за всіма показниками за позитивною реакцією на збільшення доз азотго живлення різко знижувалася, а в деяких випадках взагалі змінювалася на негативну реакцію. Найкраще сортові відмінності проявлялися як за абсолютними показниками, так і за реакцією на азотний фон у 2021 році, коли погодні умови були сприятливі для росту і розвитку рослин.

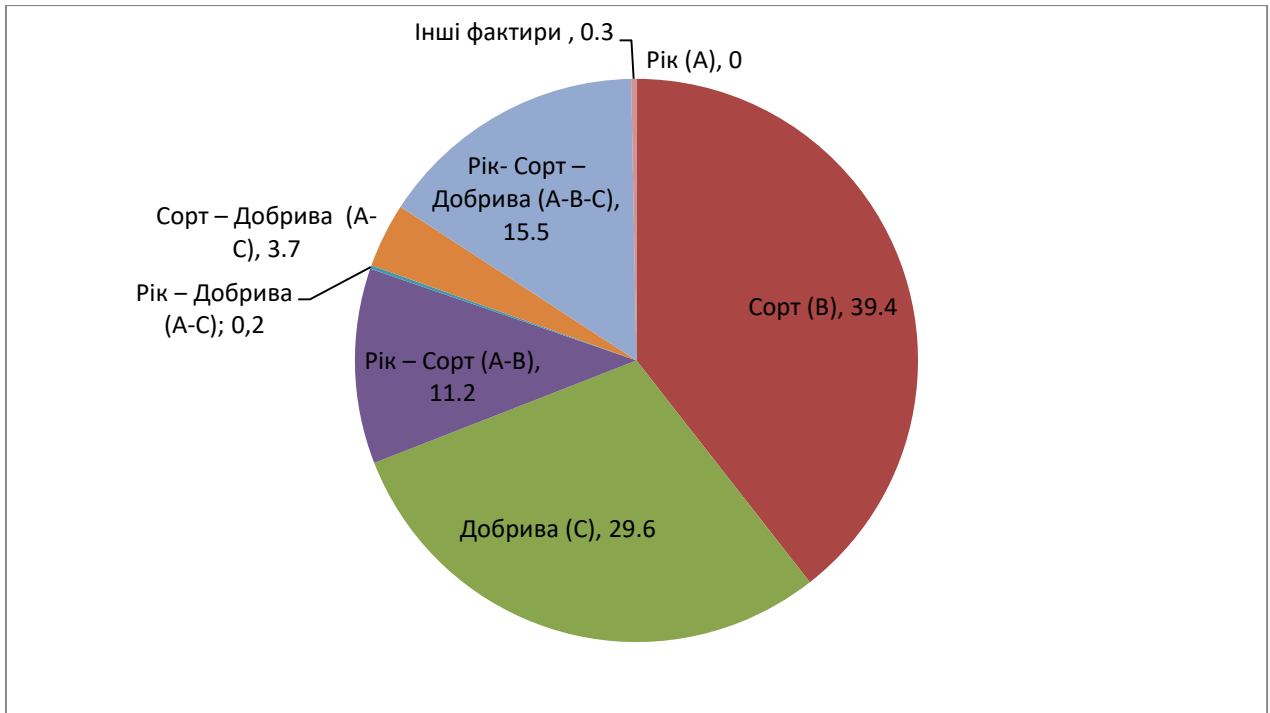


Рисунок 3.4 – Частка впливу досліджуваних факторів на вміст білка зерна пшениці озимої.

У літературі ступінь седиментації використовується як експрес-метод визначення якості зерна, який показує високу кореляцію з якістю клейковини та хлібопекарськими властивостями [85]. Найважливішим шляхом підвищення якості зерна є селекція, створення сортів і форм пшениці з оптимальним, генетично обумовленим співвідношенням компонентів борошна і, перш за все, поліпептидів і волокнистих фракцій білка. Другий шлях - це агротехніка, яка є не менш важливою і необхідною. Для того, щоб використати генетичний потенціал сорту для хлібопекарської та макаронної якості, необхідні, зокрема, такі умови для формування врожайності зерна: Температура, водний баланс та мінеральне, особливо азотне, живлення рослин [143].

В дослідженнях з вивчення рівня седиментації були встановлені особливості змін цього показника у високорослих сортів ранніх етапів селекції у посушливі 2020 і 2022 роки, в залежності від року вивчення (табл. 3.3). У посушливі роки середній рівень седиментації дорівнював у варіанті N

60 – 43,5 мл, у варіанті N 120 – 59,5 мл, зростання цього показника дорівнювало 16 мл. (36,7 %). У 2021 році середній рівень седиментації у досліджених сортів був 61,5 мл. у варіанті N 60 та 72,2 мл. у варіанті добрив N 120, приріст склав 10,7 мл. (17,3 %). Показники рівня седиментації склали в середньому по сортах у варіанті N 60 52,7 мл. та у варіанті N 120 62,7 мл. Тож реакцією на збільшення доз живлення був приріст седиментації на 10 мл., що відповідає 18,9 %. Отже, з отриманих даних можна зробити висновок, що в оптимальних погодних умовах зменшується диференціація за зміною показника седиментації між варіантами внесення дози добрив,, тоді як за посушливих умов кількісна і відсоткова різниця збільшується.

За результатами досліджень рівня седиментації у сучасних сортів різних груп походження були виявлені схожі закономірності по роках досліджень (Додаток таблиця А 6.1). Найвищий рівень в середньому по усіх сортах спостерігався в 2021 році з показником 50 мл. у варіанті N 60 та 59 мл. у варіанті N 120. Аналогічні показники за 2020 дорівнювали 40,6 мл. і 43,4 мл. та 45,3 і 56,3 мл. відповідно до агрофонів N 60 й N 120. Для сортів I-ї групи різниця між варіантами у 2020 році склала 2,7 мл., що відповідає 6,6 %, у 2021 році ця різниця склала 9 мл. (18 %), у 2022 році ці показники мали різницю 11 мл. (24,2 %). Зміни в рівні седиментації були такими ж, як у сортів ранніх етапів селекції, але реакція на дози добрив була іншою. В посушливі роки зміни рівня седиментації були мінімальними, тоді як максимальні зміни спостерігалися в більш оптимальні за погодними умовами роки. Це може зумовлюватися тим, що сорти-стандарти більш адаптовані до абіотичних факторів та мають більш стабільний показник, але в оптимальний рік рівень седиментації досягає генетичного потенціалу, тому зменшується диференціація сортів за цим показником. Сорти ж сучасної селекції в більшості не пристосовані до значної посухи, яка була відмічена у 2020 році, тому не змогли повністю реалізувати свого потенціалу.

Порівнюючи результати досліджень рівня седиментації у сортів сучасної та ранньої селекції, ми встановили перевагу сортів ранніх етапів

селекції за цим показником майже в усіх випадках (табл. 3.4). Виключенням був рівень седиментації у сортів I-ї групи у варіанті удобрення N60 в порівнянні з сортом Пилипівка. Внаслідок вирахування відсотка різниці між сортами сучасної та ранньої селекції були отримані наступні результати. Перевищення ранніх сортів над I-ю групою за рівнем седиментації склало 7,1 та 13,3 % відповідно до варіантів N 60 й N 120. Для II-ї групи різниця склала 17,9 та 21,2 %, в порівнянні з сортами III-ї групи цей показник був 24% та 34,8 % ($HP_{0,05}$, мл: по факторах ABC – 5,5) відповідно до варіантів N 60 та N 120.

Таблиця 3.4

Зміни в рівні седиментації у сучасних сортів різних груп за походженням стосовно ранніх сортів-стандартів.

Групи сортів за місцем створення	Варіант доз добрив, N	Середній рівень седиментації 2020 – 22рр, мл	Різниця седиментації сортів ранніх етапів селекції, мл.							
			Одеська 16		Безоста 1		Одеська 51		Пилипівка	
			мл*	%**	мл*	%**	мл*	%**	мл*	%**
I – сорти селекції СГІ -НЦНС	60	49	+10,0	20,4	+4,0	8,1	+1,0	2,0	-1,0	2
	120	57,3	+12,7	22,1	+8,3	16,9	+5,7	9,9	+2,7	4,7
II – сорти української селекції	60	44,7	+14,3	33,1	+8,3	18,5	+5,3	11,8	+3,3	7,3
	120	53,3	+16,7	31,3	+12,7	23,0	+9,7	18,1	+6,7	12,5
III – сорти закордонно і селекції	60	42,3	+16,7	39,4	+10,7	25,2	+7,7	18,2	+5,7	13,4
	120	48	+22,0	45,8	+18	37,5	+15,0	31,2	+12	25
$HP_{0,05}$, мл: по факторах ABC – 5,5										

«*» – кількісна різниця; «**» – різниця у відносних величинах (%)

Таким чином, з отриманих даних можна зробити висновок, що деякі сучасні сорти мають однаковий середній рівень седиментації з сортами-стандартами, але в більшості випадків значно поступаються їм за цим показником. Виявлено, що різниця у відсотках між дослідженими групами сортів за рівнем седиментації була більш значною, ніж різниця за вмістом

білка у зерні, але загальна тенденція була аналогічною і за рівнем білковості зерна. Про це свідчать високі рівні кореляції між цими показниками в наших дослідженнях по різних групах сортів (табл. 3.5).

В результаті проведення дисперсійного аналізу було встановлено частки впливу факторів на формування на рівень седиментації. Показано, що найбільший фактор впливу – це добрива (С) 42,7 %, далі сорт (В) – 22,5 % та взаємодія факторів рік-сорт-добрива (АВС) – 16,9 % (рис. 3.5).

Таблиця 3.5

Кореляційні зв'язки між врожайністю та вмістом білка у зерні і рівнем седиментації у різних сортів пшениці озимої

Групи сортів	Рік	Білок – врожайність		Седиментація – врожайність		Білок – седиментація	
		N 60	N 120	N 60	N 120	N 60	N 120
*	2021	-0,80	- 0,93	- 0,84	-0,74	0,91	0,98
	2022	-0,99	-0,84	-0,94	-0,95	0,97	0,86
I	2021	-0,42	-0,72	-0,45	-0,74	0,83	0,88
	2022	-0,82	-0,63	-0,74	-0,65	0,83	0,85
II	2021	-0,47	-0,53	-0,23	-0,68	0,95	0,86
	2022	-0,81	-0,72	-0,71	-0,53	0,80	0,77
III	2021	-0,67	-0,81	-0,61	-0,82	0,85	0,86
	2022	-0,84	-0,75	-0,77	-0,70	0,91	0,85
Всі групи	2021	-0,57	-0,76	-0,53	-0,74	0,88	0,89
	2022	-0,86	-0,73	-0,74	-0,70	0,85	0,83

* - Сорти ранніх етапів селекції

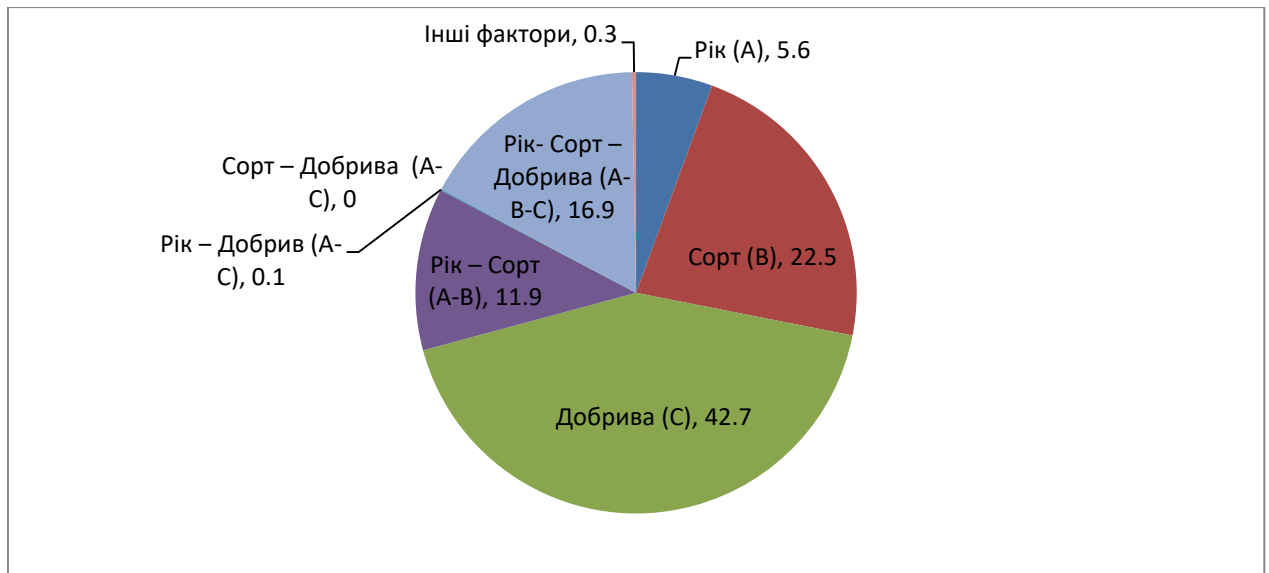


Рисунок. 3.5 – Частка впливу досліджуваних факторів на рівень седиментації пшениці озимої

Висновки до розділу 3

1. Селекція озимої м'якої пшениці досягла значних успіхів у підвищенні врожайності як в Україні, так і за кордоном. У наших дослідженнях сучасні сорти забезпечили врожайність на рівні 5,88-6,77 т/га, що в 1,32-2,25 рази перевищує врожайність сортів попередніх етапів селекції. Зі збільшенням генетичного потенціалу врожайності сучасних сортів ефективність використання мінерального азоту також зростає, але ця закономірність модифікується адаптивними характеристиками сорту.

2) Основні зміни, пов'язані з селекцією, що впливають на врожайність, включають наступні:

(а) Висота рослин у сучасних сортів значно зменшилася. У порівнянні з сортами ранніх етапів селекції вона коливалася в межах 19,1-26,5%, що дозволило збільшити частку зерна у співвідношенні зерна до вегетативної маси з 32-40% у сортів ранніх етапів селекції до 42-48% у сучасних сортів;

б) маса зерна з колоса значно зросла у сучасних сортів порівняно з представниками ранніх етапів селекції. Маса зерна з колоса у сучасних сортів на 76-94% вища, ніж у сортів ранніх етапів селекції;

в) стійкий прогрес у зростанні показника маса 1000 зерен мали тільки сорти селекції СГІ-НЦНС та окремі сорти інших установ України;

г) за показником густоти стеблостою значної різниці між сортами та групами сортів за походженням не виявлено.

3. Порівняльна характеристика вмісту білка у зерні сортів сучасної та ранньої селекції дала змогу виявити перевагу сортів ранніх етапів селекції за білковістю зерна у всіх варіантах фону живлення і по роках. Перевага сортів ранніх етапів над сортами сучасної селекції була від 10,4 до 14,8 % відносних величин. Найменша різниця спостерігалась за вмістом білка між сортами ранніх етапів і II-ю групою – в середньому 13,8 % у варіанті N 60 і 10,4 % у варіанті N 120. Найбільша різниця за білковістю зерна спостерігалась у сортів III-ї групи на двох фонах живлення – 14,8 %.

4. З отриманих результатів по вивченню рівня седиментації було зроблено висновок, що майже всі сорти в середньому по групах поступалися сортам ранніх етапів селекції. Виключенням був рівень седиментації сортів I-ї групи у варіанті внесення добрив N 60 в порівнянні з сортом Пилипівка. Аналогічна ситуація спостерігалася й за вмістом білка в зерні. Встановлені високі рівні кореляції між цими показниками у різних групах сортів. Рівень седиментації зменшувався в середньому по сортах від I-ї до III-ї групи, різниця рівня седиментації складала від 7,1 % до 34,8 %.

5. Отримані результати показали, що сорти груп української та іноземної селекції значно поступаються місцевим сортам (СГІ-НЦНС) за продуктивністю та якістю зерна. У селекцію на поліпшення біохімічної якості зерна необхідно залучати сорти саме СГІ-НЦНС, які найбільш вигідно поєднують у собі як елементи продуктивності, так й біохімічні показники якості зерна.

6. На основі отриманих результатів дослідження за елементами структури врожайності та якості зерна у сучасних сортів, які найбільш поширені в Україні, можна зробити висновок, що на фоні значних успіхів у селекції на збільшення продуктивності, за біохімічними показниками якості

зерна ці сорти в кращому випадку знаходяться на рівні або поступаються сортам ранніх етапів селекції. Найбільш актуальним шляхом розв'язання цієї проблеми є селекційне поліпшення наявного генофонду із залученням нових генетичних джерела.

Результати досліджень з даного розділу висвітлені в наукових працях:

1. Фанін Я. С., Литвиненко М. А. Урожайність та елементи продуктивності рослин у сучасних вітчизняних і закордонних сортів озимої м'якої. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 2023. №38. С. 70-77. DOI: 10.37406/2706-9052-2023-1.10 (Частка участі здобувача – 50 %; здобувачем проведено дослід, проаналізовано літературні джерела і отримані результати).

2. Фанін Я. С., Литвиненко М. А. Урожайність та показники якості зерна у вітчизняних і закордонних сортів озимої м'якої пшениці. *Зернові культури*, 2023. № 7 (1). С. 129-137. DOI: 10.31867/2523-4544/0268 (Частка участі здобувача – 50 %; здобувачем проведено дослід, проаналізовано літературні джерела і отримані результати).

3. Фанін Я.С., Литвиненко М.А., Молодченкова О.О. Стан селекції озимої м'якої пшениці за врожаєм та вмістом білка у зерні найбільш розповсюджених сортів української та зарубіжної селекції. Матеріали наукової конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети» м. Одеса, 24 березня 2023 р. Одеса, 2022. С. 171-173 (Частка участі здобувача 60 %: здобувачем проведено аналіз та узагальнення результатів, написання)

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ГЕНЕТИЧНИХ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ БІЛКОВОСТІ ЗЕРНА ВІД *AEGILOPS TAUSCHII* ТА *TRITICUM DICOCOIDES*

Виходячи із даних, отриманих у попередньому розділі, зрозуміло, що селекція на підвищення врожайності пшениці м'якої озимої за останні десятиліття була дуже вдалою і мала значні результати, але це не стосується білковості зерна та інших біохімічних показників зерна.

З метою подальшого підвищення врожайності та якості зерна озимої пшениці важливим є підбір нових сортів інтенсивного та напівінтенсивного типу, які характеризуються широкою адаптивністю до конкретних зональних умов і найкращим чином використовують генетичний потенціал зернової продуктивності [144].

Однією з найважливіших вимог до сучасного виробника є отримання високих валових зборів зерна пшениці з високими якісними показниками, в реалізації яких провідну роль відіграє білок. Крім того, формування високих хлібопекарських якостей можливе лише за достатньо високого вмісту білка [43]. Тому проблема генетичного поліпшення вмісту білка є одним з найважливіших наукових і практичних завдань селекції, які традиційно є гострими, а іноді навіть дискусійними [145-147]. Хоча у світі давно відомі зразки м'якої озимої пшениці з високим вмістом білка (2-3%), вони не завжди проявляють свої переваги при висіві в інших екологічних або агротехнічних умовах [148], іноді формуючи дрібне та щупле зерно. Існування оберненої залежності між вмістом білка та продуктивністю рослин, відсутність надійних генетичних джерел ознаки та сильна залежність варіювання ознаки від факторів навколишнього середовища призводять до значних труднощів і навіть викликають певний скептицизм щодо селекції на високий вміст білка, принаймні шляхом внутрішньовидової гібридизації.

Перспективним шляхом вирішення цієї проблеми є схрещування віддалених видів з високоврожайними сортами, що може значно підвищити

вміст білка в отриманих лініях [8-9]. Однак сорти, отримані в результаті міжвидової гібридизації, зазвичай поступаються батьківським формам і стандартам, особливо за продуктивністю та масою 1000 зерен, з якими часто небажано корелює вміст білка. Це можна пояснити багатьма факторами, включаючи неефективні процеси інтрогресії та цитологічну або генетичну нестабільність інтрогресивного матеріалу. Схрещування з видами, які мають однаковий з пшеницею геном, особливо з донором гена D, *Aegilops tauschii* Coss, видаються більш перспективними в цьому відношенні, оскільки завдяки цьому гену тверда пшениця набула високих хлібопекарських властивостей, хорошої адаптивності та інших позитивних характеристик, які роблять її найважливішою хлібною рослиною в світі. Цей геном також пов'язаний з низкою негативних рис, які потребують поліпшення, включаючи сприйнятливість до грибкових захворювань і низький вміст білка в зерні. Використання 42-хромосомних амфідиплоїдів від тетраплоїдних видів пшениці та *A. tauschii* дає можливість перенести в геном пшениці не тільки окремі гени якісних ознак *Egilops*, але й цілі полігенні системи, що контролюють кількісні ознаки, такі як розмір зерна та вміст білка, шляхом звичайної гомологічної кон'югації хромосом з D-геномів пшениці та диких видів [26].

Перспективним також напрямом на підвищення біохімічних показників є інтрогресія гена *GPC-B1* від *T. dicoccoides* [149].

Метою досліджень, проведених в даному розділі роботи, було, по-перше, виявлення й оцінка джерел високої білковості інтрогресивних ліній з геном *GPC-B1* і генів від *Aegilops tauschii*, по-друге, дослідити фізіологічні аспекти накопичення та реутилізації азотовмісних сполук в інтрогресивних лініях при наявності значного перевищення вмісту білка у зерні в порівнянні з стандартом.

Для пошуку донорів високої білковості в дослід були залучені інтрогресивні лінії з геном *GPC-B1* від *Triticum. dicoccoides* та лінії з генами від *Aegilops tauschii*. Всі інтрогресивні лінії були поділені на дві генетичні

групи: лінії з геном *GPC-B1*; лінії з генами від *Aegilops tauschii*. Вони зарекомендували себе як вдалі «донори» високої білковості, що підтверджує світовий досвід їхнього використання [148, 150, 151]. Основним об'єктом досліджень у дисертації був генотип, але враховувались фактори впливу року і дози мінерального живлення та їхня взаємодія.

Інтрогресивні лінії, що представлені в даному розділі, були залучені як ті, що не мали характерних ознак, типових для рекомбінантних ліній, отриманих внаслідок відваленої гібридизації, а саме низької морозостійкості, пізнього дозрівання, високорослості, нестійкості до вилягання, осипання колоса та важкого обмолоту зерна. Інтрогресивні лінії порівнювалися як з сортами ранніх етапів селекції, а саме Одеська 16, Одеська 51, так і з сучасними сортами, серед яких носії пшенично-житньої транслокації (ПЖТ) – Щедрість од. Дума од. і Новосмуглянка, носії алелів високих хлібопекарських показників – Куяльник і Годувальниця, та представник закордонної селекції – Колонія (французька компанія «Лімогрейн»).

Починаючи вивчення донорів поліпшення біохімічних показників якості зерна недостатньо досліджень за цими показниками якості зерна – потрібно було провести аналіз за комплексом показників. Особливо велике значення в сучасній селекції має врожайність сорту та елементи продуктивності культури. За чисельними дослідженнями відома негативна кореляційна залежність між продуктивністю і якістю зерна [24]. Тому на даному етапі перед селекціонерами стоїть задача, якщо не нівелювати цю залежність, то хоча б зменшити її. Для генотипів, які мають бути «донорами» генів високої білковості для майбутніх сортів, ці показники є надзвичайно важливими.

4.1 Продуктивність генетичних джерел високої білковості інтрагресивних ліній та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень.

Аналізуючи отримані дані за показниками врожайності 2021 року на варіантах удобрення N 60 і N 120, виявили, що врожайність лінії з геном *GPC-B1* і лінії з генами високої білковості від *A. tauschii* у цих варіантах внесення добрив мали несуттєву різницю (Додаток таблиця Б. 1). Так, в середньому по сестринським лініям з геном *GPC-B1* врожайність у варіанті N 60 складала 6,19 т/га та 6,04 т/га в середньому по лініях з генами від *A. tauschii*, різниця складала 0,16 т/га при $HP_{0,05}$, по фактору В (Сорт) – 0,25 т/га, тобто різниця була несуттєвою.

Аналогічна ситуація спостерігалася у варіанті внесення добрив N 120: для лінії з геном *GPC-B1* врожайність в середньому склала 7,11 т/га, для ліній з генами від *A. tauschii* – 7,12 т/га. Незважаючи на середні показники по групах, де лінії не мали суттєвої різниці між собою, були виділені з них лінії, що значно відрізнялися врожайністю. Найбільшу врожайність у 2021 році з групи ліній з генами від *A. tauschii* мали лінії AIL96ф/18 – 6,66 т/га та E1089-19 – 6,59 т/га у варіантах N120 та N60 відповідно. Лінія з геном *GPC-B1* 9155 мала найбільший показник врожайності на рівні 6,37 т/га та поступалася найбільш врожайній лінії з генами від *A. tauschii* на 0,29 т/га, що відповідає 4,5 %. Так, найбільш продуктивні лінії з генами від *A. tauschii* E 1089-19 і P1L634/18 мали врожайність на рівні 8,08 і 7,61 т/га відповідно. Щодо ліній-носіїв гена *GPC-B1*, то краща за врожайністю була лінія 9200 *GPC-B1+*, давши врожай 7,26 т/га, але вона поступалася за цим показником лініям з генами від *A. tauschii*.

Для дослідження впливу гена *GPC-B1* на продуктивність важливо було порівняти сестринські лінії з геном *GPC-B1* і без нього. Лінії без гена *GPC-B1* мали врожайність у 2021 році на рівні 5,95 і 6,96 т/га відповідно до

варіантів N 60 і N 120. Якщо порівнювати в середньому по групі, враховуючи що $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,16 т/га, то різниця була суттєва.

Але якщо порівнювати окремі лінії, то у варіанті N 60 три з них з геном *GPC-B1* значно перевищували сестринську без гена. Це – лінії 9155, 9200 і 9250. У варіанті внесення добрив N 120 лише одна лінія 9200 з геном *GPC-B1* значно перевищувала сестринську без гена.

Хоча інтрогресивні лінії з двох груп і поступалися найбільш продуктивному сорту-стандарту Щедрість, який мав врожайність на рівні 6,67 і 8,23 т/га у варіантах N60 і N120 відповідно, то все ж вищезгадані найврожайніші інтрогресивні лінії з обох груп переважали за врожайністю інші сорти-стандарти, наприклад Колонію (5,84 і 6,67 т/га відповідно до варіанту доз добрив), Годувальницю (5,94 і 7,17 т/га) та Куяльник (6,83 і 7,34 т/га). Це було менше від показника кращих за врожайністю ліній на 0,35 – 0,40 т/га при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,16 т/га. Також треба зазначити, що є доцільним порівнювати сорти-стандарти за врожайністю окремо, тому що середнє значення продуктивності не є доцільним через значний розмах варіації. Це пов'язано з включенням в дослідження сортів ранніх етапів селекції (високорослих напівінтенсивного типу), метою включення яких було необхідність залучених стандартів саме за загальною білковістю зерна.

У 2022 р. загальна врожайність сортів і ліній помітно знизилась у порівнянні з минулим роком. Так, у варіанті N 60 середня врожайність ліній з геном *GPC-B1* склала 5,05 т/га, лінії з генами високої білковості від *A. tauschii* мали врожайність на рівні 5,10 т/га, що на 1,14 т/га (22,5%) і 0,99 т/га (19,4 %) менше, ніж врожайність 2021 року. Також схожі результати були отримані з врожайності у варіанті N 120. Врожайність в середньому по групах ліній з геном *GPC-B1* і від *A. tauschii* склала 5,84 і 5,78 т/га, що на 1,27 т/га (21,7 %) і 1,34 т/га (23,1 %) менше, ніж у 2021 році відповідно.

Порівнюючи врожайність кращих ліній із двох дослідних груп у варіанті внесення добрив N 60, спостерігали інші результати, ніж попереднього року. Вона проявлялася у відсутності диференціації між

кращими лініями. Серед групи ліній з геном *GPC-B1* найбільший урожай дала лінія 9525 – 5,57 т/га, а з поміж ліній з генами від *A. tauschii* E 1089-19 – 5,63 т/га і AIL96ф/18 – 5,55 т/га. У варіанті N 120 серед ліній з геном *GPC-B1* найбільш врожайними були лінії 9200 – 5,96 т/га і 9525 – 5,88 т/га, серед ліній з генами від *A. tauschii* відділялися E 1089-19 – 6,56 т/га та NIL4 – 6,35 т/га. З отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що незважаючи на контрастність погодних умов, які безумовно вплинули на загальну врожайність, тенденції за врожайністю у досліджених ліній залишилися однаковими протягом двох років.

Результати порівняння врожайності в середньому ліній з геном *GPC-B1* з сестринською лінією без гена у 2022 р. свідчать про перевищення врожайності лінії без гена *GPC-B1* над сестринськими в середньому на 0,51 т/га (10 %) та 0,48 т/га (8,2 %) відповідно дози добрив N 60 й N 120. Лише одна лінія 9525 з геном у варіанті N 60 мала врожайність на рівні сестринської лінії без гена, але всі інші суттєво поступалися їй.

При порівнянні досліджених ліній з сортами, то за врожайністю лідирували на двох варіантах внесення добрив, як і минулого року, сорти Щедрість і Куяльник. Лише двом лініям (E 1089-19 та NIL4) у варіанті внесення добрив N 120 вдалося досягти рівня врожайності сорту Куяльник, який своєю чергою мав врожайність 6,56 т/га.

Отже, аналізуючи отримані дані за врожайністю, можна зробити наступні висновки. Інтрогресивні лінії з геном *GPC-B1* та з генами від *A. tauschii* дещо поступалися – на 14,5-18,1 % за врожайністю таким високоінтенсивним сортам, як Куяльник та Щедрість (рис. 4.1). Це пов'язано з тим, що головним фактором добору в досліді була якість зерна. Але інтрогресивні лінії переважали чи мали однакову врожайність з усіма іншими сортами, такими як Колонія, Годувальниця і високорослий напівінтенсивного типу сорт Одеська 51.

Слід зазначити, що сестринські лінії з геном та без гена *GPC-B1* в оптимальний за погодними умовами 2021 рік не мали значної різниці за

врожайністю, тоді як в дефіцитний за опадами 2022 рік лінії з геном *GPC-B1* поступалися за врожайністю сестринським без гена на 8,2-10 %. Можна стверджувати, що в оптимальні умови року ген не призводить до зменшення врожайності, але при дефіциті вологи спостерігалось зменшення врожайності.

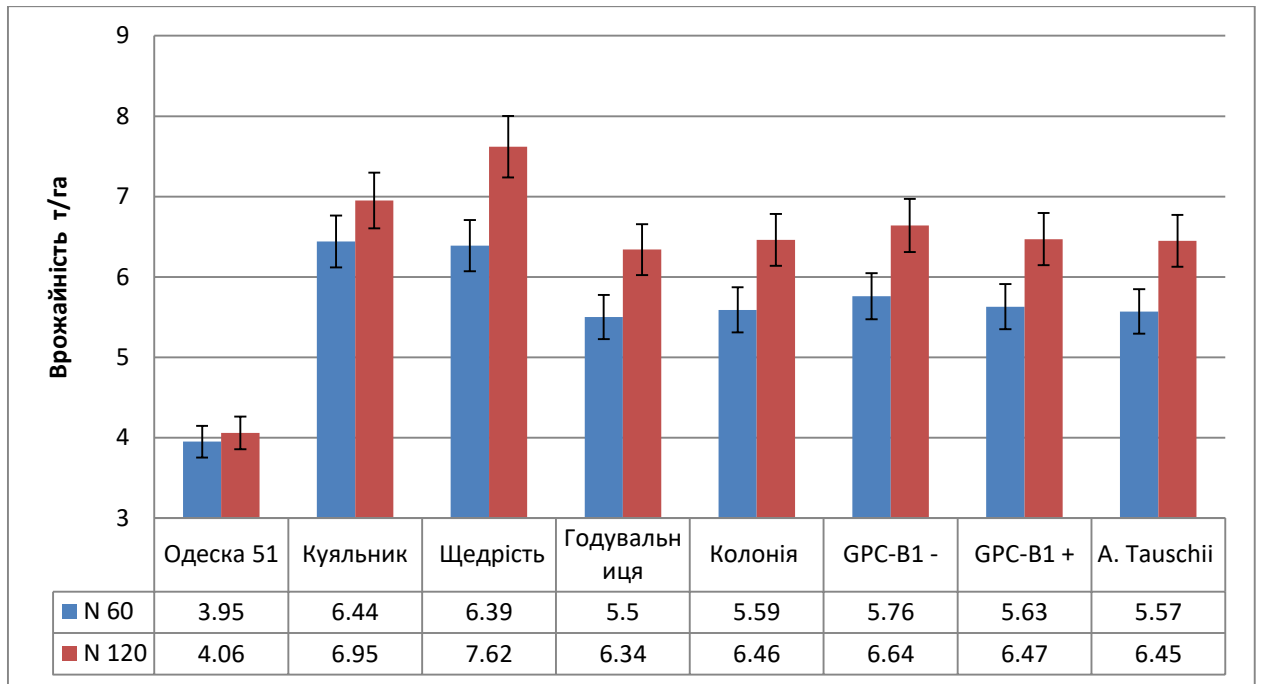


Рисунок 4.1 – Урожайність зерна пшениці у сортів-стандартів та інтрогресивних ліній залежно від дози азотних добрив (середнє по 2021-22 роках), т/га.

З отриманих даних варто зазначити, що серед інтрогресивних ліній є кілька, які стабільно по роках і варіантах внесення добрив мали продуктивність на рівні й більше, ніж найврожайніші сорти-стандарти. Це - лінії AIL96ф/18, E 1089-19, NIL4, 9155 і 9200.

Масу 1000 зерен (МТЗ), як один із показників потенціалу урожайності, науковці пов'язують з реалізацією в процесі онтогенезу. Упродовж всього періоду дозрівання колосу в зернівці відбувається накопичення запасних речовин і водночас якісні зміни. Маса 1000 зерен формується як під впливом генотипу, так і зовнішніх факторів. Під впливом стресових факторів фотосинтез і відтік продуктів асиміляції у верхній частині рослин часто може

загальмовуватись порушуючи при цьому біохімічний склад зернівки. В кінцевому результаті це призводить до зменшення маса 1000 зерн. Крім зниження урожайності, яке пов'язане зі зменшенням маси зерна, погіршується біохімічна якість зібраного урожаю [152].

Варіація маси зернівки в контексті реалізації біологічного потенціалу генотипу може характеризуватися зміною параметрів від 30 до 50 мг. До недавнього часу в наукових колах була популярна думка, що вирішальним фактором при формуванні зернівки є достатня кількість речовин асиміляції в процесі фотосинтезу. Проте є дослідження, що свідчать про накопичування достатньої кількості продуктів асиміляції, а урожайність при цьому не зростає. Тому думка стосовно того, що чим більше асимілятів утворюється під час фотосинтезу, тим більше їх акумулюється в зерно, не відповідає дійсності [153].

Отже, фізіологічно-морфологічний стан зерна, який перевіряється показником МТЗ, надзвичайно важливий показник, що впливає на загальну врожайність та біохімічні показники якості зерна. Також цей показник актуальний для визначення адаптивних можливостей сорту. Якщо сорт є достатньою пристосованим до нового стресового рівня біотичних і абіотичних факторів, то зерно буде максимально виповнене за рахунок реалізації генетичного потенціалу. І навпаки – при низьких адаптивних можливостях генотип не зможе реалізувати свій потенціал врожаю через «запалене» щупле зерно.

При ідентифікації генотипів з високим вмістом білка ставилося завдання виявити лінії з низкою господарсько-цінних ознак і, перш за все, з формуванням виповненого зерна з високою МТМ. Відомо, що ступінь виповненості зерна впливає на абсолютний вміст білка [43]. Це вимагало визначення додаткового критерію - відносного вмісту білка. Виявилось, що в обидва роки, незалежно від погодних умов та умов вирощування, інтрогресивні лінії з генами *A. tauschii* мали вищі середні значення МТМ. Розмах варіювання також був максимальним.

Аналізуючи дані врожаю 2021 року за показником МТЗ, в середньому по лініях з генами високої білковості від *A. tauschii*, МТЗ складала 39,1 та 38,4 г відповідно варіантам дози добрив N 60 і N 120 (Додаток таблиця Б. 2). У 2022 році ці показники були на рівні 38 й 38,2 г відповідно до варіантів дози добрив N 60 і N 120. Але в групі ліній спостерігався значних розмах варіації за цим показником, про що свідчить відносно високий коефіцієнт варіації (CV), який змінювався від 6,5 до 8,2 % залежно від року і дози добрив. Враховуючи, що у сортів-стандартів, які відносяться до різних генетичних систем, МТЗ змінювалась у межах 1,7 – 3,5 %, показники інтрогресивних ліній були досить високими. Таких результатів не мав жоден сорт-стандарт, що свідчить про позитивний вплив генів високої білковості від *A. tauschii*. Незалежно від того, що середні показники МТЗ по групі були менші, ніж 40 грамів, лінії P1L814/13, H 242-197-2, E2778/14 й P1L355RH18 стабільно, незалежно від років та варіантів внесення добрив, мали МТЗ понад за 40 г. Наявність генів від *A. tauschii* дозволило в окремих випадках формувати досить крупне зерно масою в межах 42 – 47 г МТЗ.

Отримані дані за МТЗ у ліній з геном *GPC-B1* свідчать про формування зерна з низькою масою. У 2021 році у варіантах N 60 та N 120 показник МТЗ складав 36,8 та 36,6 г. відповідно, при $HP_{0,05}$ по фактору С (Добрива) – 0,10 г. Порівняння цих показників з результатами визначення МТЗ у ліній з генами від *A. tauschii* свідчить, що МТЗ була на 4,9 – 6,2 % менша у ліній з геном *GPC-B1*. У 2022 році спостерігалася аналогічна ситуація. Так, у варіантах доз добрив N 60 та N 120 показник МТЗ складав 36,0 та 36,1 г відповідно, що на 5,5 % менше, ніж у ліній з генами від *A. tauschii*.

Проводячи порівняння ліній з геном *GPC-B1* та сестринської лінії без гена, виявлено, що лінії з цим геном у варіанті N 60 мали в середньому більшу МТЗ, ніж лінія без гена, тоді як у варіанті N 120 МТЗ у лінії без гена була вища, ніж у сестринських з геном. Порівнюючи лінії з геном окремо з сестринською без гена за показником МТЗ, була встановлена значна мінливість. Розбіжність складала від 0,9 до 6 грамів при $HP_{0,05}$ по фактору В

(Сорт) – 0,43 г. при значеннях коефіцієнта варіації CV 1,5 – 6,1 % в залежності від року і дози добрив. Тому вплив гена *GPC-B1* на МТЗ не можна вважати повністю позитивним чи негативним. Імовірно, це більшою мірою залежить від генетичного середовища, з яким взаємодіє ген *GPC-B1*.

З отриманих результатів було виділено лінію з геном *GPC-B1* 9200, яка стабільно мала МТЗ в середньому 38,2 г. Цей показник був задовільний в порівнянні з показником сорт-стандарт, але значно поступався найбільш крупнозерним зразкам серед з ліній з генами від *A. tauschii* (рис. 4.2).

Слід зазначити також, що за всіма лініями й сортами в більшості випадків не спостерігалось значної реакції на різні дози добрив. Так, різниця між варіантами N 60 та N 120 протягом двох років досліджень варіювала в межах не більше 0,4 – 0,8 г, при $HP_{0,05}$ по фактору С (Добрива) – 0,10 г.

Отже, з описаних вище результатів можна зробити висновок, що найбільшу серед досліджених ліній МТЗ мали лінії з генами високої білковості від *A. tauschii*. Серед найбільш крупнозерних виділялися лінії P1L814/13, H 242-197-2, E2778/14 й P1L355PH18. Вони перевищували за цим показником сорти-стандарту на 3-9 г при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,43 г та стабільно, незалежно від року і доз добрив мали МТЗ більшу за 40 г. Такі показники не були досягнуті жодним із сортів-стандартів. Ці лінії можна рекомендувати в селекційній програмі в якості «джерела» для підвищення показника МТЗ. Лінії з геном *GPC-B1* не мали настільки значних показників МТЗ, але можна виділити лінію *GPC-B1* 9200, яка за результатами досліджень стабільно переважала сорти-стандарту за досліджувальним показником. Сталої різниці між окремими лініями з геном *GPC-B1* та сестринською без гена не було виявлено. Цілком імовірно, що показник МТЗ в цих лініях формується не під дією гена *GPC-B1*, а за рахунок дії інших генів у генотипі.

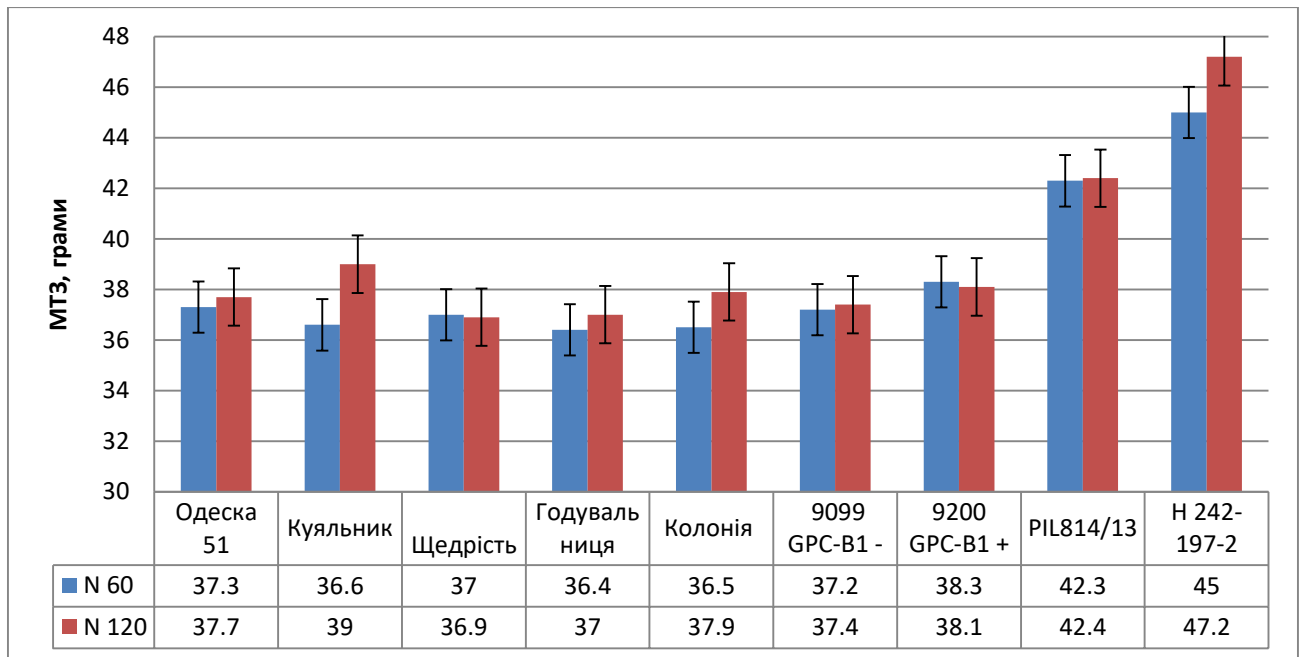


Рисунок 4.2 – Маса 1000 зерен (MTЗ) у кращих інтрогресивних ліній в порівнянні з показниками сортів-стандартів у варіантах доз добрив N 60 та N 120 у середньому по роках досліджень, г.

4.2 Біохімічні показники якості зерна інтрогресивних генетичних джерел високої білковості.

Біохімічну і продовольчу цінність зерна озимої м'якої пшениці формує його білковість. Рівень та якість білка мають найбільший вплив на продовольчу оцінку зерна, тому що з цих показників формується хлібопекарські властивості. Білковість зерна залежить як від агротехнічних заходів, умов вирощування, так і від сортових можливостей. Для найвищою ефекту поліпшення біохімічних показників якості зерна необхідно об'єднувати як оптимальні агротехнічні заходи, так і залучення нових генів та генетичних систем для покращення якості зерна

Вміст білка є одним з основних показників якості зерна та борошна, яким приділяється особлива увага при оцінці селекційного матеріалу. Через те, що саме білок і його якість були головними об'єктами наших досліджень, як і очікувалось, підвищення дози азотних добрив позитивно вплинули на

загальний вміст білка. Порівнюючи результати по білковості зерна за два роки була виявлена тенденція зменшення середніх значень вмісту білка врожаю 2022 року, проти одержаних результатів у оптимальних за погодними умовами 2021 рік.

З результатів 2021 року середній вміст білка у ліній з геном *GPC-B1* – 12,5 та 13,9 % відповідно до варіантів N 60 та N 120 (Додаток таблиця Б. 3). Для лінії з генами від *A. tauschii* цей показник склав 11,8 та 12,8 % відповідно до варіантів удобрення. Порівнюючи середні значення вмісту білка між дослідженими групами, встановило, що лінії з геном *GPC-B1* мали в середньому більше білка у варіанті N 60, різниця склала 0,7 % і у варіанті N 120 - 1,1 % при $HP_{0,05}$ по фактору С (Добрива) – 0,05 % .

Нами було показано, що при збільшенні дози азотних добрив різниця між генетичними групами зростала. При аналізі отриманих результатів за вмістом білка по окремих лініях двох генетичних груп спостерігалася значна диференціація. . Однак порівнюючи найбільш високобілкові лінії із цих груп, виявлено, що різниця між ними складала не більше 0,4 % при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,24 %.

Найбільший вміст білка зерна у ліній з геном *GPC-B1* мала лінія 9300 – 12,7 й 14,0 % та лінія 9525 – 13,0 й 14,2 % відповідно до 2-х варіантів добрив. З поміж ліній з генами від *A. tauschii* найвищий вміст білка був у лінії Eg 1598/12 – 12,7% та 13,9 %, а також у лінії F268-14 – 12,8 і 13,8 %. Важливе є порівняння сестринських ліній з геном та без гена *GPC-B1*. У варіанті добрив N 60 лінія без гена 9099 мала вміст білка на рівні 11,8 %, що на 1,2 % менше, ніж у лінії з найвищою білковістю. У варіанті добрив N 120 при вмісті білка у лінії 9099 – 13,0 %, різниця за вмістом білка між лініями склала 1,2 %. Отже, в умовах 2021 року лінії з геном *GPC-B1* мали стабільну перевагу за вмістом білка над сестринською лінією без гена.

Щодо вмісту білка в зерні сортів-стандартів, то середній вміст його у варіанті N 60 був 11,5 %, у варіанті N 120 – 12,6 %. Порівнюванням цих показників з середньою білковістю зерна ліній з геном *GPC-B1* було

встановлено, що різниця на агрофоні N 60 складала 1,0 %, на агрофоні N 120 – 1,3 %. Різниця для показників білковості зерна в середньому по лініях з генами від *A. tauschii* і сортів-стандартів у двох варіантів внесення добрив не переважала значення $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,24 %. Але, як вже відомо з попередніх досліджень, середній показник по вибірці не завжди може давати повне уявлення щодо досліджуваних ліній та їх показників. Так, бажано проводити порівняння дослідних генотипів з найбільш високо-білковими сортами, до яких відносяться високорослі сорти Одеська 16 і Одеська 51.

Встановлено, що найбільш високобілкові лінії з геном *GPC-B1* (9300, 9525) переважали в середньому на 0,6 % за вмістом білка ці сорти у варіанті N 60 та на 1 % у при N 120. Отримані результати досліджень за різницею в білковості зерна між сортами Одеська 16 й Одеська 51 та лініями-носіями генів від *A. tauschii* свідчать про меншу перевагу цих ліній над сортами-стандартами, ніж у ліній з геном *GPC-B1*. У варіанті доз добрив N 60 ця різниця склала 0,5 %, а у варіанті N 120 - 0,7 %.

Оцінюючи отримані результати за вмістом білка у 2022 році та порівнюючи їх з результатами 2021 року, виявили суттєву тенденцію до зниження загального рівня білковості по усіх варіантах внесення добрив. Вміст білка у ліній з геном *GPC-B1* в середньому був на рівні 12,2 % у варіанті внесення добрив N 60 та 13,5 % - у варіанті N 120, що на 0,3 % й 0,4 % менше відповідно до варіантів в порівнянні з минулим роком при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,24 %. Така ж тенденція спостерігалась і для ліній з генами від *A. tauschii* за вмістом білка у варіанті N 60 – 11,1 % та у варіанті N 120 – 12,0 %, що на 0,7 й 0,8 % менше, ніж попереднього року. З отриманих результаті в видно, що як і минулого року, загальний вміст білка в середньому був вище саме у ліній з генами *GPC-B1*. При несприятливих погодних умовах ці лінії менше знижували свою білковість зерна. Незважаючи на доволі суттєву різницю в погодних умовах між роками, закономірності за вмістом білка в зерні у інтрогресивних лініях зберігалися.

З результатами у 2022 року, максимальний вміст білка у групах інтрогресивних ліній був на однаковому рівні. У лінії з геном *GPC-B1* (9250) у варіанті N 60 вміст білка був на рівні 12,6 % , а для лінії з генами від *A. tauschii* (PIL814/13) – 12,5 %. Різниця була не більше 0,4 % при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,24 %. Ці показники були на рівні з показниками високорослого екстенсивного сорту Одеська 16 та переважали на 1 % показники високорослого напівінтенсивного типу сорту Одеська 51. У варіанті N 120 найбільш високий вміст білка серед інтрогресивних ліній з геном *GPC-B1* був у лінії 9225 (14,1 %) та у лінії з генами від *A. tauschii* Er 1598/12 (13,9 %). Порівнюючи кращі за білковістю зерна лінії, можна зазначити, що різниця й на цьому варіанті добрив була несуттєва, у межах $HP_{0,05}$. При дозі добрив N 120, як і в інших випадках, найбільшу білковість мали високорослі сорти Одеська 16 – 14,1 % і Одеська 51 – 12,7 %. Якщо вміст білка у Одеської 16 був однаковий з найбільш високобілковими інтрогресивними лініями, то сорт Одеська 51 мав вміст білка зерна на 1,3 % менше. Якщо порівнювати ці результати з показниками високоінтенсивних сортів, то різниця зростала ще більше: у варіанті N 60 від 0,8 до 2,7 % у варіанті N 120 від 1,4 до 2,7 %.

Важливим є порівняння сестринських ліній з геном і без гена *GPC-B1* для встановлення можливого впливу цього гена на рівень білковості зерна. У варіанті доз добрив N 60 різниця за вмістом білка між лініями 9099 без гена й найбільш високобілковою лінією 9225 була суттєво менша, ніж минулого року – 0,6 %, у варіанті N 120 різниця склала 1,6 %, що було вище за показників минулого року при $HP_{0,05}$ по фактору С (Добрива) – 0,05 %. З отриманих результатів за два роки можна зробити висновок, що лінії з геном *GPC-B1* стабільно, незалежно від дози добрив і року досліджень, перевищували за вмістом білка сестринську лінію без гена. Приріст білка складав від 0,6 до 1,6 % в залежності від року та агрофону.

Аналізуючи рівень білковості зерна за середніми показниками від року та дози добрив (рис. 4.3), можна зробити наступні висновки. Попри те, що за

середньоарифметичними показниками найбільш високий вміст білка спостерігався у лініях з геном *GPC-B1*, в однакових умовах вирощування лінії з найбільшим вмістом білка з геном *GPC-B1* та генами від *A. tauschii* мали однакові показники білковості зерна. Це зумовлено тим що, лінії з генами від *A. tauschii* мають більшу вибірку і, як наслідок, різноманіття середньоарифметичних показників за вмістом білка. Про це свідчать і як розмір вибірки ліній з геном *GPC-B1* (5 штук), ліній з генами від *A. tauschii* (18 штук), так і показники коефіцієнта варіації (CV). Для ліній з геном *GPC-B1*, в залежності від фону та року вирощування, CV був межах 1,82 – 3,0 %, ліній з генами від *A. tauschii* цей показник був значно вищий (5,18 – 9,55 %). Найбільший рівень білковості зерна серед сортів-стандартів був у сорту Одеська 16.

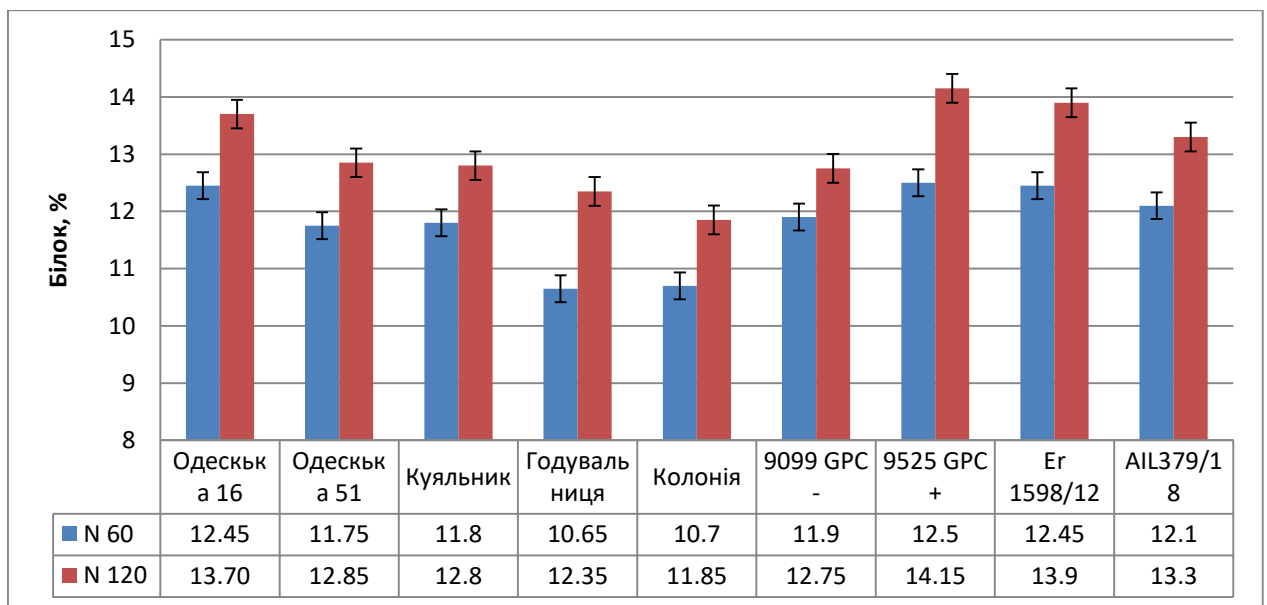


Рисунок 4.3 – Вміст білка зерна у кращих інтрогресивних ліній в порівнянні з сортами-стандартами у варіантах доз добрив N 60 та N 120 у середньому по роках досліджень, %.

В залежності від року і дози добрив вміст білка на рівні сорту-стандарту Одеська 16 виявлено від у однієї до дев'яти інтрогресивних ліній з генами від *A. tauschii*, тобто в кращому випадку, у 50% досліджених ліній. У ліній з геном *GPC-B1* були встановлені кращі результати, за винятком

варіанту N 120 у 2022 році, коли всі дослідні лінії мали білковість на рівні сорту-стандарту Одеська 16.

Наші дослідження показали, що сорти та інтрогресивні лінії демонструють значні відмінності у вмісті білка за різних доз мінеральних добрив. Негативна кореляція між врожайністю та вмістом білка в зернових відома давно. Для селекціонерів важливо знайти генотипи, які можуть максимізувати цю негативну кореляцію. Для пошуку таких генотипів важливо визначити умовний вихід білка з одиниці площі, оскільки цей показник залежить як від рівня врожайності сорту, так і від вмісту білка в зерні (Додаток, табл. Б.4).

За отриманими результатами обрахунків умовного збору білка можна зробити висновок: збільшення дози мінерального живлення позитивно вплинуло на загальні показники. Так, у середньому по роках досліджень умовний збір білка склав у лінії з геном *GPC-B1* у варіанті N 60 0,69 т/га та у варіанті N 120 – 0,88 т/га. У лінії з генами від *A. tauschii* за аналогічних умов умовний збір білка склав 0,63 й 0,81 т/га відповідно до варіантів добрив. Серед окремих інтрогресивних ліній за збором білка можна виділити такі, як 9525 – 0,72 й 0,92 т/га, AIL379/18 – 0,74 й 0,89 т/га, E 1598/12 – 0,69 й 0,90 т/га відповідно до варіантів N 60 та N 120. Порівнюючи ці результати з показниками сортів-стандартів (рис.4.4), можна зробити висновок, що сорт Куяльник мав найбільші показники збору білка з одного гектара на двох варіантах внесення добрив.

Значна різниця за умовним збором білка спостерігалась і між сестринськими лініями з геном і без гена *GPC-B1* на користь лінії з геном. Різниця між середніми показниками лінії з геном *GPC-B1* і лінією без гена на двох варіантах дози добрив складала 0,06 і 0,08 т/га, що відповідає 7,2 і 9,5 % у варіантах доз добрив N 60 і N 120 при $HP_{0,05}$ по фактору С (Добрива) – 0,005 т/га. Треба зазначити, що незважаючи на те, що сорт Одеська 16 мав досить високий вміст білка в зерні, але за показниками умовного збору білка

значно поступався всім іншим сортам. Це свідчить, що більш значний вплив на формування цього показника має саме врожайність сорту чи лінії.

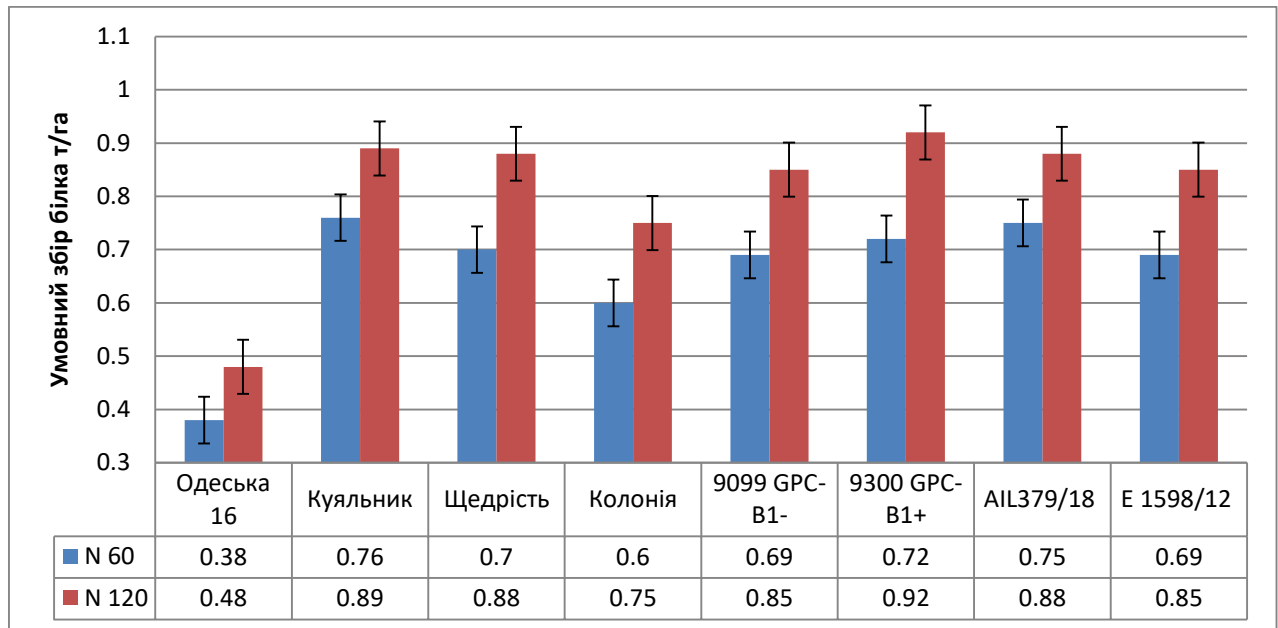


Рисунок 4.4 – Умовний збір білка у кращих інтрогресивних ліній в порівнянні з сортами-стандартами у варіантах добрив N 60 та N 120, у середньому по роках досліджень, т/га.

При ідентифікації генотипів з високим вмістом білка ставилося завдання створити лінії з низкою господарсько-цінних ознак, найважливішою з яких є здатність формувати виповнене за виповненістю та натурою зерно. Відомо, що ступінь виповненості зерна впливає на абсолютний вміст білка [43]. Це потребувало визначення додаткового критерію - відносного вмісту білка. Виявилось, що в обидва роки, незалежно від умов вирощування, інтрогресивні лінії не відрізнялися від стандартів за середніми натуральними значеннями, а за відносним вмістом білка на 1000 зерен спостерігалася слабка тенденція до збільшення цього показника у інтрогресивних ліній.

Аналізуючи отримані результати за показником маси білка в 1000 зернах, можна стверджувати, що найвищі показники були у ліній з генами від *A. tauschii* (Додаток таблиця Б. 6). Виявлено, що середні показники маси білка в 1000 зернах у групі інтрогресивних ліній з генами від *A. tauschii*

складали 4,41 і 4,81 г відповідно до варіантів N 60 і 120, а в групі ліній з геном *GPC-B1* – 4,48 і 4,91 г відповідно.

Проте окремі лінії за цим показником значно переважали всі інші, до яких можна віднести такі, як P1L814/13 – 5,28 і 5,56 г, Н 242-197-2 – 5,06 і 5,80 г, P1L355PH18 – 4,87 і 5,21 г відповідно до варіантів внесення добрив (рис 4.5). Найвищі високі показники за масою білка в 1000 зерен були у лінії з геном *GPC-B1* 9200 – 4,57 і 5,04 г відповідно до варіантів внесення добрив. Порівнюючи кращі лінії двох груп інтрогресивних ліній встановили, що різниця між ними за масою білка в 1000 зерен у варіанті N 60 була в межах 0,31 – 0,71 г, що відповідає 6,7 – 15,5 % та у варіанті N 120 – в межах 0,16 – 0,80 г, що відповідає 3,1 – 15,8 % при $HP_{0,05}$ по фактору С (Добрива) – 0,02 г. З отриманих результатів можна зробити висновок, що різниця між групами інтрогресивних ліній за показником маси білка в 1000 зерен є однаковою, але при порівнянні показника у окремих кращих ліній було виявлено значну перевагу ліній з генами від *A. tauschii*.

Вивчення показника маси білка у 1000 зерен у сортів-стандартів в порівнянні з дослідженими інтрогресивними лініями, показало значну перевагу інтрогресивних ліній як за середньоарифметичним значенням показника, так і за порівняння їхніх кращих представників. Серед сортів стандартів найвищий рівень маси білка в 1000 зерен мав високорослий екстенсивний сорт Одеська 16 з показниками 4,64 й 5,44 г відповідно до варіантів внесення доз добрив.

Маса білка у 1000 зерен цього сорту незалежно від дози добрив і року перевищувала показники всіх ліній з геном *GPC-B1*, але була нижча величини маси білка 1000 зерен у ліній з генами від *A. tauschii*, які мали найвищі значення цього показника. Так, інтрогресивна лінія P1L814/13 переважала за масою білка з 1000 зерен сорт Одеська 16 на 13,7 та 3,9 % відповідно до варіантів N 60 й N 120. Інші сорти, за виключенням високорослого інтенсивного сорту Одеська 16, мали більш низькі показники й поступалися всім інтрогресивним лініям. Також треба зазначити, що лінія

без гена *GPC-B1* мала значно меншу масу білка в 1000 зерен у порівнянні лініями з геном, різниця в залежності від агрофону була у межах 0,14 – 0,22 г, що відповідає 3,2 – 4,7 % при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 0,10 г.

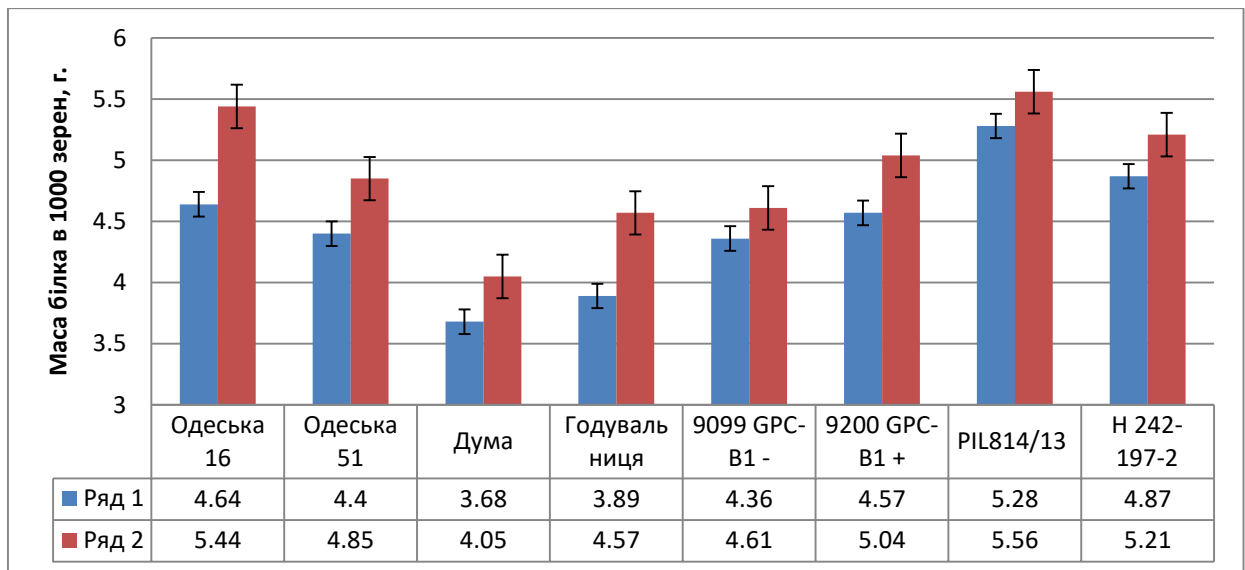


Рисунок 4.5 – Маса білка в 1000 зерен у кращих інтрогресивних ліній в порівнянні з сортами-стандартами у варіантах доз добрив N 60 та N 120, у середньому по роках досліджень, г

Враховуючи те, що показник маси білка в 1000 зернах дає змогу установити реальний вміст білка в зерні, можна зробити висновок, що найбільшу величину цього показника мали лінії з генами від *A. tauschii*. Особливо серед цієї групи виділялися лінії PIL814/13, H 242-197-2, PIL355PH18. Всі лінії з геном GPC-B1 за масою білка в 1000 зерен переважали сорти стандарти, за винятком високорослого й екстенсивного сорту Одеська 16 та сестринської лінії без гена. Такі результати свідчать про значний позитивний вплив гена GPC-B1 на валовий збір білка.

4.3 Показники седиментації та фракційний склад білка зерна інтрогресивних генетичних джерел високої білковості.

Оскільки пшениця м'яка – це продовольча, перш за все, хлібна культура, важливо селекцію на підвищений вміст білка в зерні поєднувати з поліпшенням його технологічних показників. Для визначення цих показників якості найбільш широко на ранніх етапах селекційного процесу використовують експрес-метод седиментації SDS 30, оснований на відмінностях у набуханні після попереднього автолізу борошна різної якості в слабких розчинах кислот з додецилсульфатом натрію. Метод точно вловлює відмінності між зразками, а його показник високо корелює з основними ознаками якості – «силою» борошна та індексом еластичності тіста. На величину цього показника не впливають твердозерність, вміст білка та пошкодження зерна шкідливою черепашкою, оскільки в кислому середовищі, в якому проводиться аналіз, інгібуються протеолітичні ферменти клопа [25].

Аналізом отриманих даних за показником седиментації була виявлена позитивна реакція на збільшення доз азотних добрив – зростання рівня седиментації спостерігалось в обидва роки та у всіх сортах і лініях. Але фактор року значно вплинув на формування рівня седиментації: в оптимальний 2021 рік показники були вищі, ніж у посушливий 2022 рік. (Додаток таблиця Б. 6). Порівнюючи показники седиментації у інтрогресивних ліній та сортів, установили, що найвищий рівень седиментації був у ліній з геном *GPC-B*, середній – у варіанті N 60 складав 73 мл, тоді як у лінії з генами від *A. tauschii* – 63,5 мл, для варіанта N 120 ці показники склали 82,1 мл для лінії з геном *GPC-B1* та, 72,3 мл для лінії з генами від *A. tauschii*. З отриманих даних видно, що різниця між групами інтрогресивних ліній коливалася в межах 9,5 – 9,8 мл (13,5 – 14,9 %) на користь лінії з геном *GPC-B1* при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 2,11 мл. Хоча за отриманими середніми даними лінії з генами від *A. tauschii* поступалися лініям з геном *GPC-B1* за рівнем седиментації, але окремі лінії цієї групи стабільно виділися за цим показником. Серед них лінії AIL379/18, PIL814/13, PIL690/18, NIL2, які в окремих випадках мали седиментацію на рівні лінії з геном *GPC-B1*.

Порівнюючи сестринські лінії з геном і без гена *GPC-B1* за показниками седиментації, можна зробити висновок про дуже значний вплив присутності гена на підвищення седиментації. Якщо порівнювати лінію без гена (9099) у варіанті N 60 в середньому по роках, яка мала показники седиментації на рівні 64,6 мл, з лініями з найбільшим показником седиментації, то різниця складала 8,4 мл, що відповідає 13 %. У варіанті N 120 лінія 9099 без гена мала седиментацію на рівні 70,1 мл, різниця складала 12 мл, або 14,6 % при $HP_{0,05}$ по фактору АВ – 2,99 мл.

Щодо порівняння з сортами-стандартами, то треба зазначити, що як у нашому експерименті, так і згідно з літературними даними, наявність пшенично-житньої транслокації (1BL.1RS і 1AL.1RS) значно знижує показники седиментації [154]. Враховуючи те, що в нашому досліді були такі сорти (Щедрість, Дума, Новосмуглянка), показник їхньої седиментації поступався на 20 – 25 мл сортам без транслокацій. В такому випадку – доцільно порівнювати тільки сорти без транслокацій. У досліджених інтрогресивних ліній середній показник седиментації у варіанті N 60 складав 53,6 мл, різниця між інтрогресивними лініями була в межах 19,4 й 10 мл відповідно до груп ліній з геном *GPC-B1* та генами від *A. tauschii*. У варіанті N 120 середній показник седиментації у сортів-стандартів був на рівні 63,2 мл, що було менше на 19 і 9 мл відповідно до груп ліній (з геном *GPC-B1* та генами від *A. tauschii*) при $HP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 2,11 мл.

Аналізуючи дані за показниками седиментації у окремих груп сортів та інтрогресивних ліній (рис. 4.6), можливо зазначити, що тенденції за величиною седиментації зберігаються такі ж, як і для середніх значень. Так, найвищий рівень седиментації, відповідно до варіантів внесення добрив N 60 й N 120, виявлена у лінії з геном *GPC-B1* – 76,3 і 85,8 мл, далі були лінії з генами від *A. tauschii* з показниками 60,9 – 69,1 мл, й 76,5 – 80,7 мл, трохи нижчий рівень седиментації показали сорти Куяльник і Годувальниця (59,2 – 61 мл та 69,5 – 69,7 мл відповідно). Незважаючи на те, що рівень седиментації у сортів Куяльник і Годувальниця був найвищим серед сортів-

стандартів, вони поступалися за цим показником лінії з *GPC-B1* 9300 на обох варіантах удобрення на 16 мл, та до 10 мл для лінії AIL379/18 при $NP_{0,05}$ по фактору В (Сорт) – 2,11 мл.

Таким чином, можна зробити висновок, що наявність гена *GPC-B1* в інтрогресивних лініях значно підвищує рівень седиментації. Як наслідок, лінії носії гена *GPC-B1* перевищували в середньому сорти-стандарти на 19 – 19,4 мл, лінії з генами від *A. tauschii* на 9,5 – 9,8 мл та сестринську лінію без гена на 8,4 – 12,0 мл. Тому ген *GPC-B1* можна розглядати не тільки як джерело високої білковості, але і як можливий поліпшувач хлібопекарських властивостей, що безумовно, тільки підвищує цінність гена *GPC-B1* при залученні ліній носіїв у схрещування. Також слід зазначити, що було виявлено декілька ліній з генами від *A. tauschii*, які стабільно, незалежно від року і дози мінеральних добрив забезпечували високий рівень седиментації, вищий ніж сорти стандарти. Це – лінії AIL379/18, PIL814/13, PIL690/18, NIL2, Er 1598/12 та E 1089-19.

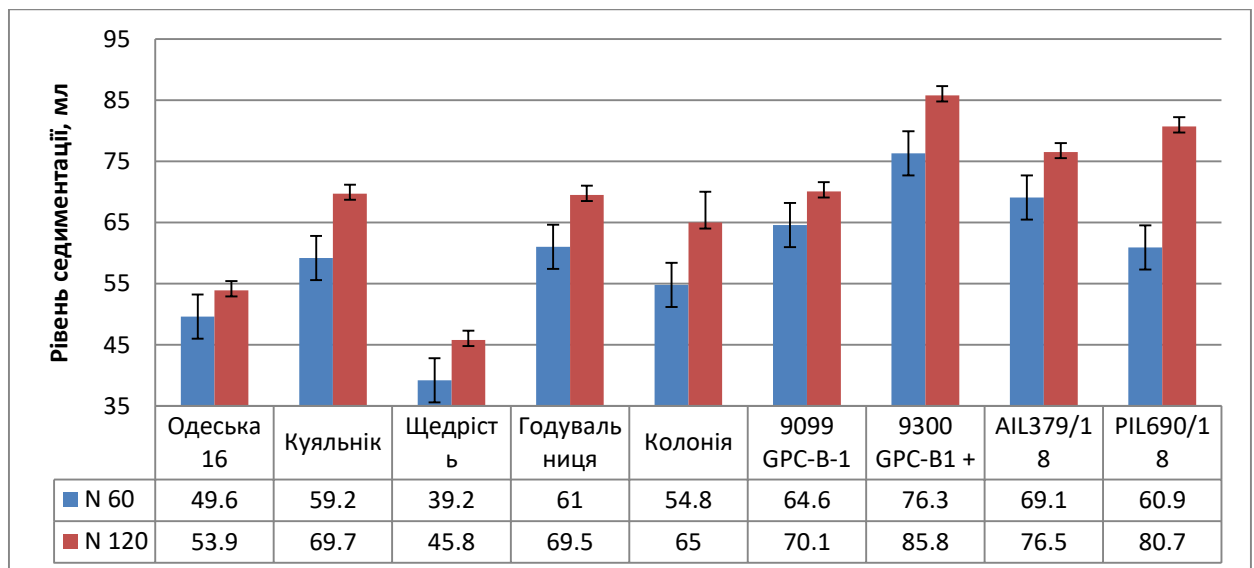


Рисунок 4.6 – Показник седиментації кращих інтрогресивних ліній у порівнянні з сортами-стандартами у варіантах внесення доз добрив N 60 та N 120 у середньому по роках досліджень, мл.

Важливим показником якості пшениці є співвідношення окремих білкових фракцій у зерні, зокрема фракцій білків клейковини (глютенінів і гліадинів). Гліадини є мономерними білками, які впливають на такі властивості тіста, як в'язкість і розтяжність. Глютеніни здатні утворювати високополімерні макромолекулярні агрегати і таким чином впливати на такі важливі властивості тіста, як еластичність і пружність. Показано, що білковий профіль білків зерна пшениці за молекулярною масою є специфічним для кожного сорту та його технологічного класу [155].

Одним із найефективніших інструментів підвищення генетичної мінливості пшениці, особливо за якісними ознаками, є віддалена гібридизація з дикими родичами, які мають невичерпний резерв господарсько-цінних ознак [156]. Відомо, що дикі види з низькою зерною продуктивністю здатні накопичувати надмірну кількість білка в зерні (до 30-35 %) [157]. Схрещування з високоврожайними сортами пшениці може підвищити вміст білка в отриманих лініях до 21,8-22,5 % [158], але зазвичай такі форми поступаються районованим сортам за низькою агрономічних ознак, особливо за врожайністю та натурою зерна [159], з якими вміст білка часто небажано корелює [160]. У цьому відношенні перспективними видаються схрещування з видами, які мають спільні геноми з пшеницею [161-63], зокрема з донорським геном *D A. tauschii* та геном *GPC-B1 T. dicoccoides*.

Дослідження фракційного складу білка показало (табл. 4.1), що найбільший відсоток запасних білків (глютенінів і гліадинів) від загального вмісту білка виявлено у лінії з геном *GPC-B1 9200* (67,0 %), що на 4,8 % більше, ніж у сорту Годувальниця (62,2 %). У лінії з генами високої білковості від *A. tauschii* Er 1598/12 відсоток запасних білків складав 62,4 %, що було на рівні з показником сорту Годувальниця та на 5,3 % більше, ніж у сорту Одеської 51 (57,1%). Можна виділити лінії 9525 і 9155 з вмістом запасних білків 61,6 й 61,4 % відповідно. Окрім цього, була встановлена позитивна кореляційна залежність між показником рівня седиментації та відсотком частки запасних білків на рівні $r = 0,58$. Також значний вплив на

хлібопекарські показники якості зерна має співвідношення між фракціями запасних білків. Найкращим співвідношенням є 1:1 між глютенінами і гліадинами. Таке співвідношення спостерігалось у лінії Er 1598/12 – 1,13 та у лінії 9155 – 1,15, тоді як у сортах-стандартах аналогічні показники знаходилися в межах 1,23 – 1,52.

Таким чином, можна стверджувати, що залучені у схрещуваннях лінії носії гена *GPC-B1* та генів від *A. tauschii* можуть позитивно впливати як на загальний вміст запасних білків, так й на співвідношення між фракціями білку у зерні вирощуваної озимої м'якої пшениці. Також встановлена позитивна кореляція між показниками вмісту запасних білків і рівнем седиментації у дослідних лініях.

Таблиця 4.1

Фракційний склад білка в зерні ліній пшениці з генами високої білковості від *Triticum dicoccoides* та *Aegilops tauschii* в середньому по варіантах внесення добрив і роках 2020-22 рік.

Сорти, лінії	Альбуміни		Глобуліни		Гліадини		Глютеніни		Залишок		Вміст білка, %	Клейко вині білки, %
	% від на- важки	% від білка	% від на- важки	% від білка	% від на- важки	% від білка	% від на- важки	% від білка	% від на- важки	% від білка		
Одеська 51	1,22	9,31	1,00	7,63	2,97	22,67	4,52	34,50	3,39	25,88	13,1	57,18
Куяльник	1,57	12,76	1,08	8,78	3,11	26,10	3,95	32,11	2,49	20,24	12,3	58,21
Гудувальн иця	1,46	12,70	1,03	8,96	3,17	27,57	3,99	34,70	1,85	16,09	11,5	62,26
Er 9099	1,43	11,53	1,51	12,18	3,27	26,37	4,03	32,50	2,16	17,42	12,4	58,87
Er 9155	1,45	11,33	1,15	8,98	3,66	28,59	4,21	32,89	2,33	18,20	12,8	61,48
Er 9200	1,25	9,62	1,10	8,46	3,78	29,08	4,93	37,92	1,94	14,92	13,0	67,00
Er 9300	1,14	8,70	1,11	8,47	3,52	26,87	4,34	33,13	2,99	22,82	13,1	60,00
Er 9525	1,26	9,55	1,12	8,48	3,42	25,91	4,72	35,76	2,68	20,30	13,2	61,67
Er 1598/12	2,18	16,39	1,21	9,10	3,89	29,25	4,41	33,16	1,61	12,11	13,3	62,41
М	1,56± 0,09	12,26± 0,75	1,15± 0,02	9,01± 0,23	3,89± 0,10	26,34± 0,67	4,30± 0,09	33,73± 0,43	2,38± 0,18	18,67± 1,22	12,74± 0,25	0,76± 0,02
max	2,18	16,39	1,51	12,18	3,89	29,25	4,93	37,92	3,39	25,88	13,3	0,8
min	1,22	9,31	1,00	7,63	2,97	22,67	3,93	30,84	1,61	12,11	11,5	0,6
CV, %	18,32	18,06	5,61	7,90	9,53	7,86	6,26	3,81	22,23	18,87	6,03	9,62

4.4 Мікроелементний та вітамінний склад зерна інтрогресивних генетичних джерел високої білковості.

Відомо, що збалансований вміст мікроелементів у зерні пшениці необхідний не тільки для формування високоякісного насіння, але й для забезпечення харчової цінності зерна. Понад два мільярди людей у світі страждають від дефіциту таких важливих мікроелементів, як залізо та марганець, більшість з них - вагітні жінки та діти віком до 5 років [164, 165].

Вміст мікроелементів у зерні пшениці генетично детермінований і залежить від факторів навколишнього середовища. Це є перспективним напрямом генетичного поліпшення рослини, оскільки вміст мікроелементів у генеративних органах пшениці досить низький. Серед джерел підвищення вмісту мікроелементів є перенесення генів від диких родичів до пшениці, що є найбільш обґрунтованим напрямом селекції на поліпшення харчових властивостей сортів пшениці [166, 167].

Залізо доступне рослинам у формі Fe^{2+} та Fe^{3+} . Цей елемент відіграє важливу роль у метаболічних процесах, оскільки входить до складу ферментів, що беруть участь у синтезі хлорофілу та є компонентом циклу трикарбонових кислот. Нестача заліза в рослині може призвести до міжжилкового хлорозу, що призводить до порушення синтезу хлорофілу та фотосинтетичної активності. Залізо є одним з найважливіших елементів в організмі людини і входить до складу численних субстратів і ферментів, які відповідають за транспорт кисню до клітин, функціонування мітохондріального дихального ланцюга, окислювально-відновні реакції клітин, антиоксидантний захист і функціонування нервової та імунної систем. Близько 60% заліза в організмі людини міститься в гемоглобіні. Дефіцит цього мікроелемента є основною причиною гіпохромної анемії. Добова потреба дорослої людини в залізі становить 15 мг [168, 169, 170].

Марганець поглинається рослинами у вигляді двовалентного катіону Mn^{2+} . Він відіграє структурну роль у мембранній системі хлоропластів. Дефіцит марганцю призводить до міжвузлового хлорозу в молодих і старих рослинних тканинах [138]. Марганець входить до складу активних центрів багатьох ферментів, бере участь у згортанні крові та регулює перетворення молекулярного кисню. Іони марганцю також беруть участь у синтезі вітамінів групи В і впливають на синтез гемоглобіну. Дефіцит марганцю призводить до порушення вуглеводного обміну, затримки росту волосся та нігтів, дерматитів, порушення формування хрящів та остеопорозу [139].

Дослідження з визначення вмісту заліза проводилося в основному на лініях з геном *GPC-B1*. Це аргументується тим, що за літературними даними, саме цей ген здатен збільшити загальний вміст заліза та марганцю в зерні [137]. Досліджувалися інтрогресивні лінії в кількості 7 зразків – 5 з геном *GPC-B1*, 1 без гена *GPC-B1*, 1 з генами від *A. tauschii*, контролем слугував сорт Куяльник. Нами були отримані наступні результати (табл. 4.2). Середній вміст заліза в зернах лінії з геном *GPC-B1* складав 43,6 мкг/г, що на 12,1 мкг/г більше, ніж у сорту Куяльник. Така, ж різниця в 12,1 мкг/г була встановлена між сестринською лінією та лініями з геном *GPC-B1*, що відповідало 34 %. Порівнюючи результати лінії Е 1598 з іншими генотипами, виявили значно менший вміст заліза, ніж у ліній носіїв гена *GPC-B1*, приблизно однаковий вміст цього мікроелемента з вмістом Fe сорту Куяльник та у лінії без гена *GPC-B1*.

Таблиця 4.2

Вміст мікроелементів у інтрогресивних лініях пшениці урожаю 2020-2022 року.

Генотип	Вміст заліза, мкг /г	Вміст марганцю, мкг/г
Куяльник	31,5±0,2	0,050±0,002
9099 (<i>GPC-B1</i> -)	31,5±0,1	0,049±0,002
9155 (<i>GPC-B1</i> +))	43,5±0,2	0,063±0,001

9200 (<i>GPC-B₁</i> +))	42,5±0,1	0,050±0,002
9250 (<i>GPC-B₁</i> +))	41,5±0,2	0,057±0,001
9300 (<i>GPC-B₁</i> +))	44,0±0,3	0,060±0,001
99525(<i>GPC-B₁</i> +))	46,5±0,2	0,065±0,002
E 1598	31,0±0,3	0,038±0,003
min	31,0	0,038
max	46,5	0,065
\bar{x}	42,25 ±1,59	0,055±0,0029
CV,%	14,36	17,05

Продовження таблиці 4.2

Середня концентрація марганцю у дослідних зразках складала 0,055 мкг/г, тоді як середній показник по групі ліній з геном *GPC - B1* був 0,059 мкг/г. Різниця між вмістом заліза у сорту Куяльник і середнім значенням цього показника в інтрогресивних лініях з *GPC - B1* складав 0,009 мкг/г на користь інтрогресивних ліній, що у відсотковому відношенні складало 18 %. Лінія з генами від *A. tauschii* мала найменшу концентрацію марганцю й поступалася за цим показником сорту Куяльник на 31 % та лініям з *GPC - B1* на 55 %.

Аналізуючи інтрогресивні лінії за вмістом Mn і Fe, можна зробити висновок, що ген *GPC-B1* від *Triticum turgidum ssp. dicoccoides* значно підвищує вміст цих мікроелементів у дослідних зразках. Середні значення вмісту марганцю у ліній з геном *GPC-B1* перевищували вміст цього мікроелемента у сорту Куяльник на 18%, а вміст заліза був на 34% вищим, ніж у сорту Куяльник. Підвищений вміст мікроелементів свідчить про те, що ген *GPC-B1* є багатофункціональним і підвищує не тільки вміст білка в зерні, але й концентрацію Fe та Mn.

Іншим напрямом біофортифікації пшениці є насичення вітамінами групи B, а саме B1 і B2 [171]. На жаль, організм людини не здатний синтезувати цю групу вітамінів самостійно, тому ці вітаміни повинні надходити з їжею. Джерелом вітамінів цієї групи є продукти рослинного і тваринного походження. Дефіцит вітаміну B1 (тіаміну) призводить до

розладів нервової та серцево-судинної систем [172]; дефіцит вітаміну В₂ викликає різні неврологічні захворювання, в тому числі хворобу Паркінсона, підвищений ризик онкологічних, імунодефіцитних та серцево-судинних захворювань [173, 174, 175]. Загальновідомо, що достатня кількість вітамінів групи В важлива для здоров'я людини, а пшениця є перспективною культурою для генної інженерії, особливо для підвищення вмісту вітамінів В₁ і В₂ в зерні, оскільки весь процес біосинтезу цих вітамінів відбувається в зерні [176]. На сьогодні вивчено механізми синтезу, накопичення та регуляції цієї групи вітамінів у рослинах і розроблено стратегії підвищення їх вмісту в пшениці та інших зернових культурах. У більшості випадків дефіцит усіх інших вітамінів у раціоні людини усувається шляхом додавання необхідних вітамінів до готових продуктів. У випадку з пшеницею це означає додавання необхідних вітамінів до борошна. Цей процес відомий як збагачення продуктів харчування.

Визначення вітаміну В₂ у дослідних генотипах дозволило встановити значну розбіжність у величинах вмісту цього вітаміну в зерні як ліній, так і сортів. Про це свідчать досить високі показники коефіцієнта варіації (CV) – 61,5 % для варіанту N 60 та 57,9 % для N 120 (Додаток таблиця Б. 7). Такі показники засвідчують дуже велику варіаційну мінливість показника. Але є сорти та лінії, які стабільно показували достовірно високий рівень вітаміну В₂. Серед сортів – стандартів можна виділити сорт Одеська 51 з вмістом вітаміну В₂ у межах 3,167 – 3,231 мкг/г. Найбільший вміст вітаміну серед дослідних ліній був у лініях з генами від *A. tauschii*: Er 1598/12 3,690 – 4,034 мкг/г та PIL799/16 3,320 – 3,448 мкг/г відповідно до варіантів N 60 та N 120. Серед ліній-носіїв гена *GPC-B1* найбільший вміст вітаміну мала лінія 9525 (2,968 – 3,462 мкг/г). Отже, з отриманих результатів можна зробити висновок, що за вмістом вітаміну В₂ спостерігалась дуже значна розбіжність як у сортів, так і дослідних лініях. Проте серед ліній - джерел підвищеного вмісту білка були такі, що переважали за вмістом вітаміну В₂ і кращий сорт-стандарт.

4.5. Особливості накопичення та реутилізації азоту у нових генетичних джерелах високої білковості.

З отриманих результатів, які були представлені вище, можна зробити висновок, що групи генетичних джерел з геном *GPC-B1* і генами від *A. tauschii* можуть значно впливати на збільшення вмісту сирого протеїну в зерні пшениці порівняно з іншими генотипами. Даний розділ роботи висвітлює результати, отримані внаслідок дослідження особливостей накопичення та реутилізації азоту у нових генетичних джерелах в порівнянні з іншими генотипами.

На вміст сирого протеїну в зерні впливає багато чинників. Окрім зовнішніх факторів, важливою є, ще дія як генотипу, так й окремих його генів. Якщо під час вегетації ми не можемо вплинути на погодні умови, то за рахунок підбору агротехнічних прийомів (особливо дози добрив та сортів), є можливість отримати високий врожай зерна з підвищеним вмістом білка. Сучасні сорти пшениці української селекції знаходяться в жорсткій конкуренції з іноземними сортами. І щоб вдало і далі конкурувати, треба селекційно підвищувати не тільки врожайність, а й водночас рівень якості зерна пшениці.

Слід зазначити, що завдяки генетичному поліпшенню найбільш продуктивні сорти пшениці озимої мають дуже високий рівень засвоєння азоту та його реутилізації [177]. Частково це стосується також інших елементів живлення [178]. Тому вдосконалення системи удобрення є неодмінною складовою реалізації генетичної продуктивності культури пшениці озимої, а для правильної стратегії застосування добрив важливо знати все про взаємодію генотипу, доквілля та вміло застосувати заходи щодо управління живленням [179]. Останніми десятиліттями застосування в селекції пшениці принципово нових генетичних джерел сприяло досягненню значних успіхів стосовно підвищення врожайності та ефективності використання мінеральних добрив, проте якість зерна, яка негативно корелює

з продуктивністю, знизилася [97]. Для подолання хоча б частково цієї закономірності знову треба залучати нові генетичні джерела [180]. Біосинтез білка в зерні відбувається за допомогою використання двох джерел азотистих сполук: перше – це реутилізація азоту, накопиченого у вегетативних органах під час росту рослин (переважно листках і стеблi) до цвітіння, друге – поглинання азоту з ґрунту в період наливу зерна [177]. Підвищення білковості пшениці може супроводжуватися не лише при збільшенні поглинання азоту, але й за ефективного його використання [181].

Перспективним напрямом селекції на поліпшення застосування азоту як вегетативними, так і генеративними органами рослин під час цвітіння є залучення нових генів за рахунок віддаленої гібридизації. Один із таких варіантів – це цевикористання гена *GPC-B1*, який був ідентифікований і перенесений від дикої полби (*Triticum. dicoccoides*), та генів високої білковості від *A. tauschii*. За літературними даними, ген *GPC-B1* впливає на прискорення фізіологічного старіння листків, і, можливо, як наслідок, на врожай і якість зерна [74].

Проведені дослідження впродовж трьох років дозволили певною мірою відстежити особливості споживання азоту рослинами, формування врожаю та його якості під впливом певних доз мінеральних добрив, генотипу і погодних умов у період вирощування пшениці озимої. Аналізуючи результати вивчення накопичення та реутилізації азотовмісних сполук у сучасних сортів із різних генетичних груп, слід зауважити, що всі сорти та лінії відносяться до короткостеблового напівкарликового типу з висотою рослин 71 – 88,8 см, в залежності від наявності експресії генів короткостебловості в конкретних умовах. Винятком є сорт екстенсивний Одеська 16 з висотою рослин в межах 109 – 116 см (табл. 4.3). Так, різниця у висоті має велике значення у розподілі маси стебел і листків та зерном.

Таблиця 4.3

Висота рослин інтрогресивних ліній та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень.

Сорт, лінія Фактор В	Висота рослин, см							
	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С				Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			
	2020р.	2021р.	2022 р.	\bar{X}	2020р.	2021р.	2022 р.	\bar{X}
Одеська 16	109	117	111	112,3	111	120	116,0	115,7
Куяльник	80	87	82	83,0	81	89	85,7	85,2
Щедрість	73	83	77	77,7	77	84	80,5	80,5
Колонія	71	81	75	75,7	72	82	78,4	77,5
Er 9099 <i>GPC-B1-</i>	80	87	82	83,0	80	90	85,7	85,2
Er 9525 <i>GPC-B1+</i>	80	88	81	83,0	82	88	84,6	84,9
Er 1598/12	81	92	85	86,0	82	94	88,8	88,3

Результати з вивчення накопичення та реутилізації азоту показали, що є врахування розподілу маси між генеративними й вегетативними частками рослини – надто важливий фактор. Для визначення розподілу загальної біомаси між генеративними й вегетативними органами нами були проведені заміри маси всієї надземної частини рослини з 1 м² і також окремо маси стебел та отриманого зерна із всіх рослин на 1 м². Щоб визначити питому вагу врожаю зерна від загальної маси, тобто визначити «К господарського» рослини, був порохований відсоток маси зерна, отриманого з 1 м², від всієї маси надземної частини з 1 м² [136]. Встановлено, що при зростанні дози азотного живлення спостерігалось підвищення частки зернової маси, тобто – «К господарського» (Рис. 4.7-8). Так, у варіанті дози азотного підживлення N 60 найбільшу частку маси зерна мали сорти Куяльник (48,6 %) і Щедрість (49,3 %). Дослідні лінії дещо поступалися цим сортам за показниками зернової частки. Так, лінія з геном *GPC-B1* Er 9525 і лінія з генами від *A. tauschii* Er 1598/12 мали масову частку зерна 47 % і 45,9 % відповідно. Однак

цей показник був вищий у даних ліній, ніж у сестринської лінії Er 9099 без гена *GPC-B1* (45,9 %). При дозі азотного підживлення N 120 найбільшу частку зерна мали сорти Щедрість з часткою зерна із загальної надземної біомаси 51,8 %, Колонія – 51,2 %, Куяльник – 49,2 %. Дослідна лінія Er 1598/12 мала значно меншу частку зерна із загальної надземної біомаси – 46,2 %, тоді як у лінії Er 9525 цей показник був вищий, ніж у сорту Куяльника – 50,5 %. На двох варіантах внесення азотних добрив найменшу частку зерна із загальної надземної біомаси мав сорт екстенсивного типу Одеська 16 (в межах 36,1 – 36,8 %). Одже, найкращі у двох варіантах азотного живлення показали інтенсивні сорти Куяльник та Щедрість, при збільшенні дози мінеральних добрив значно покращували свої показники і сорт Колонія (на 5,3 %) і лінія з геном *GPC-B1* 9525 (на 3,5 %).

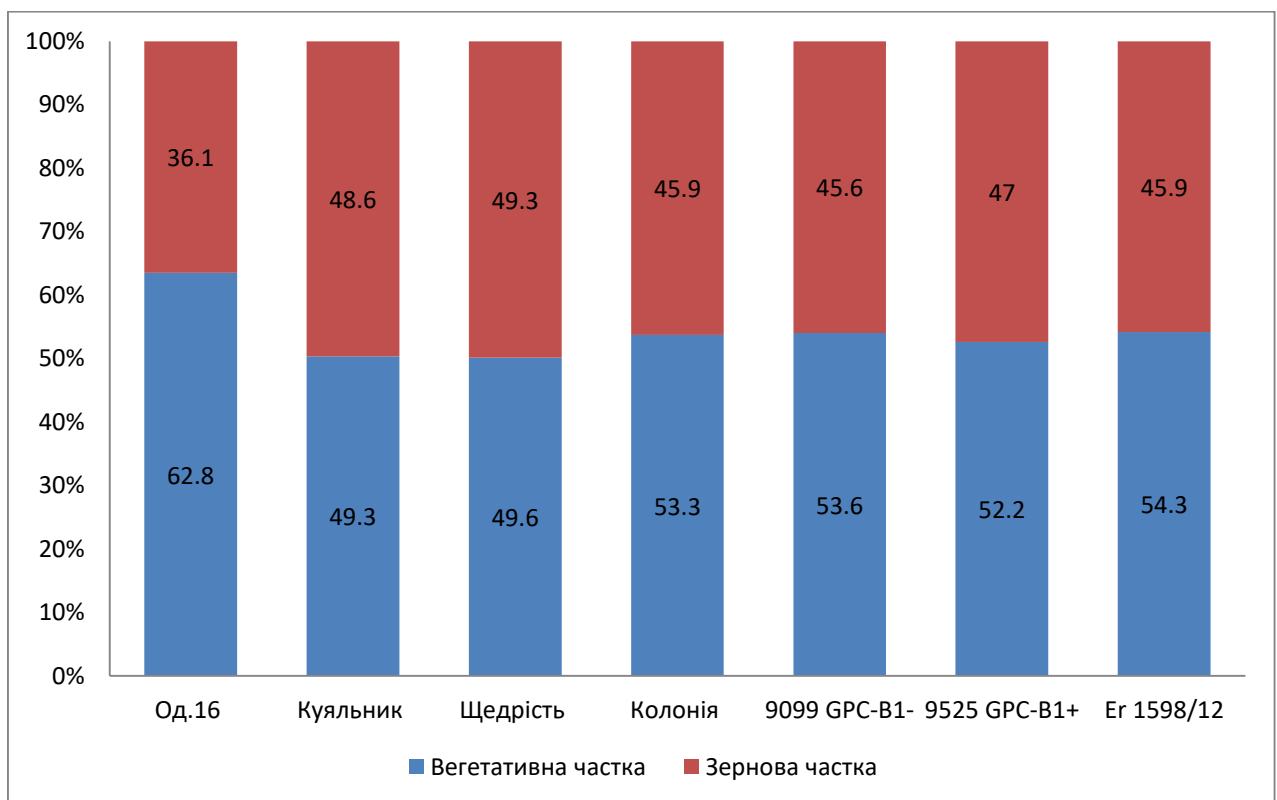


Рисунок 4.7 – Розподіл маси між вегетативними і генеративними частинами в надземній частині рослин у середньому по роках у варіанті N 60.

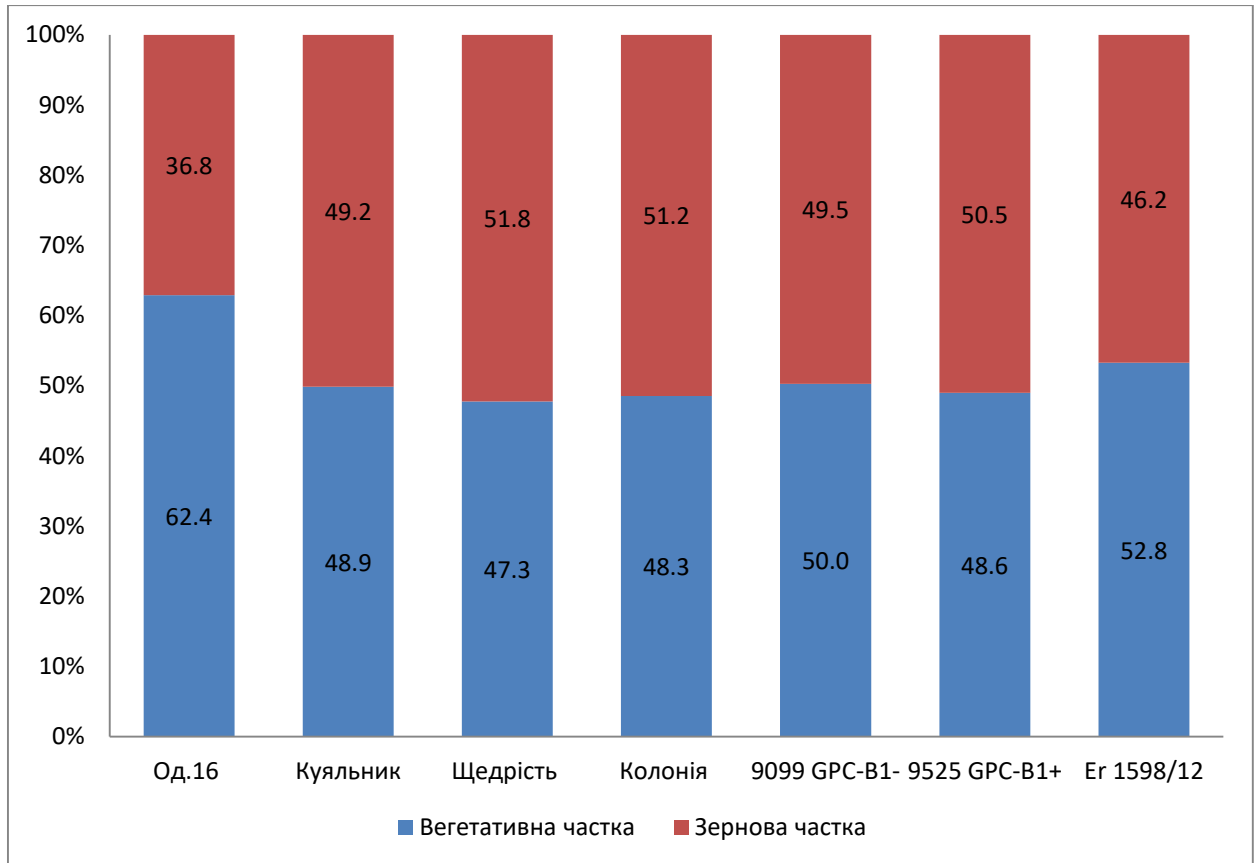


Рисунок 4.8 – Розподіл маси між вегетативними і генеративними частинами в надземній частині рослин у середньому по роках у варіанті N 120.

Під час вегетації вміст азоту в стеблах усіх досліджених генотипів поступався кількості азоту в листках (Рис. 4.9-12). Так, у фазі виходу в трубку (ВВСН 30) середній показник азотовмісних сполук у стеблах по генотипах й варіантах добрив склав 2,22 %, аналогічний показник у листках був на рівні 4,27 %, зростання вмісту азоту в листках досягало 92,3 %. За таких же умов у фазу колосіння (ВВСН 51 – 57) вміст азоту у стеблах був 1,49 % та 2,72 % в листках (на 82,5 % більше в листках). Це свідчить про те, що головна роль у накопиченні та зберіганні азоту в рослині належить саме листкам. Полімерні форми та азотовмісні сполуки містяться в більшості в стеблах, звідки вони у вигляді вуглеводів реутилізуються.

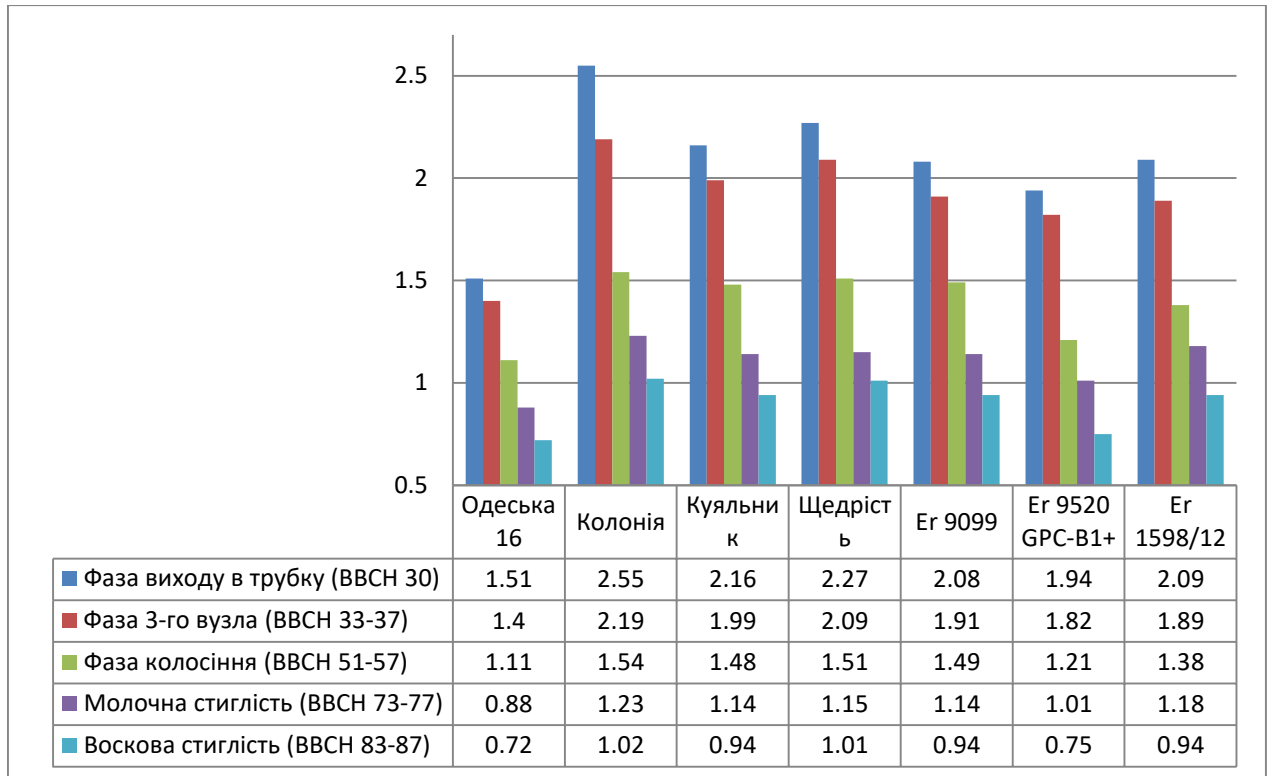


Рисунок 4.9 – Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в стеблі головного пагона рослини пшениці озимої різних генотипів за низького (N60) рівня мінерального живлення, в середньому по роках.

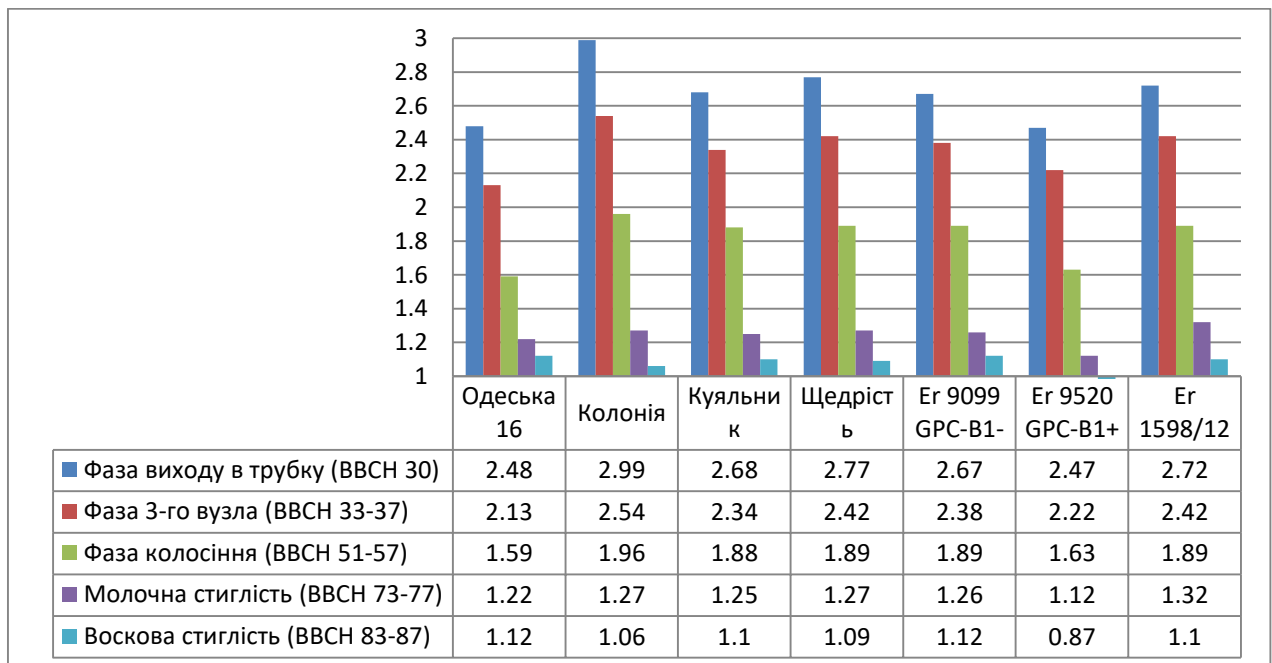


Рисунок 4.10 – Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в стеблі головного пагона рослин пшениці озимої різних генотипів за високого (N120) рівня мінерального живлення, в середньому по роках

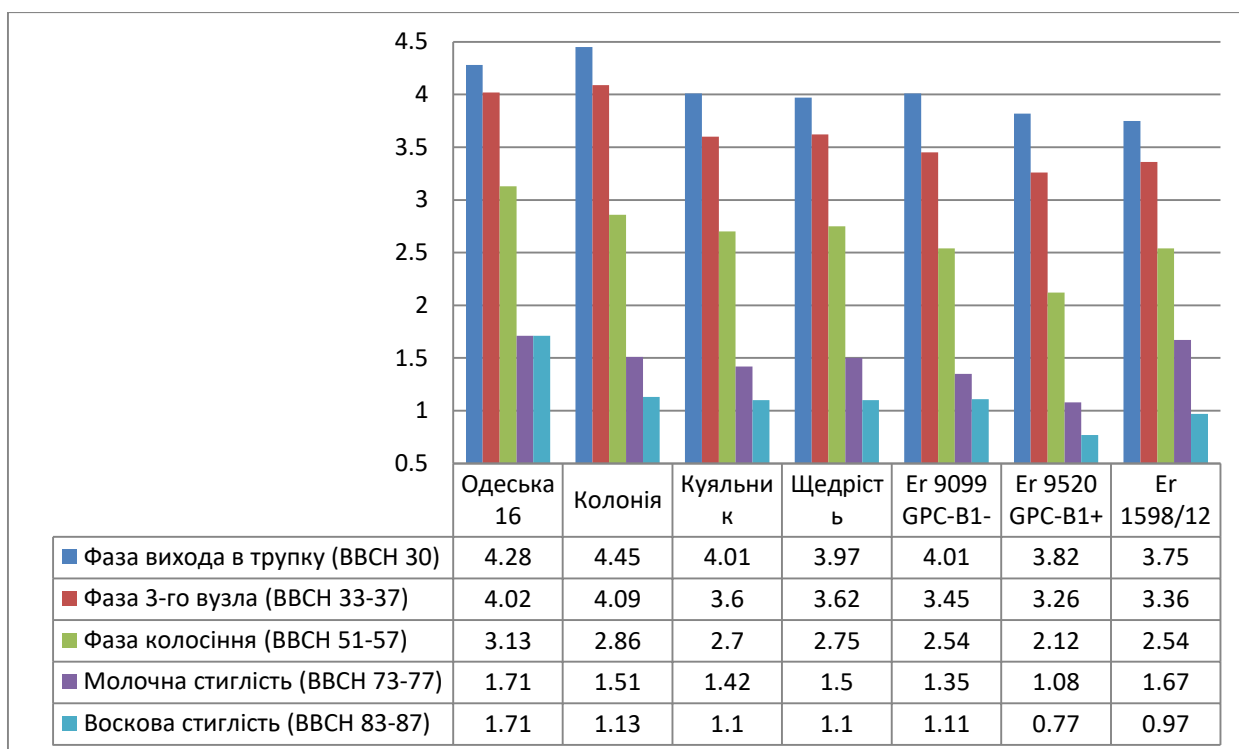


Рисунок 4.11 – Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в листках рослин пшениці озимої різних генотипів за умов низького (N60) рівня мінерального живлення, в середньому по роках

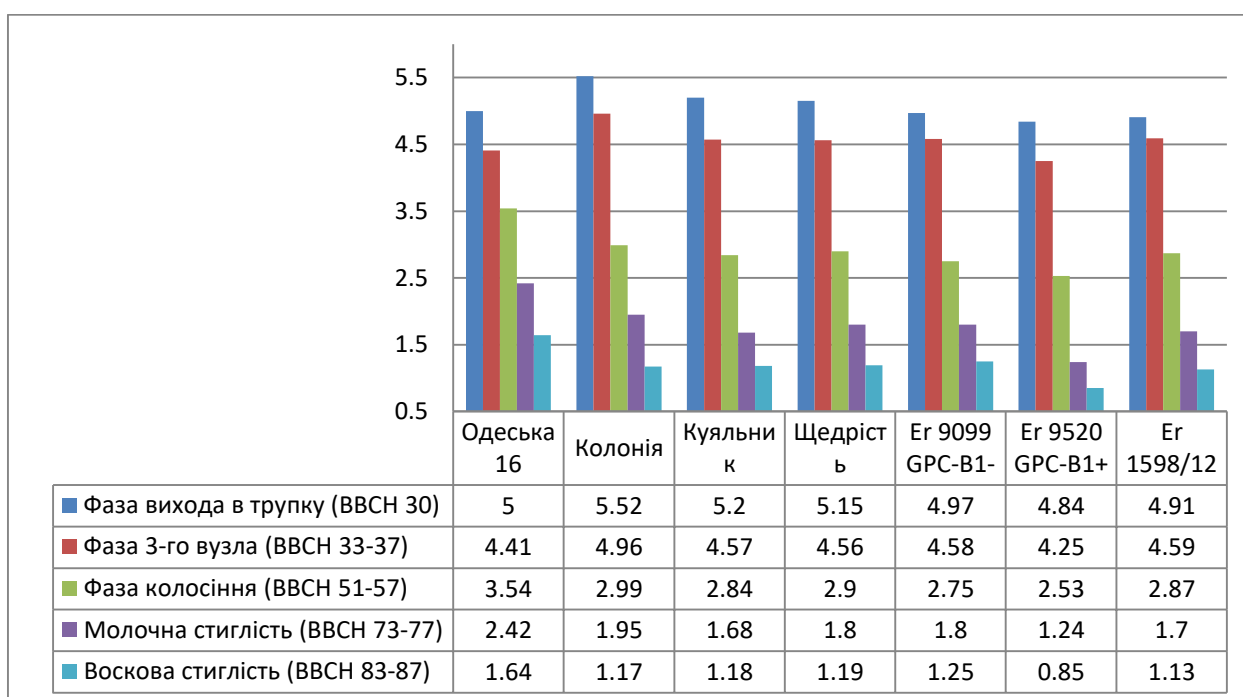


Рисунок 4.12 – Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в листках рослин пшениці озимої різних генотипів за умов високого (N120) рівня мінерального живлення в середньому по роках.

Оскільки фотосинтетичні структури містять багато білків, то з листків реутилізуються переважно азотовмісні сполуки [182]. У варіанті N 60 азотного живлення, спостерігалось зменшення вмісту відносного відсотка цього елемента в усіх органах пагона пшениці, починаючи від фази виходу в трубку, порівняно з високим рівнем живлення варіанту N120. Так, у стеблах різниця між кількістю азотовмісних сполук в залежності від фази розвитку коливалась у середньому, по усіх генотипах в межах 0,07 – 0,28 %, що відповідає 6,3 – 14,3 % різниці. За аналогічних умов різниця між вмістом азоту в листках у різних варіантах внесення добрив в залежності від фази розвитку рослини була в межах 0,03 – 0,49 %, що відповідає 2,6 – 22,6 %.

Добре відомо, що концентрація елементів живлення у тканинах зменшується, згідно з відомим ефектом розбавлення (*dilution effect*) під час інтенсивного нарощування вегетативної маси рослин. Цей ефект може бути критичним для формування врожаю пшениці озимої, тому часто використовується у листковій діагностиці живлення рослин [183]. Нашими дослідженнями за три роки також засвідчено значне зниження концентрації азоту в надземній частині рослин у листках з 3,75 – 4,28 % у варіанті N 60, 4,91 – 5,52 % у варіанті N 120 у фазу виходу в трубку (ВВСН 30), до 0,97 – 1,71 % та 0,85 – 1,64 % відповідно по варіантах вгнесення добрив у фазу воскової стиглості зерна (ВВСН 83 – 87). За отриманими результатами можна зробити висновок, що сортові особливості за інтенсивністю розбавлення азоту проявлялися несуттєво. Дослідження вмісту азоту у рослинах показало наявність тенденції до збільшення його кількості у вегетативній масі у 2020 році порівняно з 2021-22 роками, тоді як загальний вміст білка в зерні, навпаки, був вищий у 2021 і 2022 роках. Це може свідчити про зростання тільки концентрації азоту у 2020 році через дефіцит інших елементів, а не збільшення його питомої ваги.

Разом з цим, сортові відмінності у накопиченні азоту чіткіше проявилися у 2021 та 2022 роках, коли опади у квітні-травні були значно

більшими. Внаслідок деградації білків фотосинтетичного апарату та реутилізації азотовмісних сполук у зерно у вегетативній частині, особливо у листках, вміст азоту за повної стиглості рослини зменшувався в порівнянні із стадією колосіння. Загалом за вмістом азоту в листках сорти інтенсивного типу розвитку (Колонія, Куяльник, Щедрість), а також лінія Er 1598/12 поступалися сорту Одеська 16 на 0,32 та 0,23 % відповідно до варіантів N 60 й N 120, що пов'язано з потужністю їхнього фотосинтетичного апарату. За вмістом азотовмісних речовин у листках лінія Er 9520 *GPC-B1+* значно поступалася своїй сестринській лінії, особливо під час наливу зерна. Показники сестринських ліній Er 9520 *GPC-B1+* та Er 9099 *GPC-B1* були різні. У варіанті N 60 кількість азотовмісних сполук була вище у лінії без гена *GPC-B1*: у фазу виходу в трубку (ВВСН 30) різниця між лініями складала 0,19 %, у фазу 3-го вузла (ВВСН 33 – 37) – 0,19 %, у фазу колосіння (ВВСН 51 – 57) – 0,42 %, у фазу молочної стиглості (ВВСН 73 – 77) – 0,27 %, воскової стиглості (ВВСН 83 – 87) – 0,34 %.

У варіанті N 120 спостерігалась аналогічна тенденція: у фазу виходу в трубку (ВВСН 30) різниця складала 0,13 %, у фазу 3-го вузла (ВВСН 33 – 37) – 0,33 %, колосіння (ВВСН 51 – 57) – 0,22 %, молочної стиглості (ВВСН 73 – 77) – 0,56 %, воскової стиглості (ВВСН 83 – 87) – 0,40%. Як видно, в період вегетації рослини різниця в концентрації азотовмісних сполук тільки зростала між сестринськими лініями із значним зменшенням у лінії з геном *GPC-B1*, тоді як за вмістом протеїну лінія з геном *GPC-B1* перевищувала лінію без гена за результатами трьох років в середньому на 6,0 – 13,0 % у відносних величинах. Це свідчить про вплив гена *GPC-B1* на реутилізацію азоту, що протікає більш активно, і як наслідок, синтезується більше запасних білків при наявності гена *GPC-B1* в генотипі. Дослідна лінія Er 1598/12 більш високий рівень накопиченого азоту протягом всієї вегетації, ніж лінія Er 9520 *GPC-B1+*, але вміст протеїну у них був однаковий. Так, лінія з генами від *A. tauschii* Er 1598/12, в порівнянні з лінією з геном *GPC-B1+* Er 9520, мала більший вміст азоту в лисках у фазу колосіння (ВВСН 51 –

57) на 0,42% й 0,33% та у фазу молочної стиглості (ВВСН 73 – 77) на 0,59% й 0,47% відповідно до варіантів N 60 й N 120. Аналогічна тенденція зберігалася у накопиченні азотовмісних речовин і в стеблах. Сорт Одеська 16 відрізнявся меншим накопиченням азоту у стеблі в порівнянні з сортами інтенсивного типу розвитку в процесі вегетації, особливо у варіанті внесення доз добрив N 60. Суттєвої різниці у накопиченні азоту в стеблі серед інтенсивних сортів не спостерігалось.

Для визначення ефективності реутилізації азоту рахували відсотки зміни частки азоту сухої речовини від вмісту у фазі виходу в трубку (ВВСН 30) до воскової стиглості (ВВСН 84 – 87). Відсоток реутилізації азоту (Рис. 4.13 – 14) від фази виходу в трубку (ВВСН 30) до фази наливу зерна за двома роками у всіх варіантах мінерального живлення у сортів інтенсивного типу був вищий, ніж у сорту Одеська 16 на 7,3 – 18,6 % у листках та на 2,2 – 13,4 % в стеблах. Зниження показників призвело до зменшення відсотка реутилізованого азоту у всіх сортів на 1 – 5,2 % у листках та 2,1 – 8,5 % у стеблах, однак перевага інтенсивних сортів над сортом Одеська 16 за цим показником збереглася. Своєю чергою дослідна лінія з геном *GPC-B1* Er 9520 + мала найвищий рівень реутилізації азоту, в середньому по варіантах внесення добрив: 80,7 % у листках та 65,4 % у стеблах. Розрахунки відсотка реутилізації азоту окремих вегетативних органів підтвердили, що для листків усіх сортів за обох рівнів живлення цей показник був вищим, ніж для стебла. Це пов'язано, переважно, з високим вмістом азоту в листках у фазу цвітіння.

Таким чином, можна стверджувати, що ген *GPC-B1* впливає на процеси як накопичення, так і реутилізації азотовмісних сполук. Лінії- носії генів підвищеної білковості зерна в нашому досліді мали достовірну різницю в накопиченні, так й в реутилізації азотовмісних сполук в порівнянні з сестринською лінією без гена *GPC-B1*. Ця різниця спостерігалась як і в стеблі, і ще більшою мірою в листках. Також була помічена різниця у зменшенні вмісту азоту в листках і стеблах між лініями носіями гена *GPC-B1* і сортами- носіями таких генетичних систем, як гени короткостебловості,

пшенично-житні транслокації, алелі-носії високих хлібопекарських показників. Відсоток вторинного використання (реутилізації) азоту у ліній з геном GPC-B1 був вищий, що цілком пояснює природу підвищеного вмісту сирого протеїну в зерні у лінії з цим геном.

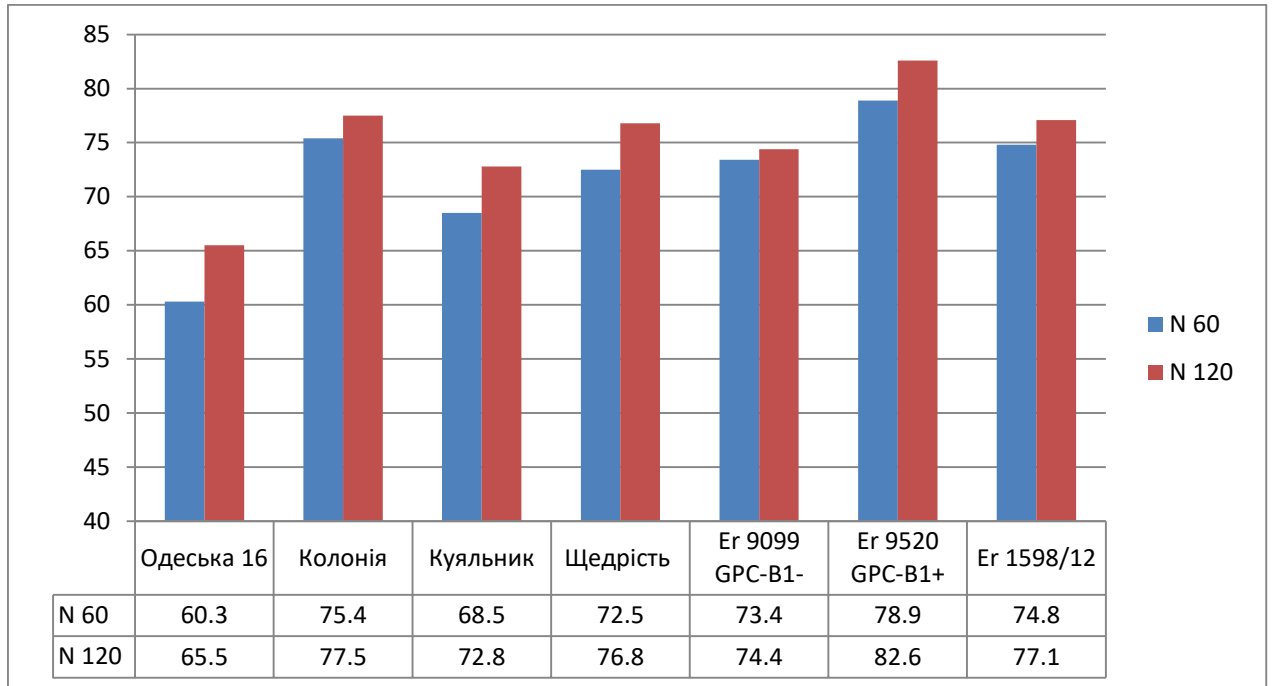


Рисунок 4.13 – Вплив генотипів на реутилізацію азоту із листка в зерно в середньому за 2020 – 2022 роки, %

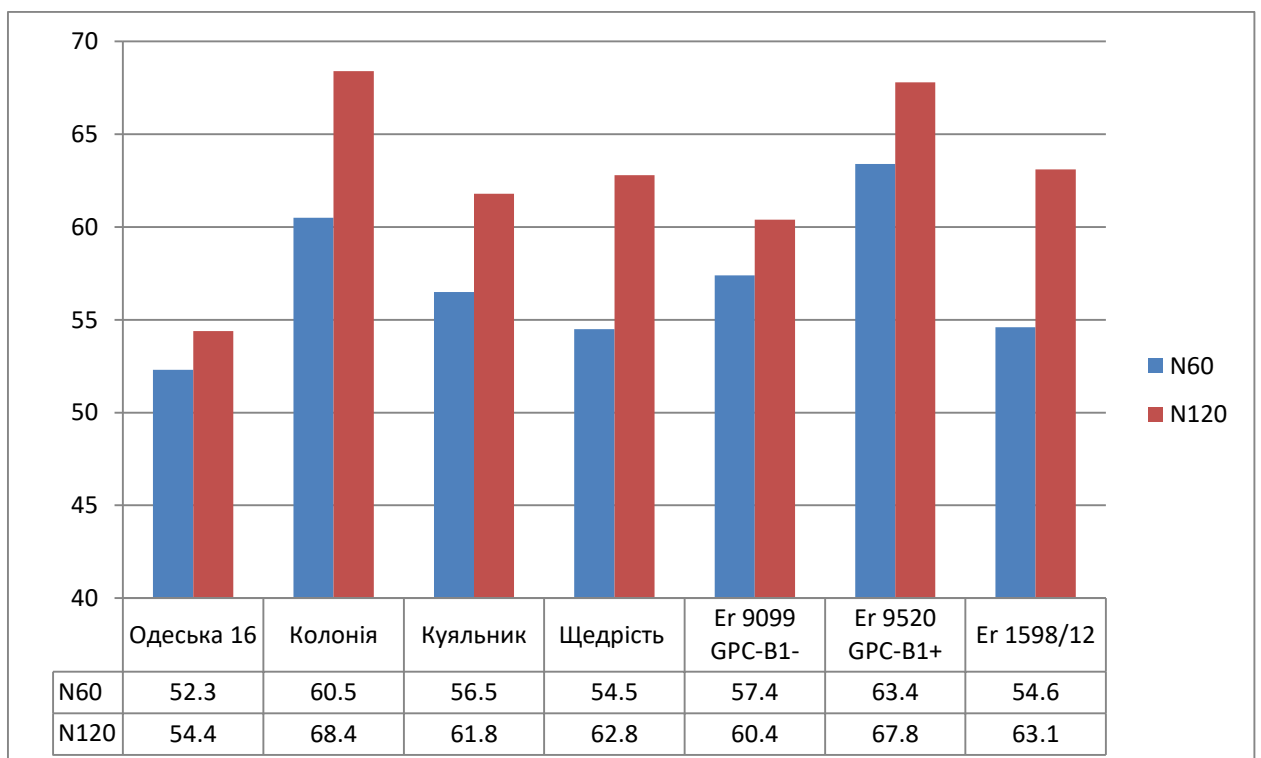


Рисунок 4.14 – Вплив генотипів на реутилізацію азоту із стебла в зерно в середньому за 2020 – 2022 роки, %.

Висновки до розділу 4

1. За врожайністю інтрогресивні лінії з геном GPC-B1 та з генами від *A. tauschii* поступалися на 14,5-18,1 % таким високоінтенсивним сортам, як Куяльник та Щедрість. Але інтрогресивні лінії переважали чи мали однакову врожайність з усіма іншими сортами, такими, як Колонія, Годувальниця і високорослий напівінтенсивного типу сорт Одеська 51. Встановлено, що в оптимальні умови року ген GPC-B1 не знижував врожайність, але при дефіциті вологи таке може спостерігатися. Відмічено, що серед інтрогресивних ліній було кілька, які стабільно по роках і варіантах внесення добрив мали результат врожайності на рівні чи вище, ніж найбільш врожайні сорти-стандарти. Це – лінії AIL96ф/18, E 1089-19, NIL4, Er 9155 та Er 9200.

2. Серед досліджених ліній найвищий показник маси 1000 зерен мали лінії з генами високої білковості від *A. tauschii*. Серед особливо крупнозерних виділилися лінії PIL814/13, H 242-197-2, E2778/14 й PIL355PH18. Вони перевищували за цим показником сорти-стандарти на 3-9 г та стабільно, незалежно від року і доз добрив, мали МТЗ понад за 40 г. Ці лінії можна рекомендувати в селекційні програми як джерела для підвищення показника МТЗ. Лінії з геном GPC-B1 не мали настільки значних показників МТЗ, але можна виділити одну лінію GPC-B1 9200, яка стабільно та достовірно переважала сорти-стандарти за цим показником.

3. Попри те, що за середньоарифметичними показниками найбільш високий вміст білка спостерігався у ліній з геном GPC-B1, високобілкові лінії з геном GPC-B1 і генами від *A. tauschii* мали однаковий вміст білка. Найбільший вміст білка у зерні серед сортів-стандартів був у сорту Одеська 16. В залежності від року і дози добрив вміст білка на рівні цього сорту мали від однієї до дев'яти інтрогресивних ліній з генами від *A. tauschii*, тобто у кращому випадку половина досліджених ліній. Серед них можна виділити E 1598/12, PIL814/13, AIL379/18 та F268-14. Вміст білка у ліній з геном GPC-

B1 був дещо вищий, за винятком варіанту N 120 у 2022 році, коли всі дослідні лінії показали білковість на рівні сорту-стандарту Одеська 16.

4. Наявність гена GPC-B1 в інтрогресивних лініях значно збільшував рівень седиментації. Як наслідок, лінії носії гена GPC-B1 перевищували в середньому сорти-стандарту за цим показником на 19 – 19,4 мл, на 9,5 – 9,8 мл лінії з генами від *A. tauschii* та сестринську лінію без гена на 8,4 – 12,0 мл. Тому ген GPC-B1 можна розглядати не тільки як джерело високої білковості, а ще й як можливість поліпшення хлібопекарських показників, що, безумовно, тільки підвищує цінність даного гена. Також слід зазначити, що були виявлені декілька ліній з генами від *A. tauschii*, які стабільно, незалежно від року і дози мінеральних добрив мали вищий рівень седиментації, ніж сорти-стандарту. Це – лінії AIL379/18, PIL814/13, PIL690/18, NIL2, Er 1598/12 та E 1089-19.

5. Наявність гена Gpc-B1 від *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* суттєво підвищувала вміст мікроелементів у досліджених генотипах. Середні значення вмісту марганцю у лініях з геном Gpc-B1 були вищі на 18 %, ніж у сорту Куяльник, вміст заліза – на 34 %. Підвищений вміст мікроелементів свідчить про те, що ген Gpc-B1 поліфункціональний, і не лише підвищує вміст білка в зерні, а ще й концентрацію заліза та марганця.

6. За результатами дослідження фракційного складу білка зерна генетичних джерел можна стверджувати, що лінії носії гена GPC-B1 та генів від *A. tauschii* мають позитивний вплив як на загальний вміст запасних білків, так і на співвідношення між фракціями білка зерна озимої м'якої пшениці. Також встановлена позитивна кореляція між вмістом запасних білків і рівнем седиментації.

7. Встановлено, що ген GPC-B1 суттєво впливає на процеси як накопичення, так на реутилізації азотовмісних сполук. Лінії носії гена GPC-B1 в нашому досліді показали достовірну різницю в накопиченні та реутилізації азотовмісних сполук у порівнянні з сестринською лінією без гена GPC-B1. Також відмічено різницю у зниженні вмісту азоту в листках і

стеблах між лінією-носієм гена GPC-B1 і сортами-носіями таких генетичних систем, як гени короткостебловості, пшенично-житні транслокації, алелі носії високих хлібопекарських показників. Відсоток вторинного використання (реутилізації) азоту у лінії з геном GPC-B1 був вищий, що цілком пояснює природу підвищеного вмісту сирого протеїну в зерні у генотипах з цим геном.

Результати досліджень по даному розділу висвітлені в наукових працях:

1. Молодченкова О.О, Фанін Я.С. Агробіологічна характеристика нових генетичних джерел високої білковості зерна і їх особливості в накопиченні і реутилізація азоту. *Аграрні інновації*, 2023 № 18. С. 196-204. DOI: 10.32848/agrar.innov.2023.18.27 (*Частка участі здобувачем – 50 %; Здобувачем проведено досліді, проаналізовано літературні джерела і отримані результати*).

2. Motsnyi I., Lytvynenko M., Golub E., Nargan T., Nakonechnyy M., Lyfenko S., Molodcchenkova O., Fanin Ya., Mishchenko I., Smertenko A., Mishchenko L. Disease resistance and adaptation of winter wheat lines derived from wide hybridization under arid environments. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. Vol. 109, No. 3 P. 227 – 236 DOI:10.13080/z-a.2022.109.029 (*10 % авторства: отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів*).

3. . Фанін Я. С., Литвиненко М. А., Молодченкова О.О., Моцний І.І., Безкровна Л.Я. Дослідження білкового складу зерна ліній пшениці (*Triticum aestivum* L.) з геном GPC-B1 і генами високої білковості від (*Aegilops tauschii*) Матеріали наукової конференції «*Селекція зернових та зернобобових культур в умовах змін клімату: напрями і пріоритети*» м. Одеса, 5 травня 2021 року. Одеса, 2021. С. 55-56. (*40 % авторства: отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів, написання*)

4. Фанін Я.С., Литвиненко М.А., Молодченкова О.О. Біохімічних склад та технологічна оцінка зерна інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої з

генами високої білковості від *Triticum dicoccoides* та *Aegilops tauschii*. International scientific conference «*The latest scientific achievements in the modern agro-industrial complex*»: conference proceedings (December 28-29, 2021. Lublin, the Republic of Poland).2021.P.27-31 (Certificate ASC-2829036-UPL dated 29.12.2021. Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit).

5. Lytvynenko M., Molodchenkova O., Fanin Ya. Peculiarities of nitrogen accumulation and reutilization from vegetative parts of wheat in different genotypes, and the levels of mineral nutrition. *Proceedings of the 2nd International Wheat Congress. Beijing. China. 11-15 September, 2022. China, 2022 P. 218* (60 % авторства: ідея, отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів, написання)

6. Фанін Я.С., Молодченкова О.О. Вивчення особливостей накопичення азотних речовин і їх реутилізація в зернівку у різних генотипів в порівнянні с лініями з генами підвищеної білковості від А. Tauschii та лінії з геном GPC-B1. Матеріали наукової конференції «Селекція агрокультур в умовах зміни клімату: напрямки і пріоритети» м. Одеса, 30 вересня 2022 р. Одеса, 2022. С. 128-131 (80 % авторства: ідея, отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів, написання)

7. Fanin Y., Molodchenkova O.O., Lytvynenko M.A.: Influence of genotypes on nitrogen accumulation and reutilization in winter bread wheat. “Cereal Breeding - Challenges and Opportunities for Global Improvement”. Book of Abstracts of the Eucarpia Cereals Section Conference. Szeged, 15-20 May. 2023 y. Szeged, 2022. P. 96. (60 % авторства: ідея, отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів, написання)

РОЗДІЛ 5. СЕЛЕКЦІЙНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНІВ ВІД *AEGILOPS TAUSCHII* ТА ГЕНА *GPC-B1* В РІЗНИХ ГЕНЕТИЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.

На основі результатів досліджень, наведених у попередньому розділі, можна стверджувати, що гени *GPC-B1* та від *Aegilops tauschii* мають позитивний вплив на такі показники, як вміст білка в зерні та рівень седиментації. У випадку з геном *GPC-B1* встановлена ще збільшення вмісту мікроелементів (Fe та Mn). У деяких ліній з генами від *Aegilops tauschii* виявлено зростання маси 1000 зерен в порівнянні з сортами-стандартами. Таким чином, є доцільним використовувати гени від *Aegilops tauschii* та ген *GPC-B1* як генетичні джерела для поліпшення біохімічних показників якості зерна, враховуючи вже певний досвід роботи в цьому напрямі за кордоном.

Найбільш інтенсивні дослідження якості зерна припадають на 60-80 роки ХХ ст., які спрямовувались переважно на пошук високобілкових генотипів у диких видах, таких як *Triticum L.* і *Aegilops L.* [184]. Найбільш результативна робота велась в цей час у США та Канаді, де вдалось збільшити кількість білка в зерні на 0,5–3,0 % [6]. Було доведено, що рівень білка в зерні має полігенний характер [7]. На сьогодні у всіх хромосомах пшениці знайдені головні та мінорні локуси, які впливають на досліджувальний показник [4].

Враховуючи інформацію з наукової літератури про результати використання гена *GPC-B1* та генів від *A. tauschii* для покращення біохімічних показників зерна в деяких наукових установах світу, нами в Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннізнавства та сортовивчення (СГІ–НЦНС), також були розпочаті подібні дослідження за спеціальною програмою. Робота полягає в розробці методичних питань введення гена *GPC-B1* та генів від *A. tauschii* у місцевий сортовий генофонд озимої м'якої пшениці та селекційні дослідження з цим генетичним матеріалом (рис 5.1) для поєднання гена високої білковості й сортів, які є

носіями алелів високих хлібопекарських показників, мають достатній рівень врожайності та комплекс інших господарсько цінних ознак і властивостей.



Рисунок 5.1 – Напрями селекційного залучення генетичних донорів високого вмісту білка в місцевий генофонд.

Метою досліджень, представлених у даному розділі, було встановити ефективність добору за вмістом білка в зерні у рекомбінантних лініях, створених від схрещувань з донорськими лініями - носіями гена *GPC-B1* та генів від *A. tauschii* та показати можливість комбінування в одному генотипі ознак з високими показниками вмісту білка зерні, врожайності та хлібопекарських властивостей.

5.1 Дослідження ліній пшениці м'якої озимої від парних схрещувань місцевих сортів з лініями-донорами гена *GPC-B1*.

Перший етап досліджень передбачав добір рекомбінантних ліній, створених на базі парних схрещувань місцевих сортів і ліній - донорів гена *GPC-B1*. Цей етап почався з гібридних популяції F₂, після індивідуального добору по рослині із гібридних популяцій. З відібраних ліній під урожай 2020 року був закладений селекційний розсадник у кількості 3200 рекомбінантних

ліній із 8 гібридних комбінацій (табл. 5.1). Аналіз та добір рекомбінантних ліній проводився за морфологічними ознаками і за вмістом білка в зерні. З 3200 ліній було за однорідністю морфологічних ознак відібрано 524 лінії (16,3 % від загальної кількості). Далі після аналізу ліній за вмістом білка у зерні було відібрано 296 (56,4 %) ліній, які перевищували сорт-стандарт Куяльник, 140 (26,7 %) з яких мали перевагу над батьківськими компонентами - носіями гена *GPC-B1*. В залежності від гібридних комбінацій середній відсоток ліній, які перевищували вміст білка в зерні кращого батьківського компонента, складало 26,7 %. Така велика частка ліній можливо була зумовлена додатковим впливом впливом зовнішніх умов.

Таблиця 5.1

Результати добору рекомбінантних ліній F3 від схрещувань ліній з геном *GPC-B1* із сортами – носіями алелів високих хлібопекарських властивостей.

Гібридна комбінація	Всього, шт	Кількість відібраних ліній					
		За морфологічними ознаками		За перевищенням білковості			
		Шт.	%.	Сорту-стандарту,		Кращих батьківських компонентів	
		Шт.	%.	Шт.	%.	Шт.	%.
Er 12/17 X Нива од.	400	110	27,5	58	52,7	34	30,9
Er 12/18 X Оптима од.	400	62	15,5	39	62,9	17	27,4
Er 12/19 X Оранта од.	400	63	15,7	35	55,5	17	26,3
Er 12/21 X Кантата од.	400	75	18,7	37	49,3	16	21,3
Er 12/53 X Нива од.	400	52	12,9	33	63,4	10	19,2
Er 12/64 X Оранта од.	400	84	21	44	52,3	24	28,5
Er 12/66 X Кантата од.	400	43	10,7	27	62,7	12	27,9
Er 13/11 X Оптима од.	400	35	8,7	23	65,7	10	28,5
Сума	3200	524	15,7	296	56,4	140	26,7

Враховуючи те, що в схрещування залучалися сестринські лінії в якості донорів гена *GPC-B1*, вплив батьківських компонентів на підвищення вмісту білка проявлявся досить суттєво. За показником білковості зерна виділялися лінії з гібридних комбінації за участі надсильних сортів Нива одеська і Кантата одеська. На наступних етапах селекційного процесу, в попередньому сортовипробуванні (ПСВ 2021 р.) і конкурсному сортовипробуванні (КСВ 2022 р.) головною (цільовою) ознакою добору був вміст білка в зерні. Далі відібрані лінії характеризувались за показниками врожайності та седиментації SDS 30. Порівняння здійснювалось як у селекційному розсаднику за вмістом білка в зерні відносно до сорту-стандарту Куяльник, так із кращим за вмістом білка батьківським компонентом. Останній показник при полігенній системі впливу прийнято називати трансгресією. Однак, виходячи з останніх досліджень, ген *GPC-B1* має моногенний характер успадкування, тому при взаємодії з іншими генетичними системами можна говорити про кумулятивний ефект його дії у порівнянні з батьківськими компонентами.

У 2020-21 вегетаційний рік з 296 дослідних ліній F4, відібраних з селекційного розсадника, був закладений дослід попереднього сортовипробування (ПСВ) (табл. 5.2). В даному досліді лінії із 8 гібридних комбінацій вивчалися за комплексом ознак, названих вище. З отриманих результатів видно, що в середньому у гібридних комбінаціях лінії із стандартним вмістом білка перевищували високобілкові дослідні лінії на 0,14 т/га, або на 2,7 %. Відносно більш суттєва різниця спостерігалася за вмістом білка в зерні. Так, в середньому у гібридних комбінаціях різниця складала 0,9 %, що відповідає 7,5 %. За показником рівня седиментації різниця між лініями із стандартним та підвищеним вмістом білка в середньому у гібридних комбінаціях складала 9,9 мл, що відповідає 15,8 %.

Якщо аналізувати гібридні комбінації окремо, то можна виділити (12/21 x Кантата), (12/64 x Оранта) і (12/17 x Нива), в яких була найбільша

кількість ліній з вмістом білка, що перевищував кращий батьківський компонент. В середньому в гібридних комбінаціях за вмістом білка найвищий результат був у комбінації (12/66х Кантата) – 13,6%, за рівнем седиментації – у комбінації (Er 13/11 X Оптима од.) – 77,3 мл.

Таблиця 5.2

Агробіологічна характеристика рекомбінантних ліній (F4 ПСВ) від парних схрещувань ліній з геном *GPC-VI* та сортів з високими хлібопекарськими властивості 2020-21р.

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт, %		Врожайність ліній, т/га, сер. зн.		Вміст білка, %, сер. зн.		Рівень седиментації, мл, сер. зн.	
	Стандартних	Високобілкових	Стандартних	Високобілкових	Стандартних	Високобілкових	Стандартних	Високобілкових
12/17 х Нива	15 (25,8%)	7 (12,0%)	5,40 ±0,83	5,38 ±1,05	11,1 ±0,41	12,6 ±1,02	56 ±2,3	77 ±1,4
12/18 х Оптима	11 (28,2%)	5 (12,8%)	5,49 ±1,14	5,31 ±0,88	11,0 ±0,12	12,5 ±0,45	58 ±1,3	74 ±1,7
12/19 х Оранта	7 (20%)	4 (11,4%)	5,38 ±1,4	5,13 ±0,57	10,7 ±0,12	12 ±0,12	56 ±2,3	72 ±2,4
12/21 х Кантата	15 (40,5%)	8 (21,6%)	5,08 ±1,1	5,15 ±0,95	10,8 ±0,09	12,2 ±0,12	60 ±1,1	74 ±2,7
12/53 х Нива	6 (18,1%)	3 (9%)	5,52 ±0,15	5,03 ±0,78	10,4 ±0,09	12,5 ±0,04	55 ±1,4	70 ±1,9
12/64 х Оранта	15 (34,0%)	8 (5,5%)	5,20 ±0,97	5,42 ±0,67	10,7 ±1,11	11,6 ±0,12	52 ±2,1	67 ±2,3
12/66 х Кантата	5 (18,5%)	3 (11,1%)	5,68 ±0,38	5,47 ±0,45	11,3 ±1,12	13,9 ±0,12	56 ±3,2	72 ±3,1
13/11 х Оптима	3 (13%)	3 (13%)	5,64 ±0,98	4,89 ±0,89	11,9 ±1,21	13,1 ±0,13	57 ±3,7	69 ±2,3
Сума	77 (26,0%)	41 (13,8%)	\bar{X} 5,54 ±0,09	\bar{X} 5,21± 0,05	\bar{X} 10,9± 0,1	\bar{X} 12,5± 0,2	\bar{X} 56,2 ±3,1	\bar{X} 71,8 ±2,1

Для прискореної ідентифікації ліній з підвищеним вмістом білка наступного вегетаційного року 2021-22 дослід був розміщений на контрастних агрофонах. Дослід конкурсного сортовипробування – у

варіантах агрофонів N 60 і N 120. Метою дослідження було більш детально вивчити реакцію рекомбінантних ліній на різних дозах мінеральних добрив (табл. 5.3). З отриманих даних видно, що середній вміст білка в зерні у виділених ліній з підвищеним вмістом білка перевищував цей показник у ліній з білковістю зерна на рівні сорту-стандарту на високому азотному фоні (N120) на 1,6 %, а на низькому (N 60) на 0,7 %. Таким чином, проявлення генотипів з високим вмістом білка (експресія гена *GPC-B1*) було краще на високому агрофоні азотного живлення. Крім того, окремі лінії з чистотою 0,8-1,8 % (в залежності від походження) переважали за вмістом білка сорт-стандарт на 1,3 – 1,7 %. Такі лінії передавали на ідентифікацію гена *GPC-B1* у відділ загальної та молекулярної генетики СГІ-НЦНС. Такий хід добору та ідентифікації гена *GPC-B1* не є поширеним. Він базується передусім на доборі рекомбінантних ліній за фенотиповими ознаками. При достатньому науковому забезпеченні молекулярно-генетичний контроль та ідентифікація гена здійснюється перед залученням рекомбінантних ліній у селекційний процес.

Отримані результати (табл. 5.3 – 5) свідчать про те, що середній рівень врожайності високобілкових ліній, виявлених майже із всіх гібридних комбінацій, була нижче урожайності ліній з вмістом білка на рівні з сорт-стандарту. Величина відмінностей між лініями змінювалася в залежності від походження лінії та зростала при збільшенні дози азотних добрив на користь стандартних ліній.

Таблиця 5.3

Врожайність рекомбінантних ліній F 5 від парних схрещувань ліній-донорів гена *GPC-B1* з сортами високих хлібопекарських показників (КСВ 2021/22 р.)

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт.		Варіант добрив, N	Врожайність ліній, т/га, сер. зн.		CV, %
	Стандартних	Вскобілкових		Стандартних	Вискобілкових	
Er 12/17 x Нива	12	6	120	7,04±0,34	6,92±0,22	3,3
			60	6,43±0,36	6,41±0,12	2,4
Er 12/18 x Оптима	9	3	120	7,12±0,21	5,95±0,21	3,2
			60	6,35±0,25	6,24±0,06	1,2
Er 12/19 x Оранта.	7	2	120	7,02±0,45	6,78±0,32	5,4
			60	5,54±0,23	5,28±0,54	9,3
Er 12/21 x Кантата	10	5	120	6,74±0,04	6,80±0,32	5,5
			60	6,12±0,12	5,32±0,32	5,3
Er 12/53 x Нива од	6	2	120	7,15±0,07	6,69±0,56	10,1
			60	5,45±0,09	5,12±0,43	8,4
Er 12/64 x Оранта	10	5	120	6,87±0,14	6,06±0,34	6,7
			60	5,12±0,32	5,23±0,56	9,4
Er 12/66 x Кантата	5	2	120	7,30±0,25	7,15±0,65	11,1
			60	6,67±0,32	6,29±0,23	3,6
Er 13/11 x Оптима	3	2	120	7,33±0,28	6,67±0,32	4,6
			60	5,57±0,24	5,12±0,21	3,2
Сума	62	27	120	\bar{X} 7,07±0,17	\bar{X} 6,89±0,23	
			60	\bar{X} 5,4± 0,11	\bar{X} 5,25±0,22	

Це можна пояснити проявленням біологічної закономірності негативного кореляційного зв'язку між урожайністю і вмістом білка в зерні, що в наших дослідах проявлялося у коефіцієнті кореляції між даними ознаками на рівні -0,12 – -0,32. Такий рівень залежності не є статистично вірогідним. Можна припустити, що підвищення вмісту білка у ліній з геном *GPC-B1* певною мірою знижує зазначену кореляційну залежність. Підтвердженням цього судження є те, що із виділених високобілкових ліній,

в залежності від походження, 3,3 – 6,8 % поєднували високий вміст білка і урожайність на рівні чи вище сортів-стандартів (на 5,2 – 12,3 %). Водночас серед ліній із вмістом білка як у сортів-стандартів частота високоурожайних ліній була значно вища (на 7,4 – 9,6 %), перевищення досягало 12,3 – 22,6 %. Метод седиментації SDS – 30 не є прямим методом визначення якості зерна, але за багатьма дослідженнями, його результати мають високий позитивний кореляційний зв'язок з основними хлібопекарськими показниками [185]. Також цей метод ефективно використовується для оцінки якості зерна на ранніх етапах селекції.

Таблиця 5.4

Вміст білка в зерні рекомбінантних ліній F 5 від парних схрещувань ліній-донорів гена *GPC-B1* з сортами високих хлібопекарських показників (КСВ 2021/22 р.).

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт.		Варіант добрив, N	Вміст білка, %		CV, %
	Стандартних	Високобілкових		Стандартних	Високобілкових	
Ег 12/17 х Нива	12	6	120	11,1±0,36	12,0±0,34	6,5
			60	9,7±0,45	10,1±0,37	7,1
Ег 12/18 х Оптима	9	3	120	11,2±0,37	12,6±0,47	6,5
			60	9,8±0,43	10,4±0,28	5,2
Ег 12/19 х Оранта.	7	2	120	10,1±0,34	11,5±0,31	6,5
			60	9,6±0,48	10,3±0,25	4,0
Ег 12/21 х Кантата	10	5	120	10,2±0,43	11,3±0,5	1,4
			60	9,5±0,65	9,9±0,33	4,9
Ег 12/53 х Нива од	6	2	120	10,9±0,55	12,0±0,32	6,7
			60	9,5±0,45	10,4±0,34	6,7
Ег 12/64 х Оранта	10	5	120	10,2±0,33	11,1±0,23	4,7
			60	9,1±0,43	9,8±0,21	4,2
Ег 12/66 х Кантата	5	2	120	10,8±0,23	12,4±0,25	4,5
			60	9,6±0,36	10,9±0,33	6,2
Ег 13/11 х Оптима	3	2	120	11,4±0,26	12,3±0,43	7,7
			60	10,3±0,43	10,8±0,38	6,5
Сума	62	27	120	\bar{X} 10,3±0,17	\bar{X} 11,9±0,19	
			60	\bar{X} 9,6±0,12	\bar{X} 10,3±0,32	

В наших дослідженнях рекомбінантні лінії мали суттєво вищий рівень седиментації, ніж лінії зі стандартним вмістом білка (табл. 5.3). Кореляційний зв'язок між цими показниками має досить високі позитивні значення, на рівні $r = 0,58 - 0,72$. Це свідчить про те, що високобілкові лінії, отримані від схрещувань з геном *GPC-B1* і сортів з високими хлібопекарськими показниками, можуть значно підвищувати цей показник в порівнянні з батьківськими компонентами. В наших дослідженнях таке поєднання серед високобілкових ліній проявлялося з частотою 9,2 % - 16,3 %, в залежності від походження лінії.

Таблиця 5.4

Рівень седиментації у рекомбінантних лінії F 5 від парних схрещувань ліній-донорів гена *GPC-B1* з сортами з високими хлібопекарськими показниками (КСВ 2021/22 р.).

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт.		Варіант добрих, N	Рівень седиментації, мл.		CV, %
	Стандартних	Високобілкових		Стандартних	Високобілкових	
Er 12/17 x Нива	12	6	120	51±1,4	65±2,1	4,4
			60	44±2,2	52±2,6	5,2
Er 12/18 x Оптима	9	3	120	49±2,3	63±2,4	5,5
			60	43±3,2	50±3,4	6,3
Er 12/19 x Оранта.	7	2	120	49±3,1	67±2,6	4,5
			60	41±2,7	51±2,5	4,1
Er 12/21 x Кантата	10	5	120	53±2,4	64±2,1	3,3
			60	42±3,7	50±2,0	3,1
Er 12/53 x Нива од	6	2	120	50±3,2	70±1,5	2,0
			60	42±2,7	54±1,9	2,5
Er 12/64 x Оранта	10	5	120	51±2,9	59±2,0	3,2
			60	38±2,4	44±3,2	4,5
Er 12/66 x Кантата	5	2	120	48±2,6	63±2,7	4,5
			60	39±1,6	51±2,5	4,3
Er 13/11 x Оптима	3	2	120	52±1,8	63±2,7	5,5
			60	38±2,2	45±3,2	4,6
Сума	62	27	120	\bar{X} 50,3±0,21	\bar{X} 64,2±0,32	
			60	\bar{X} 41,8±0,12	\bar{X} 48,6±0,3	

Відібрані лінії з підвищеним вмістом білка в зерні, при великій кількості факторів впливу, слід порівнювати та підтверджувати в кожній наступній генерації для виявлення ліній, стабільних за цією ознакою. У зв'язку з цим представляє інтерес мінливість ознаки білковості зерна продовж трьох генерацій відповідно до етапів селекційного процесу (табл.5.6).

Таблиця 5.6

Мінливість ознаки вмісту білка в зерні у ліній м'якої озимої пшениці від схрещування місцевих сортів з донорами гена *GPC-B1* на різних етапах селекційного процесу, 2020-22 рік

Гібридна комбінація	CP F3			ПСВ F 4			СВ F 5		
	*	**	***	**	***	****	**	***	****
Ег 12/17 х Нива од.	110	34	30,9	7	6,3	12,0	6	5,4	85,7
Ег 12/18 х Оптима од.	62	17	27,4	5	8,0	12,8	3	4,8	60
Ег 12/19 х Оранта од.	63	17	26,3	4	6,3	11,4	2	3,1	50
Ег 12/21 х Кантата од.	75	16	21,3	8	10,6	21,6	5	6,6	62,5
Ег 12/53 х Нива од.	52	10	19,2	3	5,7	9	2	3,8	66,6
Ег 12/64 х Оранта од.	84	24	28,5	8	9,5	5,5	5	5,9	62,5
Ег 12/66 х Кантата од.	43	12	27,9	3	6,9	11,1	2	4,6	66,6
Ег 13/11 х Оптима од.	35	10	28,5	3	8,5	13,8	2	5,7	66,6
Сума	524	140	\bar{X} 26,3	41	\bar{X} 7,7	\bar{X} 12,2	27	\bar{X} 5,0	\bar{X} 65,1

Примітка: «*» - Кількість відібраних ліній, шт.; «**» - Кількість відібраних ліній, шт.; «***» - Відсоток відібраних ліній, %; «****» - Відсоток підтвержених від минулого року.

За отриманими даними прослідковувалося зменшення з кожним роком досліджень кількості високобілкових ліній від початкових обліків у селекційному розсаднику. Таким чином, використання ліній-донорів гена *GPC-B1* в гібридизації з сортами екстрасильними за якістю зерна пшениці забезпечує стабільне проявлення високобілковості зерна в лініях у кількості 3,1 – 6,6 % від початкової наявності ліній, залежно від гібридної комбінації. Для прискорення ідентифікації таких ліній, можливе використання різних екологічних груп, чи різних агрофонів.

Найбільш бажаним поєднанням в одному генотипі є високий вміст білка з відмінними хлібопекарськими показниками та врожайністю що вище ніж у стандарту. Частота таких ліній в наших дослідженнях невисока і в залежності від гібридної комбінації знаходилася у межах 1,7 – 3,4 %.

5.2. Дослідження ліній пшениці м'якої озимої від потрійних схрещувань місцевих сортів з лініями донорами гена *GPC-B1* та складних схрещувань із залученням генів від *A. tauschii*.

Наступним напрямом в залученні генетичних донорів в місцевий генофонд було залучення генів від *A. tauschii* через складні схрещування та залучення гена *GPC-B1* потрійним схрещуванням з метою досягнути кумулятивного ефекту. Таким чином, у 2020-21 вегетаційному році, проводився добір з селекційного розсадника із 13 гібридних комбінації, до яких входили рекомбінантні лінії F3, створені від потрійних схрещувань з лініями з геном *GPC-B1* (6 гібридних комбінацій) і лініями- донорами генів високої білковості від *A. tauschii* (7 гібридних комбінацій) (Додаток таблиця В. 2). Добір рекомбінантних ліній проводився як за морфологічними ознаками, та за вмістом білка. З 3200 ліній було відібрано за однорідністю морфологічних ознак 672 лінії, що складає 21 % від загальної кількості закладених у селекційному розсаднику. Цей відбір було проаналізовано за вмістом білка. За результатами аналізу було виявлено 216 ліній, 32,1 % від

загальної кількості ліній, що перевищували за вмістом білка сорт-стандарт Куяльник. З них 108 ліній, (16 %) від загальної кількості відібраних ліній, перевищували батьківські компоненти за цією ознакою. Серед ліній з більшим вмістом білка, ніж у батьківських компонентів, 49 шт. були створені на базі потрійних схрещувань з лініями-носіями *GPC-B1* і 59 шт. на базі схрещувань з лініями-носіями генів від *A. tauschii*.

Для продовження досліджень наступного року був закладений дослід із ліній F4 (ПСВ), які були представлені в кількості 216 ліній із 13 гібридних комбінацій (Додаток таблиця В. 1). Дослідні лінії, як і в попередньому досліді в F4 (ПСВ), відбирались за вмістом білка, врожайністю та рівнем седиментації. Але головним фактором добору залишався вміст білка в зерні. В результаті проведених досліджень було виділено 104 лінії, що складає 48,1 % від загальної закладених ліній в досліді, з яких 67 ліній, що відповідає 31 %, мали вміст білка в зерні на рівні сорту-стандарту та 37 ліній, що складає 17,1 %, мали вміст білка більший, ніж батьківські компоненти.

Порівнюючи лінії з підвищеним вмістом білка і лінії, які мали білковість зерна на рівні із стандартом, встановили, що різниця між ними складала 1,1 %, що відповідає 9 % (Додаток таблиця В. 2). Лінії з вмістом білка на рівні сорту-стандарту мали врожайність на 0,28 т/га вищу, що відповідає 6,4 % (Додаток таблиця В. 3). Більш суттєва різниця була за рівнем седиментації – на 13,9 мл, що відповідає 25,4 %. Також рівень седиментації, як і в попередньому досліді, мав більш значну диференціацію між гібридними комбінаціями. Так, середній рівень седиментації з-поміж ліній, створених за потрійними схрещуваннями, склав 60 і 72,5 мл для ліній з вмістом білка на рівні стандарту і високобілкових ліній відповідно (Додаток таблиця В. 4). Показники рівня седиментації у рекомбінантних лініях, створених від *A. tauschii*, мали результати на рівні 51,5 65,4 мл (для ліній з вмістом білка на рівні сорту-стандарту і високобілкових ліній відповідно).

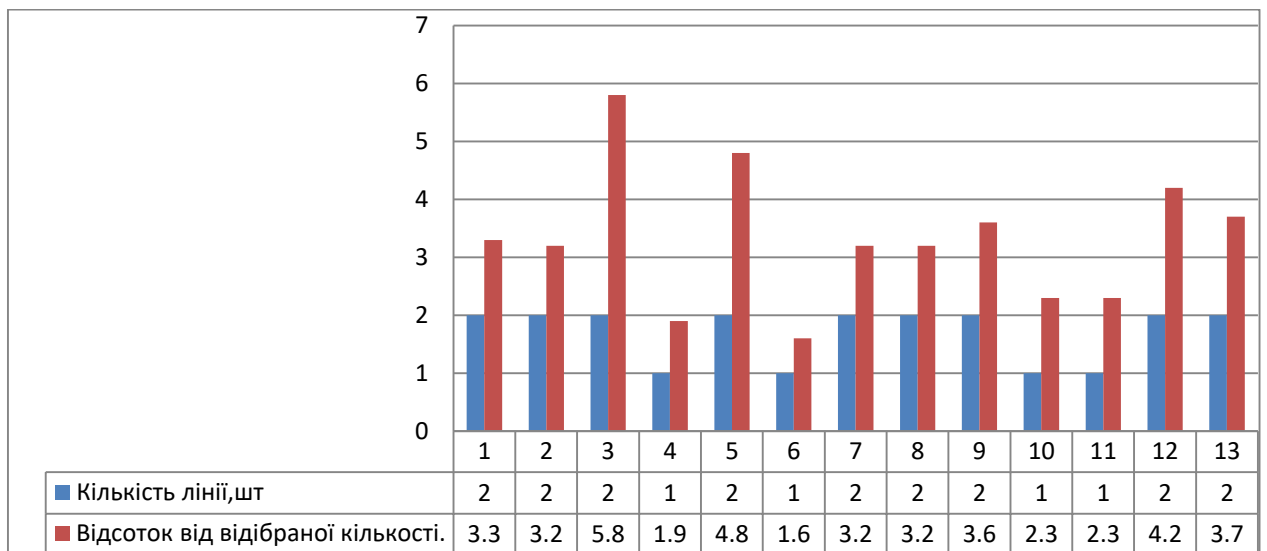
Ця тенденція спостерігалася і за врожайністю ліній, створених на базі потрійних схрещувань: лінії з геном *GPC-B1* мали в середньому рівень

врожайності 5,52 т/га для стандартних і 5,10 т/га для високобілкових ліній. У ліній з генами високої білковості від *A. tauschii* цей показник складав 5,13 і 4,72 т/га відповідно для стандартних і високобілкових ліній. Протилежна закономірність спостерігалась за вмістом білка: лінії з геном GPC-B1, створені на базі потрійних схрещувань, дещо поступалися за середнім значенням вмісту білка як для стандартних ліній – 11,8 і 12,1 %, так і для високобілкових ліній – 12,9 і 13,4 % відповідно. Отже, порівнюючи два напрями підвищення вмісту білка, можна зробити висновок, що лінії з геном GPC-B1 перевищують лінії з генами високобілковості від *A. tauschii* за показником седиментації на 16,5 %, за врожайністю на 8,2 %, але поступаються за вмістом білка в зерні на 9,7 %. Серед гібридних комбінацій з генами високобілковості від *A. tauschii* за вмістом білка можна віділити такі лінії, як (Зміна/E175_09 x F4//Мудрість) і ((2419/14 x Селянка) x (ES25 x Подяка)) з середнім вмістом білка в зерні у ліній в комбінаціях 14,1 % і 14,0 % відповідно. Серед гібридних популяцій, створених на базі ліній-донорів GPC-B1, можна виділити (12/61 GPC-B1 Оптима) x Мудрість і (13/11 GPC B1 x Оптима) x Мудрість з середнім вмістом білка в зерні у ліній в комбінаціях 13,4 %.

З отриманих результатів добору рекомбінантних ліній з донорами гена GPC-B1 та генів від *A. tauschii* (Додаток таблиця В. 5) можна зробити висновок, що при доборі ліній з підвищеним вмістом білка необхідна перевірка у наступних поколіннях для виявлення стабільних за цією ознакою генотипів. В цьому переконує відсоток кількості ліній з високим вмістом білка в зерні на другий рік досліджень. Для рекомбінантних ліній, створених на базі схрещувань з лініями-носіями гена GPC-B1, відсоток ліній, які підтвердили свою високобілковість в середньому по гібридних комбінаціях, був на рівні 16,8 %, тобто приблизно тільки кожна шоста лінія. Для рекомбінантних ліній, створених від схрещувань з лініями носіями генів від *A. tauschii*, відсоток ліній хоча і був вищий – 18,8 %, але це не мало

принципового значення. Тому, для повного виявлення кількості та якості трансгресії, рекомбінантні лінії були досліджені і наступного року.

За отриманими результатами в групі гібридних комбінацій, створених від парних схрещувань, було виділено 27 ліній F 5, які стабільно по роках мали підвищений вміст білка в порівнянні з сортом-стандартом та кращим батьківським компонентом (Додаток таблиця В. 1). Це відповідає 5,0 % від загальної кількості ліній (534 шт). Дослідження рекомбінантних ліній F5, створених від потрійних і складних схрещувань, які проводилися у 2022/23 вегетаційному році, дають можливість порівняти ефективність добору між дослідженими групами ліній (рис 5.1).



Примітка: 1 - 13/11 GPC-B1 x Оптима) x Мелодія; 2 - (13/11 GPC-B1 x Оптима) x Наснага; 3 - (13/11 GPC-B1 x Оптима) x Ветеран; 4 - (13/11 GPC-B1 x Оптима) x Мудрість; 5 - (12/61 GPC-B1 x Оптима) Мелодія; 6 - (12/61 GPC-B1 Оптима) x Мудрість; 7 - E234/09 x Мудрість F2; 8 - E234/09 x Ера F2; 9 - (2418/14 x Селянка) x (ES25 x Ваєтажок); 10 - (2419/14 x Селянка) x (ES25 x Подяка); 11 - 336ф/16В241 x 09/Е212; 12 - Зміна/Е175_09 x F4// Мудрість; 13 - Куяльник x (1161/16 x 1102/16).

Рисунок 5.2 – Порівняння ефективності добору між дослідженими групами гібридних комбінацій.

За отриманими даними, серед гібридних комбінацій, створених від складних схрещувань з носіями генів *A. tauschii*, кількість високобілкових ліній від початкових показників у селекційному розсаднику (363 шт.) у конкурсному сортовипробуванні склала 12 шт., або 3,2 % відповідно. По гібридних комбінаціях кількість високобілкових ліній не перевищувала 2-х

шт. на комбінацію, відсоток таких ліній від початкової кількості був у межах 2,3 – 4,2 %. Використання ліній-донорів гена GPC-B1 в гібридизації з сортами екстрасильними за якістю зерна пшениці забезпечує стабільне проявлення високобілковості зерна у лініях в кількості 10 шт., або 3,4 % відповідно. Як і в гібридних комбінаціях від складних схрещувань, кількість високобілкових ліній не перевищувала 2-х шт. на гібридну комбінацію. Відсоток таких ліній від початкової кількості був у межах 1,6 – 4,8 % залежно від гібридної комбінації. Для прискорення ідентифікації таких ліній можливе використання різних екологічних груп чи різних агрофонів.

Отже, внаслідок аналізу і добору рекомбінантних ліній, починаючи з покоління F 3, у F 5 були отримані лінії у кількості 27 шт. (5,0%) від парних ліній схрещувань, 10 шт. (3,4%) від потрійних схрещувань, 12 шт. (3,2%) від складних схрещувань. Ці лінії по роках стабільно перевищували за вмістом білка сорт-стандарт Куяльник та кращого з батьківських компонентів. Такі лінії проходять подальше вивчення в конкурсних екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах, як можливі кандидати для передання нового сорту до Державного сортовипробування.

5.3 Порівняльна характеристика напрямів селекційного залучення генетичних донорів високого вмісту білка зерна в місцевий генофонд.

З результатів, які були представлені вище, можна зробити висновок, що кожен із трьох напрямків залучення генів високої білковості є досить результативним та перспективним. Дослідження та добір рекомбінантних ліній від потрійних схрещувань з лініями носіями гена GPC – B1 та складних схрещувань з лініями носіями генів від *A. tauschii* проводилися в одному досліді. Це було можливо зробити через однакову генерацію рекомбінантних ліній двох напрямів. Під врожай 2023 року був закладений дослід, в якому вдалося поєднати одразу три підходи поліпшення біохімічної якості зерна,

що були представлені вище. Це було зроблено з метою з'ясування питання, який з цих підходів може виявитися найбільш ефективнішим. Окрім того, дослід охоплював поєднання контрастних фонів азотних мінеральних добрив і типів посіву.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що урожайність зерна рекомбінантних ліній знаходилась у межах 4,80 до 8,2 т/га (Додаток рисунок В. 6). Найвища врожайність зерна спостерігалась у варіанті N 120 при суцільному способу посіву – 7,21 т/га в середньому по гібридних комбінаціях. У варіанті N 60 цей показник склав 6,15 т/га, різниця складала 1,06 т/га, що відповідає 17,2 % (при $HP_{0,05}$ по фактору А 0,43 т/га.). Додано при врожайності, в середньому, по гібридних комбінаціях за фактором А варіант з суцільним посівом склав 6,68 т/га, а з розрідженням – 6,48 т/га. Різниця за врожайністю між варіантами склала 0,20 т/га (при $HP_{0,05}$ по фактору С 0,43 т/га.), тобто не була істотною. Одже, незважаючи на те, що майже всі гібридні комбінації, окрім деяких випадків, мали вищу врожайність у варіантах з суцільним типом посіву, та ця перевага не перевищувала рівня вірогідності, тоді як збільшення дози мінеральних добрив призводило до істотного зростання врожайності.

Нашими дослідженнями встановлено, що гібридні популяції, отримані від парних та потрійних схрещувань місцевих сортів і ліній з геном GPC-B1, мали найвищу врожайність. Найвищий середній показник врожайності по гібридних комбінаціях, отриманих від парних схрещувань ліній з геном GPC-B1, був на рівні 7,85 т/га у варіанті суцільного посіву та дозі внесення добрив N 120, найнижчий середній показник було виявлено у варіанті N 60 з показником 6,34 т/га.

За аналогічних умов у гібридних популяціях від потрійних схрещувань ліній з геном GPC-B1, врожайність була у межах 6,25 – 7,61 т/га. Середня врожайність гібридних комбінацій з парними схрещуваннями за фактором В склала 7,06 т/га, у потрійних схрещуваннях цей показник склав 6,90 т/га. Таким чином, з різницею в 0,16 т/га (при $HP_{0,05}$ по фактору В 0,23 т/га.)

різниця була несуттєва. Врожайність рекомбінантних ліній з генами від *A. tauschii* в середньому по гібридних комбінаціях, в залежності від дози добрив та типу посіву, була в межах 5,29 – 6,77 т/га з середнім значенням 6,09 т/га.

Врожайність рекомбінантних ліній з геном GPC-B1, отриманих від парних схрещувань, була менша на 0,97 т/га (відповідно 15,0 %) та від потрійних схрещувань – на 0,81 т/га (відповідно 13,3 %) при $NP_{0,05}$ по фактору В 0,23 т/га. Серед найбільш врожайних гібридних комбінацій за фактором С можна виділити: Ер 12/66 X Кантата од. – 7,43 т/га, (12/61 GPC-B1 x Оптима) x Мелодія – 7,37 т/га, Ер 12/19 X Оранта од. – 7,27 т/га.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що на відміну від дії доз добрив, типи посівів (суцільний та розріджений) не мали суттєвого впливу на врожайність досліджених ліній. Найбільша врожайність спостерігалася у гібридних комбінаціях від парних та потрійних схрещувань з геном GPC-B1.

Як і в попередні роки, головним фактором добору і оцінки рекомбінантних ліній був вміст білка в зерні. З отриманих результатів досліджень показника вмісту білка в зерні видно позитивну реакцію на внесення азотних мінеральних добрив (Додаток таблиця В. 7). Середній по гібридних комбінаціях та типом посіву вміст білка у варіанті N 120 був 11,8 %, тоді як у варіанті N 60 – 10,3 %. Різниця між варіантами була на рівні 1,5 % (відповідно 14,5 %) при $NP_{0,05}$ по фактору С 0,4 % різниця між варіантами була суттєва. Значний вплив на вміст білка в зерні мав й тип посіву. Так, достовірно вищий вміст білка було встановлено у варіанті розрідженого посіву (з шириною міжряддя 15 см). Середній вміст білка в зерні у варіанті з розрідженим посівом дорівнював за фактором С – 11,3 %, тоді як у варіанті суцільного посіву цей показник склав 10,8 % з різницею між варіантами в 0,5 % (що відносно 4,6 %) при $NP_{0,05}$ по фактору С 0,4 % різниця була істотною. Таким чином, можна стверджувати, що на відміну від врожайності, тип посіву дослідних рекомбінантних ліній мав значний

вплив на вміст білка в зерні. Варіант з розрідженим посівом забезпечував більший вміст білка в зерні, ніж варіант з суцільним типом посіву.

Внаслідок аналізу отриманих даних за вмістом білка в рекомбінантних лініях, поділених за селекційними напрямками, можна стверджувати, що дослідні лінії з генами високої білковості від *A. tauschii* в середньому по гібридних комбінаціях мали вміст білка 11,4 %. У групі рекомбінантних ліній, створених у парних схрещуваннях, вміст білка був на рівні 10,7 %, у групі потрійних комбінацій – 11,0 %. Отже, в середньому по гібридних комбінаціях група ліній, створена від складних схрещувань, перевищувала за вмістом білка групу ліній, створених від парних схрещувань на 0,7 % (відносно 6,5 %), а групу від потрійних схрещувань на 0,4 % (відносно 3,6 %), при $HP_{0,05}$ по фактору В 0,2 % різниця була істотною. Серед гібридних комбінацій найбільший вміст білка в середньому за фактором В мали лінії (2418/14 x Селянка) x (ES25 x Вавтажок) – 11,9 %, 336ф/16B241 x 09/E212 – 11,8 %, E234/09 x Мудрість F2 11,7 %.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що окрім внесення азотних мінеральних добрив, позитивний вплив на вміст білка в зерні мав ще тип посіву. При однакових варіантах удобрення, розріджений посів дає істотно більший вміст білка в зерні. Найвищий вміст білка було отримано у напрямі досліджень із залученням генів високої білковості від *A. tauschii*, що робить цей напрям найбільш перспективним щодо покращення біохімічних показників зерна.

Отримання зерна з відповідними якісними характеристиками є дуже важливим, оскільки спосіб їх формування визначає напрямок використання зерна - на продовольчі чи кормові цілі. Тому важливо визначити умовний вихід білка з одиниці площі, оскільки цей показник є розрахунковим і залежить як від урожайності зерна, так і від вмісту білка. Ми визначили цей показник і представляємо результати розрахунку в (Додаток таблиця В. 8.).

Як свідчать наведені дані, умовний вихід білка з гектара посіву зростає в залежності від застосування мінеральних добрив. Кількість зібраного білка

у варіанті N 120 в за фактором А була в межах 0,7 – 0,93 т/га з середнім показником 0,86 т/га, тоді як у варіанті N 60 за аналогічних умов цей показник був у межах 0,5 – 0,72 т/га, з середнім показником 0,64 т/га. Різниця між варіантами склала 0,22 т/га, або 34,3 %, при $HP_{0,05}$ по фактору А 0,13 т/га і ця різниця була істотна. Щодо типу посіву, то суттєвих змін за середніми показниками по комбінаціях не було виявлено. Але якщо розглядати кожен гібридну комбінацію окремо, то виявлено кілька представників із значною різницею. Це – гібридні комбінації (Er 12/18 x Оптима од.) – 0,80 й 0,70 т/га; (Er 12/19 x Оранта од.) – 0,80 й 0,73 т/га.

Аналізуючи умовний збір за гібридними комбінаціями, можна зробити висновок, що за цим показником суттєвих відмінностей не спостерігалось. Так, у групі ліній, створених від парних схрещувань, за фактором В умовний збір склав – 0,76 т/га, тоді як за аналогічних умов цей показник у групі ліній, створених від потрійних схрещувань, був на рівні 0,75 т/га та 0,73 т/га в залежності від складних схрещувань. У сорту стандарту Куяльник цей показник був 0,67 т/га. Враховуючи, що при $HP_{0,05}$ по фактору В різниця між варіантами склала 0,07 т/га, можна стверджувати, що суттєвої різниці між напрямками селекційного покращення біохімічної якості зерна за показником умовного збору білка немає. Істотна різниця, в порівнянні з сортом-стандартом, була встановлена для груп гібридних комбінацій, створених від парних і потрійних схрещувань. Попри те, що в середньому гібридні комбінації, створені від складних схрещувань, мали найнижчий умовний збір білка, при аналізі окремо по гібридних комбінаціях виявлено, що саме представник групи складних схрещувань мав найбільшу величину цього показника. До гібридних комбінацій з найвищим умовним збором білка можна віднести такі: Зміна/E175_09 x F4//Мудрість – 0,81 т/га; (12/61 GPC-V1 x Оптима) Мелодія – 0,80 т/га; Er 12/66 X Кантата од. 0,80 т/га.

Підсумовуючи отримані результати, можна зробити висновок: значний вплив на умовний збір білка мали дози азотних мінеральних добрив, в той же час у більшості випадків різниця від типу посіву була неістотною. Дві групи

гібридних популяцій від парних і потрійних схрещувань мали значне перевищення над сортом-стандартом.

5.4 Агробіологічна характеристика відібраних високобілкових рекомбінантних ліній.

Після отримання результатів вищезазначених дослідів були відібрані рекомбінантні лінії, які стабільно по роках перевищували як сорти-стандарт, так і кращі батьківські компоненти за такими показниками, як висота рослин, дата колосіння, стійкість до хвороб, врожайність та вміст білка в зерні.

Будучи лише однією з багатьох особливостей сучасного селекційного матеріалу, саме короткостебловість стала своєрідним показником його інтенсивності. У КСВ всі дослідні рекомбінантні лінії істотно відрізнялися за датою колосіння, зовнішнім виглядом, висотою рослин, але переважно вони були більш ранньостиглими та високорослими, ніж сучасні сорти (Додаток таблиця В. 9 – 10). Висота рослин у досліджених рекомбінантних ліній коливалась від 95 до 110 см, тоді як сорт-стандарт Куяльник мав висоту на рівні 95 см.

Дата колосіння у рекомбінантних ліній наставала на 1 – 3 дні раніше, ніж у сорту-стандарту, особливо це проявлялося у групах ліній від парних і потрійних схрещувань. Для більшості рекомбінантних ліній, створених на базі схрещувань з лініями носіями гена *GPC-B1*, це – 14 травня, що на 2 дні раніше, ніж у сорту-стандарту. Для ліній, створених на базі складних схрещувань з носіями генів від *A. tauschii*, колосіння наставало в межах 14 – 16 травня.

Селекційна оцінка показала, що серед похідних усіх джерел методом індивідуального добору вдалося отримати різноманіття матеріалу за морфобіологічними ознаками і широкий розмах трансгресивної мінливості за продуктивністю та деякими показниками якості зерна. Залежно від

походження матеріалу, зокрема типу схрещувань та генетичних джерел, отримані лінії істотно відрізнялися за рівнем стійкості до хвороб.

З високою частотою виділялися лінії, які в даних умовах перевершували сорти-стандарт за окремими агрономічними ознаками (урожайністю, вмістом білка, показником седиментацією) або їхнім комплексом.

Рекомбінантні лінії досліджувалися на стійкість до грибних хвороб, в першу чергу до бурої іржі. Оцінка проводилася за 10 бальною шкалою, де 1 бал, це – повна стійкість, 10 балів – повна сприйнятливість. Середній показник стійкості в групі ліній від парних схрещувань був на рівні 5,8 балів при рівні стійкості Куяльника у 7 балів. Найвищу стійкість до бурої іржі проявили лінії Ег 76/21 – 4 бали, Ег 128/21 – 4 бали, Ег 171/21 – 4 бали. Серед ліній від потрійних схрещувань, середній показник стійкості був на рівні 6 балів, серед рекомбінантних ліній можна виділити Ег 805/22 з оцінкою в 5 балів. Найбільша стійкість спостерігалась у ліній, створених від потрійних схрещувань з середнім показником 4 бали.

Внаслідок оцінювання за врожайністю відібраних ліній від парних схрещувань були отримані результати, які дають змогу стверджувати, що за середніми за дворічними показниками врожайності по групі ліній (66,4 т/га) вони поступалися сорту-стандарту з показником 72,7 т/га. Але була виділена лінія Ег 33/21, яка за цим показником перевищувала сорт-стандарт з врожайністю 74,9 т/га, а також ще дві лінії, що мали наближений до стандарту рівень продуктивності (Ег 80/21 – 71,5 т/га; Ег 237/21 – 71,1 т/га). Група ліній від потрійних схрещувань за середнім за дворічними показником врожайності (67,6 т/га) поступалася сорту-стандарту (68,7 т/га).

Але як і в попередньому випадку, були окремі лінії, що перевищили сорт-стандарт за цим показником (Ег 801/22 – 69,6 т/га; Ег 804/22 – 68,4 т/га). Серед ліній з групи складних схрещувань не було представників, які змогли суттєво перевищити до сорт-стандарт або наблизитися. Серед найбільш врожайних можна виділити Ег 814/22 – 65,5 т/га; Ег 817/22 – 64,4 т/га.

Аналізуючи отримані дані за вмістом білка, можна стверджувати, що всі відібрані лінії стабільно перевищували сорт-стандарт. Так, середній вміст білка у групі ліній від парних схрещувань за роками і варіантами внесення добрив становила 10,9 %, тоді як за аналогічних умов у сорту-стандарту цей показник був 10,5 %, тобто на 0,4 % менше. Серед ліній з найбільшим вмістом білка можна виділити Er 60/21 – 11,6 %; Er 171/21 – 11,5%; Er 275/21 – 11,3 %, які перевищують стандарт на 7,6 – 10,4 %.

У групі ліній від потрійних схрещувань середній вміст білка за роками дослідження і варіантами внесення добрив становив 11,4 %, що в свою чергу відносно більше, ніж у сорту-стандарту, на 7,6 % та на 4,5 % ніж у групи ліній від парних схрещувань. Серед ліній з найбільшим вмістом білка можна виділити лінію Er 804/22 – 11,6 %, яка перевищувала за цим показником на 10,4 % сорт-стандарт та була на одному рівні з кращою лінією від парних схрещувань.

З отриманих результатів по вмісту білка в зерні ліній із групи складних схрещувань можна зробити висновок, що ці лінії мали в середньому по роках і варіантах внесення добрив найвищий рівень вміст білка в зерні – 12,2 %. Це відносно на 15,0 % більше, ніж у стандарту, а також на 11,9 % більше, ніж у ліній від парних схрещувань, і на 7,0 % – ніж у ліній від потрійних схрещувань. Серед кращих ліній за вмістом білка можна виділити Er 882/22 – 12,7 % та Er 862/22 – 12,5 %, що в свою чергу більше на 8,6 %, ніж у кращих ліній від парних схрещувань.

Як зазначалося вище дані досліді які висвітлені в цьому розділі були розпочаті з метою залучення в місцевий генофонд гена GPC-B1. Для досягнення мети був проведений молекулярно-генетичний аналіз на наявність цього гена в лініях які були відібрані за комплексом господарсько цінних ознак. Під час вегетації в фази наливу зерна з кожної відібраної ділянки були взяті зразки листків з випадково відібраних рослин в кількості 3 шт.

З групи ліній створених на базі парних схрещувань відібрали 14 лінії за результатом аналізу 4 лінії (28,5 %) підтвердили наявність гена *GPC-B1*. Це лінії Er 33/21, Er53/21, Er70/21, Er76/21. Ці лінії в середньому мали 11,5 % білку в зерні перевищуючи сорт стандарт Куяльник, при вмісті білка в зерні 10,8 %, на 0,7 %, що відносно 6,8 %, при $NP0,05$ по фактору В 0,2 % (Додаток таблиця В. 9 – 10). При врожайності Куяльника в 77,4 т/га, дві лінії мали більшу врожайність: Er 33/21 – 81,8 т/га й Er 70/21 – 79,7 т/га, що на 4,4 т/га й 3,3 відповідно більше, при $NP0,05$ по фактору В 0,23 т/га. З групи ліній створених від потрійних схрещувань за комплексом господарсько цінних ознак відібрали 7 лінії з яких за результатами молекулярно-генетичного аналізу 2 (28,5 %) лінії мали ген *GPC-B1*. Це лінії Er 804/22 та Er 805/22, які при врожайності 78,0 і 79,6 т/га, дещо поступалися чи були на рівні зі стандартом Куяльником. Хоча за вмістом білка в зерні перевищували стандарт на 0,9 %.

Враховуючи те, що нашою метою є отримання ліній не тільки з високим вмістом білка, але й відповідними хлібопекарськими властивостями, в результаті добору було вибрано 21 дослідних ліній для перевірки реологічних властивостей тіста на альвеографі (табл. 5.7). За допомогою цього аналізу досліджуються такі показники тіста, як пружність, еластичність (Р) та розтяжність (L). Дуже важливим показником для прямої оцінки хлібопекарської якості борошна пшениці є «сила» борошна (W) (за альвеографом).

За результатами досліджень можна виділити чимало ліній, а саме: Er 86/21 - (Er 12/17 x Нива од.), Er 76/21 - (12/21 x Кантата), Er 126/21- (Er 12/53 x Нива од.), Er 805/22 - (12/61 x Оптима Мелодія), Er 805/22 - (Зміна/E175_09F4//Мудрість). Ці лінії не тільки перевищили за дослідженими показниками хлібопекарської якості сорти-стандарти, але й батьківські компоненти.

У підсумку, можна зробити висновки, що відібрані лінії, створені із залученням генів від *A. tauschii* та гена *GPC-B1*, мають ряд корисних

агробіологічних характеристик, таких як ранньостиглість, стійкість до бурі і іржі та, в деяких випадках, врожайність на рівні чи вище сорту-стандарту. За головним показником (вмістом білка в зерні) рекомбінантні лінії стабільно по роках і варіантом внесення добрив перевищували сорт-стандарт та, в деяких випадках, батьківську лінію (з геном *GPC-B1*).

Таблиця 5.7

Результати дослідження реологічних властивостей тіста на альвеографі у ліній з геном *GPC-B1*

№	Назва лінії	Білок	Ie%	W	P1	L	P1/L
1	Б.К. <i>GPC-B1</i> (12/17)	11,3	69	252	113	53	2.13
2	Б.К. Нива	10,5	69	131	91	34	2.67
3	Er 28/21	11.0	63	234	90	66	1.36
4	Er 33/21	10,7	69	291	98	69	1.42
5	Er 37/21	11.1	61	208	85	65	1.31
6	Er 53/21	11.3	67	167	73	58	1.26
7	Er 60/21	11.6	66	243	91	68	1.33
8	Er 70/21	10.7	66	133	88	35	2.51
9	Er 76/21	10,9	59	265	89	85	1.05
10	Er 80/21	10,6	62	232	97	63	1.53
11	Er 83/21	10.7	62	186	97	46	2.1
12	Er 126/21	10,7	70	230	81	67	1.21
13	Куяльник	10,5	61	199	83	64	1.3
14	Er 906/22	11,3	58	173	76	62	1.23
15	Er 801/22	11,8	62	267	90	82	1.1
16	Er 804/22	11,7	63	253	89	74	1.2
17	Er 805/22	11,8	66	342	90	102	0.88
18	Er 808/22	12,9	63	292	84	97	0.87
19	Er 814/22	12,5	60	160	68	62	1.1
20	Er 816/22	12,6	60	182	101	45	2.24
21	Er 817/21	12,4	68	273	96	70	1.37
22	Er 882/21	13,0	65	324	105	82	1.28
23	Er 861/22	12,5	65	206	83	62	1.34
24	Er 862/22	12,7	65	140	94	36	2.61

Висновки до розділу 5

1. Внаслідок розробки методичних прийомів введення гена GPC-B1 та іншого інтрогресивного матеріалу в місцевий генофонд пшениці м'якої озимої встановлені наступні закономірності: А) Виявлена значно вища диференціація за показниками якості зерна у варіанті зі збільшеною дозою добрив, внаслідок чого підвищується ефективність добору; Б) Використання розрідженого посіву (ширина міжряддя 30 см) у поєднанні з високим агрофоном азотних мінеральних добрив дає змогу ефективно виявляти генотипи з високим вмістом білка.

2. Для створення не тільки високобілкового вихідного матеріалу, а також і сортів, необхідно дотримуватися наступного алгоритму дій: А) Визначення білка з використанням інфрачервоного аналізатора на первинних ланках селекції (F3-5) з подальшою перевіркою методом К'ельдаля; Б) Визначення рівня седиментації методом SDS-30 на первинних ланках селекції (F3-5) з подальшою перевіркою реологічних властивостей тіста на альвіографі (F5-6).

3. Внаслідок аналізу і добору рекомбінантних ліній, починаючи з покоління F 3, в F 5 були отримані високобілкові лінії в кількості 27 шт. (5,0%) від парних схрещувань, 10 шт. (3,4%) від потрійних схрещувань, 12 шт. (3,2%) від складних схрещувань. Ці лінії стабільно по роках перевищували за вмістом білка сорт-стандарт Куяльник та кращий батьківський компонент. Такі лінії проходять подальше вивчення в конкурсних екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах як можливі кандидати для передання нового сорту до Державного сортовипробування.

4. Порівняння всіх трьох напрямків поліпшення біохімічної якості зерна пшениці дало змогу встановити, що найбільшу врожайність мають гібридні комбінації від парних схрещувань із залученням гена GPC-B1. За рівнем білка в зерні найкращий результат був у гібридних комбінацій від складних схрещувань з *A. tauschii*. За умовним збором білка всі три групи

гібридних комбінацій мали однакові результати, що робить ці напрями рівнозначно перспективними для поліпшення біохімічних показників якості зерна.

Результати досліджень з даного розділу висвітлені в наукових

Працях:

1. Фанін Я. С., Литвиненко М. А. Дослідження ліній пшениці озимої м'якої від парних схрещувань місцевих сортів з лініями донорами гена GPC-B1. *Аграрні інновації*, 2023 № 20. С. 105-111. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.16> (Частка участі здобувачем – 50 %; Здобувачем проведено дослід, проаналізовано літературні джерела і отримані результати).

2. Замбріборщ І.С., Шестопап О.Л., Чекалова М. С., Фанін Я.С., Литвиненко М.А. О.І. Оцінка гаплопродукційного потенціалу в культурі пиляків *in vitro* генотипів пшениці м'якої озимої, що є носіями гена Gpc-B1. Матеріали наукової конференції «Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи» м. Одеса, 26 жовтня 2022 р. Одеса, 2022. С. 170-171 (20 % авторства: ідея та узагальнення результатів)

3. Фанін Я.С., Литвиненко М.А., Молодченкова О.О. Проявлення ефектів генів підвищеного вмісту білку GPC-B1 та від *A. Tauschii* в зерні рекомбінантних ліній м'якої пшениці. Матеріали наукової конференції «Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи» м. Одеса, 26 жовтня 2022 р. Одеса, 2022. С. 77-78 (60 % авторства: ідея, отримання результатів, аналіз та узагальнення результатів, написання).

ВИСНОВКИ

У дисертації здійснено теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження можливої реалізації по сутті нової програми селекції, наукової й направленої на вирішення селекційно-генетичними методами надважливої народно-господарської проблеми підвищення рівня білковості зерна пшениці м'якої озимої та інших його біохімічних якостей.

1. В результаті ретроспективного аналізу сучасних селекційних досягнень за результатами вивчення найбільш розповсюджених сучасних вітчизняних та закордонних сортів пшениці м'якої озимої встановлено, що їхня врожайність в експерименті була на рівні 5,88 – 6,77 т/га, це в 1,32 – 2,25 рази більше, ніж у сортів ранніх етапів селекції. Виділені кілька головних чинників, що вплинули на значний приріст врожайності в порівнянні з сортами попередніх етапів селекції. а) збільшення зернової частки у її співвідношенні з вегетативною масою від 32 – 40 % до 42 – 48 %, що стало можливим завдяки зменшенню висоти рослин в межах 19,1 – 26,5 %; б) достовірно встановлено збільшення маси зерна з одного колоса на 76 – 94 %; в) у сортів СГІ-НЦНС 24,8 % та 12,3 % сортів вітчизняної селекції мали достовірне перевищення над сортами ранніх етапів селекції за показником маси 1000 зерен серед сортів; г) підвищення позитивної реакції на внесення азотних мінеральних добрив.

2. Установлено зниження вмісту білка в зерні у сучасних сортів в порівнянні з сортами ранніх етапів селекції від 10,4 до 14,8 %. Найменша різниця за вмістом білка у зерні спостерігалась між сортами ранніх етапів селекції та групою сортів з Українських установ. Найбільша різниця за вмістом білка у зерні спостерігалась у сортів іноземної селекції: у двох варіантах внесення добрив різниця склала – 14,8 %.

3. За показником рівня седиментації сорти сучасної селекції в середньому по групах поступалися сортам ранніх етапів селекції.

Виключенням був рівень седиментації сортів Української селекції у варіанті внесення добрив N 60. Встановлений високий позитивний рівень кореляції між вмістом сирого протеїну та рівнем седиментації в різних групах сортів в межах $r = 0,77 - 0,98$. Рівень седиментації зменшувався в середньому по сортах (від сортів СГІ-НЦНС до сортів іноземної селекції) від 7,1 % до 34,8 % у відносних величинах.

4. В колекції інтрогресивних ліній з геном GPC-B1 та генами високої білковості від *A. tauschii* виділені лінії, які мали врожайність на рівні, або й більшу, ніж найурожайніші сорти-стандарти: AIL96ф/18, E 1089-19, NIL4, Eг 9155 та Eг 9200. Виявлено, що в оптимальних умовах року наявність гена GPC-B1 достемено не призводила до зменшення врожайності, а при дефіциті вологи спостерігалось зниження цього показника у відносних величинах на 8,2 – 10,2 %.

5. Нові генетичні джерела – ген GPC-B1 та гени від *A. tauschii* є ефективними донорами удосконалення пшениці м'якої озимої за вмістом білка, показником седиментації та інших біохімічних показників якості зерна. Всі лінії з геном GPC-B1 мали показник вмісту протеїну більший на 1,5 – 2,0 %. В залежності від року і варіанту внесення добрив, у кращому випадку 50 % із досліджених ліній мали вміст білка більше, ніж сорти – стандарти. Серед них можна виділити E 1598/12, PIL814/13, AIL379/18 та F268-14. Лінії-носії гена GPC-B1 перевищували за рівнем седиментації в середньому на 19-19,4 мл сорти-стандарти, на 9,5 - 9,8 мл – лінії з генами від *A. tauschii* та 8,4-12,0 мл – сестринську лінію без гена GPC-B1. В інтрогресивних лініях з геном GPC-B1 встановлено збільшення вмісту мікроелементів – заліза та марганцю.

6. Установлено достовірну перевагу зменшення як накопичення, так і у реутилізації азотовмісних сполук у ліній носіїв гена GPC-B1 в порівнянні з сестринською лінією без гена GPC-B1 у відносних величинах у межах 2,7 – 45,0 % залежно від року та дози добрив. Також встановлена різниця (в межах

13,0 – 54,6 % відносних величин) у реутилізації азоту в листках і стеблах між лінією носієм гена GPC-B1 і сортами носіями таких генетичних систем, як гени короткостебловості, пшенично-житні транслокації, алелі носії високих хлібопекарських показників. Виявлений вплив гена GPC-B1 на реутилізацію азоту, що пояснює природу підвищеного вмісту сирого протеїну в зерні генотипів за дії цього гена. Ці особливості накопичення та реутилізації азотовмісних сполук та формування якості зерна у ліній носіїв гена GPC-B1 можуть бути використані в якості маркера фенотипової ідентифікації цього гена.

7. Розроблені методичні прийоми введення гена GPC-B1 та іншого інтрогресивного матеріалу в місцевий генофонд пшениці м'якої озимої. Встановлені наступні закономірності: а) виявлена значно більша диференціація за показниками якості зерна при підвищених дозах добрив, внаслідок чого зростає ефективність добору; б) використання розрідженого посіву (ширина міжряддя 30 см) у поєднанні з високим агрофоном азотних мінеральних добрив дає змогу ефективно виявляти генотипи з високим вмістом білка; в) алгоритм лабораторних досліджень: визначення білка з використанням інфрачервоного аналізатора на первинних ланках селекції (F3-5) з подальшою перевіркою методом К'ельдаля, рівня седиментації методом SDS-30 на первинних ланках селекції (F3-5) з подальшою перевіркою реологічних властивостей тіста на альвеографі (F5-6) дає можливість створити вихідний матеріал з підвищеним вмістом білка та показниками якості сильних пшениць.

8. Внаслідок реалізації програми селекції на поліпшення біохімічних показників зерна, яка передбачала введення гена GPC-B1 та іншого інтрогресивного матеріалу в місцевий генофонд, були відібрані 49 ліній. Від трьох напрямків селекційного процесу відібрані 27 ліній від парних схрещувань, 10 ліній від потрійних схрещувань, 12 ліній від складних схрещувань. Ці лінії стабільно по роках перевищували за вмістом білка сорт

стандарт Куяльник та кращий батьківський компонент. Такі лінії далі проходять подальше вивчення в конкурсних екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах, як можливі кандидати для передання нового сорту до Державного сортовипробування.

ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ТА ВИРОБНИЦТВА.

1. Для підвищення генетичного потенціалу біохімічної якості зерна та створення сортів з високими хлібопекарськими показниками слід залучати у схрещування генотипи з генами від *A. tauschii* та геном GPC-B1.

2. Використання оптимізованої схеми селекційного процесу, яка містить систему агротехнічних прийомів та серію біохімічних та технологічних аналізів, дозволяє ефективно створити вихідний або сортовий матеріал з поліпшеними біохімічними показниками якості зерна.

3. Виявлені особливості накопичення та реутилізації азотовмісних сполук та формування якості зерна у ліній-носіїв гена GPC-B1 зменшення вмісту азотовмісних сполук в листках і стеблах можуть бути використані як маркер фенотипової ідентифікації цього гена.

4. Продовжити вивчення відібраних 27 оригінальних селекційних ліній з підвищеним вмістом білка в зерні (перевищують батьківські компоненти за цим показником на 1,5–2,0%) та відмінними хлібопекарськими показниками в конкурсних, екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах, як імовірних кандидатів для передачі до Державного сортовипробування у вигляді сортів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сухоставець, А. І., Соловей, М. С. Сучасні тенденції розвитку виробництва зерна в Україні та світі. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Економіка і менеджмент*, 2019. № 1. Р. 60-66.
2. Belderok B. Bread-making quality of wheat: A Century of Breeding in Europe B. Belderok, J. Mesdag, D. Donner. *Springer Science & Business Media*. 2000. V.3. P. 1 – 416.
3. Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A., Fenelon, M. & Tiwari, B. (2017). Future proteinsupply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *A review. Foods. g Ltd.*, 2010. P. 1-21
4. Бурлака О. М. Сорочинський Б. В. Біофортифікація сільськогосподарських рослин. *Біотехнологія*. – 2010. №5. С. 31 – 42.
5. Al. Toma1 A., Volta U., Auricchio R., Castillejo G., Sanders D.S., Cellier C., Mulder C.J., Lundin K.E.A. European Society for the Study of Coeliac Disease (ESsCD) guideline for coeliac disease and other glutenrelated disorders European Society for the Study of Coeliac Disease (ESsCD) guideline for coeliac disease and other gluten-related disorders. *United European Gastroenterology Journal*. 2019. Vol 7(5). P. 583–613.
6. Забарна, Ю. В. Понятійно-категорійна сутність глобальної продовольчої безпеки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*. 2013 № 181: С 162-167.
7. Малахова, Л. В. Шляхи подолання прихованого голоду як складової глобальної продовольчої проблеми. *Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм* 2013 № 2. С. 86-89.

8. Padmanaban, S., Zhang, P., Hare, R.A., Sutherland, M.W., and Martin, A., Pentaploid wheat hybrids: applications, characterisation and challenges. *Front. Plant Sci.*, 2017, Vol. 8, P. 1–11, doi.org/10.3389/fpls.2017.00358.
9. Tabbita, F., Lewis, S., Vouilloz, J.P., Ortega, M.A., Kade, M., Abbate, P.E., and Barneix, A.J. Effects of the Gpc-B1 locus on high grain protein content introgressed into Argentinean wheat germplasm. *Plant Breed.* 2013, Vol. 132, No. 1, P. 48–52, doi.org/10.1111/pbr.12011.
10. Каленська, С. М., and О. І. Шутий. "Формування продуктивності та якості пшениці твердої ярої залежно від мінерального живлення у Правобережному Лісостепу України." *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. №3. С. 19-24.
11. Petrychenko V. F., Lykhochvor V. V. Roslynyntstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2020. 806 s.
12. Рибалка О. І., Моргун Б.В., Починок В. М., Сучасні дослідження якості зерна пшениці у світі: генетика, біотехнологія та харчова цінність запасних білків. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. – 2012. – Т. 44, №1. – С. 3-22.
13. Стандарт ДСТУ 3768: 2019 «Пшеница. Технические условия»
14. Ivanov N.N. The chemical composition of the wheats of USSR. Results of geographical experiments in 1923–1926. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii Proceedings on Applied Botany. *Genetics, and Breeding*. 1928-1929. XXI(4) P. 47-320.
15. Кирпа, М. Я. Якість зерна пшениці і її основні чинники. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2013. № 9. С.7-16.

16. Моргун В.В., Рибалко О.І. Стратегія генетичного поліпшення зернових злаків з метою забезпечення продовольчої безпеки, лікувально-профілактичного харчування та потреб переробної промисловості. *Вісник НАН України*. 2017. № 3. С. 54–64.

17. Vasylenko, N. V., Pravdziva, I. V., Zamlila, N. P., Volohdina, N. V., & Koliuchyi, V. T. Фактори впливу на якість зерна та борошна нових сортів пшениці м'якої озимої. З.«Сила» борошна та її складові. *Миронівський вісник*. 2018 .№ 4. С.142-151.

18. Герман, М. М., О. В. Міщенко. Динаміка накопичення сухої речовини зерна пшениці м'якої озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. С. 14-16.

19. Созинов А.А., Стельмах А.Ф. Рыбалка А.И. Гибридологический и моносомный анализ глиадинов у сортов пшеницы. *Генетика*. 1978. № 11. С. 1955 – 1960.

20. Радченко, О. М. Поліморфізм сортів м'якої пшениці за локусами низькомолекулярних глютенінів. *Физиология растений и генетика* 2018. № 50.(1). Р. 66-76.

21. Рибалка О.І. Генетичне поліпшення якості пшениці: Автореф. дис. д-ра біол. наук. Одеса, 2009. 44 с

22. Lawrence G., Shepherd K. Chromosomal location of genes controlling seed proteins in species related to wheat. *Theor. Appl. Genet.* 1981. 59. Р. 25 – 31.

23. Payne P., Holt L., Jackson E. et al. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1984. 304. Р. 359 – 371.

24. Рибалка О.І. Якість пшениці та її поліпшення. — К.: Логос, 2011. — 496 с

25. 82. Пат. № 17023 Україна, (2006) А01Н 1/04. Спосіб непрямой оцінки «сили» борошна – седиментація SDS-30 / О. І. Рибалка, М. В. Червоніс, М. Г. Парфентьев, Д. В. Аксельруд; патентообладатель Селекційно-генетичний інститут. – №u200610062; заявл. 06.02.2006; опубл. 15.09.2006; Бюл. №9. – 6 с.

26. Mujeeb-Kazi A., GulKazi A., Dundas I., Rasheed F., Ogbonnaya F., Kishii, M., Bonnett, D., Wang, R. R.-C., Xu, S., Chen, P., Mahmood, T., Bux, H., and Farrakh, S., Chapter four-genetic diversity for wheat improvement as a conduit to food security, *Advances in Agronomy*. 2013. Vol. 122, P. 179–257. doi.org/10.1016/B978-0-12-417187-9.00004-815.

27. Sherman J., Souza E., See D. & Talbert L. Microsatellite markers for kernel color genes in wheat. *Crop Science*. 2008. Vol 48. P. 1419-1424.

28. Guo Z., Xu P., Zhang Z. & Guo Y. Segregation ratios of colored grains in F1 hybrid wheat. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2012. Vol 12. P.126-131.

29. Nandy S., Chen Q., Cheng Sun Sh., Ahmad F., Graf R. & Kereliuk G. Nutritional analyses and their inheritance properties in colored wheat seed lines from different origins using near-infrared spectroscopy. *Amer. J. Plant Sci. Biotech*. 2008. Vol 2. P. 74-79.

30. Ivanov N.N. The chemical composition of the wheats of USSR. Results of geographical experiments in 1923–1926. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii Proceedings on Applied Botany. *Genetics, and Breeding*. 1928-1929. XXI(4) P. 47-320.

31. Ivanov N.N. Problema belka v rastenievodstve. *Protein Problem in Plant Industry*. Moscow, Leningrad, OGIz-Selhozgiz Publ. 1947. P. 230.

32. Ivanov N.N., Knyaginichev M.I. Biokhimiya pshenitsy. Wheat biochemistry. Biokhimiya kulturnykh rasteniy. *Crop Biochemistry*. Moscow; Leningrad, Selhozgiz Publ. 1936 P. 5-86.

33. Knyaginichev M.I. Biokhimiya pshenitsy. Wheat Biochemistry. Leningrad. Selkhozgiz Publ. 1951. P. 202.
34. Flyaksberger K. Grain protein in wheat globe. Sotsialisticheskoe rastenievodstvo. Socialist Plant Industry. 1932. Vol 1. P. 15-31.
35. Vavilov N.I. Nauchnye osnovy selektsii pshenitsy Scientific Basis for Wheat Breeding. Moscow; Leningrad, Selkhozgiz Publ., 1935. P. 320
36. Konarev V.G. Belki pshenitsy. Proteins of Wheat. Moscow, Kolos Publ. 1980. P. 245.
37. Konarev V.G., Chmeleva Z.V. Characteristics of global wheat resources with regard to protein and lysine content in grain and the pool of high-protein wheats. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. Proceedings on Applied Botany. *Genetics, and Breeding*. 1977. Vol 59. №3. P. 31-38.
38. Pokrovskaya N.F. Quantitative and qualitative composition of protein and starch of bread wheat, depending on the growing areas. *Vestnik Selskokhozyaystvennoy Nauki Herald of Agricultural Sciences*. 1967. Vol 6. P. 37-44.
39. Pokrovskaya N.F. Khoreva V.I. The content of lysine and tryptophan in different ploidy wheat. *Doklady VASKhNIL Reports of the Academy of Agricultural Sciences*. 1971. Vol 11. P.8-11.
40. Shewry P.R. Improving the protein content and composition of cereal grain. *J. Cereal Sci.* 2007. Vol 46. P. 239-250. DOI 10.1016/j.jcs.2007.06.006.
41. Johnson, V., Mattern, P., Peterson, C. & Kuhr, S. Improvement of wheat protein by traditional breeding and genetic techniques. *Cereal Chemistry*. 1984. Vol 62. P. 350-355.
42. Dorofeev V.F., Udachin R.A., Semenova L.V., Novikova M.V., Gradchaninova O.D., Shitova I.P., Merezhko A.F., Filatenko A.A. Pshenitsy mira World Wheat. Leningrad, *Agropromizdat Publ.* 1987. P. 345.
43. Balyan H.S., Gupta P.K., Kumar S., Dhariwal R., Jaiswal V., Tyagi S., Agarwal P., Gahlaut V., Kumari S. Genetic improvement of grain protein and

other health-related constituents of wheat grain. *Plant Breeding*. 2013. P. 446-457 available at <http://wileyonlinelibrary.com>. DOI 10.1111/pbr.12047.

44. Krupnov V.A., Krupnova O.V. Genetic architecture of grain protein content in wheat. *Russ. J. Genet.* 2012. Vol 48. № 2. P. 129-138.

45. Bordes J., Brandlard G., Oury F.X. et al. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection composition. *J. of Cereal Sci.* 2008. 48, N 3. P. 569—579.

46. Sramkova Z., Gregova E., Sturdík E., Genetic improvement of wheat-a review. *Nova Biotechnologica*. – 2009. – V.9. – P. 27–51.

47. Шелепов В. В., Гаврилюк Н. Н., Вергунов В. А., Пшеница: биология, селекция, морфология, семеноводство. К.: Логос, 2013. – 498 с.

48. Ларченко К. А., Моргун Б. В.. Ознаки якості зерна пшениці та методи їх поліпшення. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2010. Т.42. №6. С. 463–474.

49. Uauy C., Wulff B., Dubcovsky J.. Combining traditional mutagenesis with new high-throughput sequencing and genome editing to reveal hidden variation in polyploid wheat. C. Uauy, B. Wulff, J. Dubcovsky. *Annual Review of Genetics*. 2017. V.51. P. 435–454.

50. H. Guo, Z. Yan, X. Li. Development of a high-efficient mutation resource with phenotypic variation in hexaploid winter wheat and identification of novel alleles in the TaAGP.LB1 gene. *Front Plant Science*. 2017. Vol. 8. P. 1–9.

51. Li, W., Shan, F., Sun, Sh., Corke, H. & Beta, T. Free radical scavenging properties and phenolic content of Chinese black-grained wheat. *J. Agric. Food Chem.* 2012. Vol 53. P. 8533-8536.

52. Xu Z.Z., Yu Z.W., Wang D., Zhang Y.L. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes. *J. Agron. Crop Sci.* 2005. Vol 191. N 6. P. 439 — 449.

53. Ушкаренко В. А. Дисперсионный анализ данных полевого опыта / В. А. Ушкаренко. Херсон, 1978. 43 с.

54. Bhalla P., Ottenhof H., Singh M. Wheat transformation an update of recent progress. *Euphytica*. 2006. Vol 149. P. 353—366.

55. Ziemienowicz A. Agrobacterium-mediated transformation of wheat using immature embryos. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2014. – Vol. 3. P. 95–102.

56. Distelfeld A., Uauy C., Olmos S., Schlatter A.R., Dubcovsky J., Fahima T. Microcolinearity between a 2-cM region encompassing the grain protein content locus Gpc-6B1 on wheat chromosome 6B and a 350-kb region on rice chromosome 2. *Funct. Integr. Genomics*. 2004. Vol. 4. P. 59-66. DOI 10.1007/S10142-003-0097-3.

57. Song Wei, Sun Lan-zhen, Zhao Ai-hong, Liu Qing. Nutrition qualitative analysis and verification of colorful wheat variant offsprings produced by exogenous DNA introduction. *Xibei zhiwu xuebao Acta Bot. Boreali-Occident. Sin.* 2004. 24, N 6. P. 966—970.

58. Б.В. Моргун Стан та перспективи використання пшенично-житніх транслокації у селекції озимої м'якої пшениці. *Физиология Растений и Генетика*. – 2016. – Т. 48, № 4. – С. 324-343.

59. Богуславский Р. Л., Голик О. В. Род *Aegilops* L. как генетический ресурс селекции. Харьков 2004. 236 с.

60. Шелепов В. В., Гаврилюк Н. Н., Вергунов В. А. Пшеница: биология, селекция, морфология, семеноводство . К. Логос. 2013. – 498 с.

61. Gorafi, Y., Kim, J.-S., Elbashir, A. & Tsujimoto, H.. A population of wheat synthetic derivatives: an effective platform to explore, harness and utilize genetic diversity of *Aegilops tauschii* for wheat improvement. *Theor. Appl. Genet.* 2018. Vol 131. 1615-1625.

62. Cox, T., Wu, J., Wang, Sh., Cai, J., Zhang, Q. & Fu, B. Comparing two approaches for introgression of germplasm from *Aegilops tauschii* into common wheat. *The Crop Journal* 2017. Vol 5. P. 355-362. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.05.006>.

63. Конарев А. В. Белки семян как маркеры в решении проблем генетических ресурсов растений, селекции и семеноводства. *Цитология и генетика*. 2000. № 34.2 С. 91-104.

64. Діденко, С. Ю., Реліна, Л. І., Усова, З. В., Вечерська, Л. А., Богуславський, Р. Л., Моцний, І. І. Створення ліній пшениці озимої м'якої з залученням генетичної плазми *Thinopyrum intermedium*. *Генетичні ресурси рослин*, 2017. № 20. С. 21-31.

65. Ribarov, Stefan R., Petyo G. Bochev. A chemiluminescent method for measurement of activated oxygen forms in biological fluids and homogenates. *Journal of biochemical and biophysical methods*. 1983. Vol. 8.3. P. 205-212.

66. Ирмулатов, Б. Р., Сарбасов, А. К., & Мустафаев, Б. А. Влияние предшественников и технологий в регулировании режима внесения элементов питания. *Аграрная наука*. 2017. № (4). С. 2-5.

67. Моцний, І. І., Нарган, Т. П., Наконечний, М. Ю., Лифенко, С. П., Молодченкова, О. О., Міщенко, Л. Т. Різноманіття похідних віддаленої гібридизації озимої пшениці за стійкістю до хвороб та іншими чужинними ознаками. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2021. № 26 (2). Р. 51-72.

68. Моцний, І. І., Нарган, Т. П., Лифенко, С. П., & Єриняк, М. І. Залучення інтрогресивних ліній для селекції пшениці м'якої озимої. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер.: Біологія*. 2014. № 1. С. 79-90.

69. Моцний, І. І., Молодченкова, О. О., Смертенко, А. П., Литвиненко, М. А., Голуб, Є. А., Міщенко, Л. Т. Створення інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої з ознаками стійкості до фітопатогенів. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2020. № 25. Р. 59-82.

70. Моцний, І. І., Леонов, О. Ю. Взаємодія генотип x середовище у гібридів озимої пшениці, похідних *A. tauschii*. *Зб. наук. пр. СГІ-НЦНС*. 2009. № 14. С. 90-99.

71. Моцний, І. І., Молодченкова, О. О., Нарган, Т. П., Наконечний, М. Ю., Лифенко, С. П., Фанін, Я. С., Міщенко, Л. Т. Оцінка похідних віддаленої гібридизації пшениці за агрономічними ознаками в посушливих умовах півдня України. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2022. №31. С. 71-76.

72. Моцний, І. І., Молодченкова, О. О., Литвиненко, М. А., & Голуб, Є. А. Застосування інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої для підвищення вмісту білка в зерні. *Селекція і насінництво*. 2019. № 115. С. 75-92.

73. S. K. Verma, S. Kumar, I. Sheikh et al. Transfer of useful variability of high grain iron and zinc from *Aegilops kotschy* into wheat through seed irradiation approach. *International Journal of Radiation Biology*. 2016. Vol .92. P. 132–139.

74. Kade M.A., Barneix J., Olmos S., Dubcovsky J. Nitrogen uptake and remobilization in tetraploid Langdon durum wheat and a recombinant substitution line with the high grain protein gene *Gpc-B1*. *Plant Breeding*. 2005. Vol. 124. P. 343-349. DOI 10.1111/j.1439-0523.2005. 01110.x.

75. Uauy C., Brevis J.C., Dubcovsky J. The high grain protein content gene *Gpc-B1* accelerates senescence and has pleiotropic effects on protein content in wheat. *J. Exp. Bot.* 2006. Vol. 57(11). P. 2785-2794. DOI 10.1093/jxb/erl047.

76 Cantu D., Pearce S.P., Distelfeld A., Christiansen M.W., Uauy C., Akhunov E., Fahima T., Dubcovsky J. Effect of the down-regulation of the high Grain Protein Content (GPC) genes on the wheat transcriptome during monocarpic senescence. *BMC Genomics*. 2011. №12. P. 492-509. DOI 10.1186/1471-2164-12-492.

77. Fox S.L., Townley-Smith T.F., Humphreys D.G., Mc. Callum B.D., Fetch T.G., Gaudet D.A., Gilbert J.A., Menzies J.G., Noll J.S., Howes N.K. Somerset hard red spring wheat. 2005. URL [http:// www.pgdc.ca/pdfs/wrt/cultivardescriptions/Somerset.pdf](http://www.pgdc.ca/pdfs/wrt/cultivardescriptions/Somerset.pdf). (дата звернення: 10.06. 2023).

78. Tabbita F., Pearce S., Barneix A. Breeding for increased grain protein and micronutrient content in wheat: Ten years of the GPC-B1 gene. *Journal of Cereal Science*. 2017. Vol.73. P. 183–191.

79. DePauw R.M., Townley-Smith T.F., Humpreys G., Knox R.E., Clarke F.R., Clarke J.M. Lillian hard red spring wheat. 2004. URL: <http://www.pgdc.ca/pdfs/wrt/cultivardescriptions/Lillian.pdf>.

80. Distelfeld A., Pearce S.P., Avni R., Scherer B., Uauy C., Piston F., Slade A., Zhao R., Dubcovsky J. Divergent functions of orthologous NAC transcription factors in wheat and rice. *Plant Mol. Biol.* 2012. № 78. P 515-524. DOI 10.1007/S11103-012-9881-6.

81. Brevis J.C., Dubcovsky J. Effects of the chromosome region including the Gpc-B1 locus on wheat grain and protein yield. *Crop Sci.* 2010. № 50. P. 93-104. DOI 10.2135/cropsci2009.02.0057.

82. Carter A.H., Santra D.K., Kidwell K.K. Assessment of the effects of the Gpc-B1 allele on senescence rate, grain protein concentration and mineral content in hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.) from the Pacific Northwest region of the USA. *Plant Breeding*. 2012. № 131.1. P. 62-68.

83. Tabbita F., Lewis S., Vouilloz J.P., Ortega M.A., Kade M., Abbate P.E., Barneix A.J. Effects of the Gpc-B1 locus on high grain protein content introgressed into Argentinean wheat germplasm. *Plant Breeding*. 2013;132:48-52. DOI 10.1111/pbr.12011.

84. Похилько, С. Ю., Трояновська, А. В., Степаненко, А. І., Урбанович, О. Ю., Дуган, О. М., Рибалка, О. І., Моргун, Б. В. Дослідження генотипів пшениці м'якої з перенесеним геном GPC-B1 від *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2016. № 18. С. 132-136.

85. Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В. Поліщук С. С. Генетичні основи нового напрямку селекції оригінальних за якістю зерна класів пшениці (*Triticum aestivum* L.) і тритикале (\times *Triticosecale* Wittmack). *Фізіологія рослин і генетика*. 2019. № 51(3). С. 207-240.

86. Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В., Поліщук С. С., Червоніс М. В., Соколов В. М. Нова генетична варіабельність для поліпшення якості пшениці (*Triticum aestivum* L.). *Цитологія і генетика*, 2023. 57, № 1. С. 3-16.
87. Рибалка О. І., Моргун Б. В., Поліщук С. С.. GPC-B1 (NAM-B1) ген як новий генетичний ресурс у селекції пшениці на підвищення вмісту білка в зерні та мікроелементів. *Физиология растений и генетика*, 2019. 50, № 4. С. 279-298.
88. Рибалка О., Поліщук С., Моргун Б. Нові напрями в селекції зернових культур на якість зерна. *Вісник аграрної науки*, 2018. № 96(11). С. 120-133.
89. Gyuga P., Demagante A.L., Paulsen G.M. Photosynthesis and grain growth of wheat under extreme nitrogen nutrition regimes during maturation *J. Plant Nutr.* 2002. Vol 25, No 6. P. 1281—1290.
90. G. Spano, N. Di Fonzo, C. Perrotta et al. Physiological characterization of 'stay green' mutants in durum wheat . *J. Exp.Bot.* 2003. Vol 54, N 386. P. 1415—1420.
91. Arora A., Mohan J. Expression of dwarfing genes under nitrogen and moisture stress in wheat (*Triticum* spp.): Dry matter partitioning, root growth and leaf nitrogen. *Ibid.* 2001. Vol 186, N 2. P. 111—118.
92. Господаренко, Г., І. Ткаченко. Якість пшениці спельти залежно від особливостей удобрення азотними добривами. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агронімія*. 2014. № 18. С. 68-75.
93. Tahir I., Nakata N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling *J. Agron. Crop Sci.* 2005. Vol 191, N 2. P. 106—115.
94. Van Sanford D.A., MacKown C.T. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. *Theor. Appl. Genet.* 1986. Vol 72. P. 158—163.

95. Slafer G.A., Araus J.L. Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions. *Scale and Complexity in Plant Systems Research: Gene-Plant-Crop Relations*. N. Y.: Springer. 2007. P. 147–156.

96. Моргун В.В., Швартау В.В., Кірізій Д.А. Фізіологічні основи отримання високих врожаїв пшениці. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2008. № 6. С. 463—479..

97. Triboi E., Martre P., Girousse C. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat // *Eur. J. Agron.* 2006. Vol. 25, N 2. P. 108—118.

98. Demotes–Mainard S., Jeuffroy M.H. Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat. *Field Crops Res.* 2004. Vol 87, N 2—3. P. 221—233.

99. Giunta F., Motzo R., Pruneddu G. Has longterm selection for yield in durum wheat also induced changes in leaf and canopy traits?. *Field Crops Res.* — 2008. Vol 106, N 1. P. 68—76.

100. Caputo C., Fatta N., Barneix A.J. The export of amino acid in the phloem is altered in wheat plants lacking the short arm of chromosome 7B. *J. Exp. Bot.* 2001. Vol 52, N 362. P. 1761—1768.

101. Z. J. Wang, J. H. Wang, C. J. Zhao et al. Vertical distribution of nitrogen in different layers of leaf and stem and their relationship with grain quality of winter wheat. *J. Plant Nutr.* 2005. Vol 28, N 1. P. 73—91.

102. Diekmann F., Fischbeck G. Differences in wheat cultivar response to nitrogen supply. II: Differences in N–metabolism–related traits *J. Agron. Crop Sci.* 2005. Vol 191, N 5. P. 362—376.

103. McKendry A.L., Mcvetty R.B.E., Evans I.E. Selection criteria for combining high grain-yield and high grain protein-concentration in bread wheat. *Crop Sci.* 1995. Vol 35, N 6. P. 1597—1602.

104. Наконечний О.А., Жиляков Д. В. Удосконалення методів контролю оптичних характеристик цільного зерна пшениці із застосуванням

ближнього інфрачервоного спектру. Технічна творчість. Зб. наук. праць Хмельницький. ХНУ. 2017. №6. С. 53–56.

105. ДСТУ 3768–2010. Пшениця. Технічні умови. – Держспожив-стандарт України. – 2010. – С. 14.

106. Зерно. Метод определения влажности: ГОСТ 13586.5-93. - [Чинний від 1995-01-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1994. – 8 с. – (Міждержавний стандарт).

107. Зерно. Метод определения сорной и зерновой примесей: ГОСТ 28419-97. - [Чинний від 1999-01-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 8 с. – (Міждержавний стандарт).

108. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян: ГОСТ 10842-89. - [Чинний від 1991-07-01]. М. ИПК Изд-во стандартов, 1991. 3 с. (Міждержавний стандарт).

109. Зерно. Методы определения природы: ГОСТ 10840-64. - [Чинний від 1965-07-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 4 с. – (Міждержавний стандарт).

110. Зерно. Методы определения стекловидности: ГОСТ 10987-76. - [Чинний від 1977-06-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1977. – 40 с. – (Міждержавний стандарт).

111. Blarka P. Bestimmung der kohlenpydrale und lipide limnologica (Berlin). 1966. Vol. 4 N. 2. P. 403-418

112. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. В., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат. 1987. 430 с.

113. Господаренко, Г. М., Черно, О. Д., Любич, В. В., Рябовол, Я. С., Крижанівський, В. Г. Урожайність та хлібопекарські властивості зерна пшениці озимої при різних дозах і строках застосування азотних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 21-31.

114. C. Rubie, E. Schulze-Bahr, H. Wedekind et al. Multistep-touchdown vectorette-PCR-a rapid technique for the identification of IVS in genes. *Biotechniques*. 1999. Vol. 27. P. 414-418.

115. Brody J. R. Sodium boric acid: a Tris-free, cooler conductive medium for DNA electrophoresis. J. R. Brody, S. E. Kern. *Biotechniques*. 2005. Vol. 38. P. 214–216.

116. Сучасні системи удобрення сільськогосподарських культур у сівозмінах з різною ротацією за основними ґрунтово-кліматичними зонами України: рекомендації. За ред. А.С. Заришняка, М.В. Лісового. К . Аграрна наука. 2008. – 120 с.

117. Методика проведення експертизи та державного випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур. М-во аграрної політики України, Державна комісія України по випробуванню та охороні сортів рослин. Охорона прав на сорти рослин: офіційний бюлетень. Київ. Алефа. 2003. Вип. 2. Ч. 3. – 241 с.

118. Ушкаренко В. О., Коваленко В. П., Плоткін В. Я.. Використання персональних комп'ютерів для вирішення задач оптимізації сільськогосподарського виробництва: [навч. посіб.]. Херсон: Айлант, 2001. 94 с.

119. Ушкаренко В. А., Поляков Н, И, Математический анализ данных полевого опыта . Херсон: ОАО ХГТ, 1997. – 82 с.

120. Ушкаренко В. О., Коваленко В.О., Ушкаренко В.П., Плоткін С.Я., Поляков М.Г., Використання персональних комп'ютерів для вирішення задач оптимізації сільськогосподарського виробництва: навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2001.– 94 с.

121. 60. Бюлетень ВАК України. - К., 2009. - № 5. - 93 с.

122. Як підготувати і захистити дисертацію на здобуття наукового ступеня: [метод. поради]. Автор-упорядник Л. А. Пономаренко. - К.: Редакція «Бюлетеня Вищої атестаційної комісії України», Видавництво «Голока», 2001.- 80 с.

123. Yakubtsiner M.M., Pokrovskaya N.F. Biochemical characterization of grains for tetraploid wheats. *Selskokhozyaystvennaya Biologiya Agricultural Biology*. 1969. Vol4 (3). P. 348-357.

124. Dorofeev V.F., Udachin R.A., Semenova L.V., Novikova M.V., Gradchaninova O.D., Shitova I.P., Merezhko A.F., Filatenko A.A. Pshenitsy mira World Wheat. Leningrad, *Agropromizdat Publ*. 1987. P. 345.

125. Литвиненко М. А. Реалізація генетичного потенціалу, проблеми продуктивності та якості зерна сучасних сортів озимої пшениці. *Зб. наук. пр. СГІ*. 1996. С. 6–12.

126. Маренич М. М. Характеристика ознак продуктивності озимої пшениці. *Вісник Полтавського держ. с.-г. ін-ту*. 1999. № 3. С. 7–8.

127. Кірчук І. С., Пішта Д. С., Кірчук Г. А. Елементи структури врожаю озимої пшениці в умовах південно-західної частини Степу. *Хранение и переработка зерна*. 2012. № 7. С. 18–20.

128. Гусенкова О. В., Тищенко В. М. Формування і мінливість структурних елементів урожайності пшениці озимої в умовах контрольованого середовища. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 4. С. 100-103.

129. Тищенко В. Рівень формування та генетичні кореляції структурних елементів урожайності сортів і селекційних ліній пшениці озимої залежно від року вирощування та строків сівби. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агронімія*. 2018. № 22. – С. 308-312.

130. Дриженко Л. М., Тищенко В. М., Чернишова О. П. Генетичні кореляції врожайності пшениці озимої із селекційними індексами в стресових умовах середовища. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2014. № 3. С. 32-35.

131. Ващенко В. В., Назаренко М. М. Екологічне випробування сучасних сортів пшениці м'якої озимої в умовах підзони Північного Степу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2015. № 3. С. 12-16.

132. Лыфенко С. Ф. Полукарликовые сорта озимой пшеницы. К. Урожай, 1987. – 192 с.
133. Литвиненко М. А. Селекція сортів озимої м'якої пшениці інтенсивного типу на витривалість до вилягання в умовах Півдня України. *Наук.-техн. бюл. СГІ: [наук.-техн. бюл.]* 1993. № 1. С. 8-13.
134. Чеботар Г.О., Моцний І.І., Кульбіда М.П., Чеботар С.В. Вплив генів короткостебловості на варіацію ознак ліній м'якої озимої пшениці. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія.* 2013. №. 17. С. 95–102.
135. Сабодин Д. А. Физиология развития растений. М. Изд-во АН СССР. 1963. С.196.
136. Литвиненко М. А., Топал М. М., Щербина З. В., Зорунько В. І. Селекційна цінність пшенично-житніх транслокацій 1AL/1RS, 1BL/1RS в умовах півдня України. Сучасні напрями селекційного удосконалення пшениці: Міжнар. наук.-практ. конф. присвячена 100-річчю селекції пшениці в ін-ституті СГІ – НЦ НС. Одеса, 2016. С. 107–109.
137. Жемела Г.П., Кузнецова О.А. Вплив сортових властивостей на продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2012. № 3. С. 23-25.
138. Николаев Е. В. Резервы увеличения производства зерна сильной и ценной пшеницы. Киев: Урожай, 1991. 232 с.
139. Маханьова Ю. М. Експорт зернових культур України, ЄС і країн світу в умовах сучасних інтеграційних процесів. *Проблеми економіки.* 2015. №1. С. 27–36.
140. Букриева П. И. Корреляционная связь технических показателей зерна озимой мягкой пшеницы в условиях Краснодара . Краснодар. 2004. – С. 223-228.
141. Орлюк А. П. Адаптивний і продуктивний потенціал пшениці. Херсон: Айлант, 2002. - 276 с.

142. Berry, P. M., Kendall, S., and Rutterford, Z. Historical analysis of the effects of breeding on the height of winter wheat (*Triticum aestivum*) and consequences for lodging. *Euphytica*. 2015. Vol 203. P. 375-383 doi: 10.1007/s10681-014-1286-y.
143. Konarev V.G. Belki pshenitsy. Proteins of Wheat. Moscow, Kolos Publ. 1980. P. 245.
144. Golisoh G. Stickstoff clungen nach Resept. *Top Agrar*, 1977. №12. P. 44-46.
145. Zilic S., Barac M., Pesic M., Characterization of proteins from grain of different bread and durum wheat genotypes et. all *Int. J. Mol. Sci.* – 2011. – V.12 (9). – P. 5878–5894. doi.org/10.3390/ijms12095878.
146. Wenefrida, I., Utomo, H.S., and Linscombe, S.D., Mutational breeding and genetic engineering in the development of high grain protein content, *J. Agric.Food Chem.*, 2013, Vol. 61, No. 48, pp. 11702–10, doi: 10.1021/jf4016812.
147. Michel S., Kummer C., Gallee M., Hellinger J., Ametz C., Akgöl B., Epure D., Güngör H., Löschenberger F., and Buerstmayr H. Improving the baking quality of bread wheat by genomic selection in early generations. *Theor. Appl. Genet.*, 2018, Vol. 131, No. 2, P. 477–93, doi: 10.1007/s00122-017-2998-x.
148. Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer, U., and Huesken, A. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theor. Appl. Genet.*, 2017, Vol. 130, No. 1, P. 223–45, doi: 10.1007/s00122-016-2810-3.
149. S. K. Verma S. Kumar I. Sheikh et al. Transfer of useful variability of high grain iron and zinc from *Aegilops kotschyi* into wheat through seed irradiation approach. *International Journal of Radiation Biology*. 2016. Vol .92. P. 132–139.
150. Garg M., Mikiko Y., Hiroyuki T., and Hisashi T., Introgression of useful genes from *Thinopyrum intermedium* to wheat for improvement of

breadmaking quality. *Plant Breed.* 2014. Vol. 3. No. 133. P. 327–34
doi.org/10.1111/pbr.12167.

151. Elbasyoni I.S., Morsy S.M., Ramamurthy R.K., and Nassar A.M., Identification of genomic regions contributing to protein accumulation in wheat under well-watered and water deficit growth conditions plants. *Plants.* 2018, vol. 7.

152. Gierat K. Reakcij pszenicy jarej i jeczmenia jarego na zróżnicowany poziom wilgotności gleby i nawożenia azotem. *Biul. IHAR.* 1977. №1-2. P. 99-102.

153. Натр Л. Связь между накоплением ассимилятов и потенциалом продуктивности. Формирование урожая основных сельско-хозяйственных культур . *Пер. с чеш. З.К. Благовещенской.* М. Колос. 1984. – С. 56–58.

154. Литвиненко М.А.; Топал М.М. Ефекти пшенично-житніх транслокацій 1AL/1RS I 1BL/1RS на якість зерна у сортів пшениці м'якої озимої. *ScienceRise.* 2015. № 3.1 (8). С. 82-87.

155. Morel M.Y., Dehlon P., Autran J.-C., Leygue J.P., L'Helgouac'h Ch.B. Effects of temperature, sonication time and power setting on size distribution and extractability of total wheat proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry.* 2000.Vol.77. N 226. P.20-25.

156. Лифенко С.П., Нарган Т.П., Наконечний М.Ю. Интрогресії в геном пшениці м'якої від різних донорів – проблемний, але перспективний напрям селекції. *Селекція і насінництво.* 2014. №. 105. С. 39–50. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42043.

157. Моргун В. В., Дубровна О. В., Моргун Б. В.. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Физиология растений и генетика.* 2016. 48 № 3. С. 196-214.

158. Похилько С.Ю., Швартау В.В., Починок В.М., Михальська Л.М., Дуган О.М., Моргун Б.В. Комплексний аналіз вмісту загального білка в зерні

м'якої пшениці, яка містить ген Gpc-B1 від *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*. *Вісник УТГіС*. 2017. Т. 15, № 1 С. 52–57.

159. Нарган, Т. П., Моцний, І. І., Сечняк, В. Ю., Лифенко, С. П. Оцінка ліній пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) від віддаленої гібридизації за господарсько корисними ознаками. Кульбіда М.П., Моцний І.І., Коваль Т.М. Аналіз розподілу гібридів м'якої пшениці з амфіплоїдами за показниками якості зерна при оптимальному рівні азотного живлення. *Зб. наук. праць СГІ–НЦ НС*. 2003. №. 4 (44). С. 27–41.

160. Кульбіда М.П., Моцний І.І., Коваль Т.М. Аналіз розподілу гібридів м'якої пшениці з амфіплоїдами за показниками якості зерна при оптимальному рівні азотного живлення. *Зб. наук. праць СГІ–НЦ НС*. 2003. №. 4 (44). С. 27–41.

161. Моргун В. В., Рибалка О. І., Дубровна О. В. Генетичне поліпшення рослин: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики: матеріали Міжнародної наукової конференції, присвяченої*. 2021. С. 246-248.

162. Doneva S., Daskalova N., Spetsov P. Transfer of novel storage proteins from a synthetic hexaploid line into bread wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2018. V. 105 (2). P. 113–122. doi: 10.13080/z-a.2018.105.015.

163. Kjeldahl J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*. 1983. Vol. 22. N. 1. P. 366-383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>.

164. National Diet and Nutrition Survey: Results from Years 1, 2, 3 and 4 (combined) of the Rolling Programme (2008/2009 – 2011/2012) Executive summary [Електронний ресурс] Public Health England. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/594360/NDNS_Y1_to_4_UK_report_executive_summary_revised_February_2023.pdf.

165. A. D. Gernand, K. J. Schulze, C. P. Stewart. Micronutrient deficiencies in pregnancy worldwide: health effects and prevention. *Nature Reviews Endocrinology*. 2016. №12. C. 274–289.
166. L. R. Joppa, C. Du, G. E. Hart, G. A. Hareland. Mapping gene(s) for grain protein in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) using a population of recombinant inbred chromosome lines. *Crop Science*. 1996. Vol. 37. P. 1586–1589.
167. G. Velu, I. Ortiz-Monasterio, I. Cakmak et al. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *Journal of Cereal Science*. 2014. Vol. 59. P. 365–372.
168. Abbaspour N., R. Hurrell, R. Kelishadi. Review on iron and its importance for human health. *Journal of Research in Medical Sciences*. 2014. Vol.19. P. 164–174.
169. Andrews N. C. Iron metabolism: iron deficiency and iron overload. Andrews. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*. 2000. Vol. 1. C. 75–98.
170. F. Oliveira, S. Rocha, R. Fernandes. Iron metabolism: from health to disease. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*. 2014. Vol. 28. P. 210–218.
171. Straeten D. V. Editorial overview: Biofortification of crops: achievements, future challenges, socio-economic, health and ethical aspects D. V. Straeten, T. B. Fitzpatrick, H. D. Steur. *Current Opinion in Biotechnology*. 2017. Vol.44. P. 7–10.
172. Goyer A. Thiamin biofortification of crops. *Current Opinion in Biotechnology*. 2017. Vol. 44. P. 1–7.
173. J. Fudge, N. Mangel, W. Gruissem et al. Rationalising vitamin B2 biofortification in crop plants. *Current Opinion in Biotechnology*. 2017. Vol. 44. P. 130–137.
174. L. Dong-Gun, L. Yeonkyung, S. Hyeeun et al. Seizures related to vitamin B2 deficiency in adults. *Journal Epilepsy Research*. 2015. Vol .5(1). P. 23–24.

175. L. Galluzzi, E. Vacchelli, J. Michels et al. Effects of vitamin B2 metabolism on oncogenesis, tumor progression and therapeutic responses. *Oncogene*. 2013. Vol .32. P. 4995–5004.

176. Strobbe S., Straeten D. V.. Folate biofortification in food crops. *Current Opinion in Biotechnology*. 2017. Vol.44. P. 202–211.

177. Barraclough P.B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M.J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilization of nitrogen during grainfilling in wheat. *Field Crops Research*. 2014. Vol, № 156. P. 242–248. doi: 10.1016/j.fcr.2013.10.004.

178. Hammér K., Weih M., Eriksson J., Kirchmann H. Influence of nitrogen supply on macro-and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field Crops Research*. 2017. Vol, № 213. P. 118–129. doi: 10.1016/j.fcr.2017.08.002.

179. Hawkesford M. J., Riche A. B. Impacts of G×E×M on Nitrogen Use Efficiency in Wheat and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. 1157. doi: 10.3389/ fpls.2020.01157.

180. Починок В.М., Кірізі́й Д.А. Продуктивність і якість зерна пшениці у зв'язку з особливостями розподілу азоту в рослині. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2010. № 5. т. 42. С. 393–402.

181. Diekmann F., Fischbeck G. Differences in wheat cultivar response to nitrogen supply. II: Differences in N–metabolism–related traits *J. Agron. Crop Sci*. 2005. Vol 191, N 5. P. 362—376.

182. Korshykov I, Sushynska N. Сезонна динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках декоративних форм *Berberis thunbergii* DC. в умовах посушливого Степу України. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2022. №18. С. 83-95.

183. Jarell W.M., Beverly R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 1981. Vol. 34. P. 197-224.

184. Скалецька Л. Ф., Подпратов Г. І., Завадська О. В. Основи наукових досліджень зі зберігання та переробки продукції рослинництва: навч. посіб. Київ : НАУ, 2006. 204 с.

185. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Любич В. В., Рябовол Я. С., Крижанівський В. Г. Урожайність та хлібопекарські властивості зерна пшениці озимої при різних дозах і строках застосування азотних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 3. С. 21-31.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А 1.1

Таблиця А 1.1

Показники врожайності й маси 1000 зерен у сортів минулих етапів
селекції пшениці м'якої озимої

Назва сорту Фактор В	Доза азотних добрив, N, кг/г Фактор С	Врожайність, т/га.			Маса 1000 зерен, г		
		2021 р. Фактор А	2022 р. Фактор А	\bar{X} По фактор у В	2021 р. Фактор А	2022 р. Фактор А	\bar{X} По фактор у В
Одеська 16	60	3,08 $\pm 0,12$	3,01 $\pm 0,14$	3,05	38,5 $\pm 0,5$	36,5 $\pm 0,3$	37,5
	120	3,53 $\pm 0,11$	3,54, $\pm 0,32$	3,54	39,7 $\pm 0,3$	39,3 $\pm 0,4$	39,5
Безоста 1	60	3,90 $\pm 0,12$	3,60 $\pm 0,21$	3,75	38,7 $\pm 0,3$	37,0 $\pm 0,2$	37,9
	120	4,25 $\pm 0,21$	3,85 $\pm 0,30$	4,05	39,7 $\pm 0,2$	39,9 $\pm 0,2$	39,8
Одеська 51	60	4,01 $\pm 0,21$	3,59 $\pm 0,13$	3,75	37,4 $\pm 0,4$	37,4 $\pm 0,4$	37,4
	120	4,60 $\pm 0,12$	3,94 $\pm 0,12$	4,27	38,9 $\pm 0,4$	39,1 $\pm 0,4$	39,0
Пилипівка	60	4,13 $\pm 0,21$	4,08 $\pm 0,19$	4,11	39,6 $\pm 0,3$	38,6 $\pm 0,3$	39,1
	120	4,92 $\pm 0,22$	4,60 $\pm 0,18$	4,76	40,8 $\pm 0,4$	40,7 $\pm 0,3$	40,8
\bar{X} По фактору А,С		4,05 $\pm 0,25$	3,77 $\pm 0,18$	3,91 $\pm 0,21$	39,1 $\pm 0,36$	38,5 $\pm 0,52$	38,8 $\pm 0,42$
Врожайність $HP_{0,05}$ т/га: по факторам АВС 0,53 Маса 1000 зерен $HP_{0,05}$ г: по факторам АВС 0,87							

ДОДАТОК А 1.2

Таблиця А 1.2

Урожайність сортів пшениці озимої різних груп за походженням в залежності від рівня живлення 2020/21 рр.

Назва групи, Фактор В	Варіант доз добрив, N, Фактор С	Врожай, т/га	Кращі сорти, т/га	Коефіцієнт варіації, V%
I, n – 2	60	мін.5,16 макс.7,10 ср.зн.6,26±0,14	Оптима од. 7,10 Довіра од. 7,08 Місія од. 6,99	10,3
	120	мін 6,56 макс.8,67 ср.зн 7,55±0,14	Щедрість од. 8,67 Перемога од. 8,60 Довіра од. 8,31	8,5
II, n – 15	60	мін. 4,52 макс.6,50 ср.зн.5,71±0,14	Чорнява 6,50 Щедра нива 6,48 Світанок 6,31	9,6
	120	мін.6,75 макс.7,53 ср.зн.7,11±0,06	Новомечурінка 7,53 Щедра нива 7,48 Чорнява 7,34	3,4
III, n – 11	60	мін.4,49 макс. 6,15 ср.зн.5,34±0.16	Магбол 6,15 Колонія 6,00 Ленокс 5,90	10,5
	120	мін.5,91 макс. 7,11 ср.зн.6,45±0,11	Ленокс 7,11 Магбол 6,95 Колонія 6,66	5,9
НІР ₀₅ т/га: по факторам ВС – 0,37				

I – Сорти СГІ НЦНС; II – Сорти вітчизняних установ; III – Сорти закордонних установ; «n» – кількість сортів.

ДОДАКОК А 1.3

Таблиця А 1.3

Урожайності сортів пшениці озимої різних груп за походженням у залежності від рівня живлення 2021/22 р.

Назва групи, Фактор В	Варіант доз добрив, N, Фактор С	Врожай, т/га	Кращі сорти, Т/га	Коеф варіації, V%
I, n – 2	60	мін. 5,07 макс.7,47 ср.зн.6,41±0,18	Оптима 7,47 Перемога 7,44 Перспектива 7,38	12,9
	120	мін. 5,75 макс.7,72 ср.зн.6,85±0,13	Довіра 7,72 Октава 7,64 Перспектива 7,53	8,6
II, n – 15	60	мін.4,89 макс.6,53 ср.зн.5,85±0,13	Славія 6,53 Чорнява 6,44 Кесарія 6,44	8,8
	120	мін.5,00 макс.6,99 ср.зн. 6,34±0,15	Геничанка 6,99 Кесарія 6,99 Чорнява 6,98	9,2
III, n – 11	60	мін.4,17 макс.7,04 ср.зн.5,46 ±0,29	Ортегус 7,04 Єтана 6,30 Мулан 6,11	17,8
	120	мін.5,48 макс. 7,37 ср.зн.6,27±0,20	Ортегус 7,54 Єтана 6,96 Фаустус 6,94	11,0
НІР _{0,05} Т/га: по факторам ВС – 0,37				

I – Сорти СГІ НЦНС; II – Сорти вітчизняних установ; III – Сорти закордонних установ; «n» – кількість сортів.

ДОДАТОК А 2.1

Таблиця А 2.1

Елементи структури врожаю сортів пшениці озимої різних груп за походженням та доз добрив

Ознака	Рік	Сорти ранніх етапів селекції		І група		ІІ група		ІІІ група	
		N60	N120	N60	N120	N60	N120	N60	N120
Висота рослин, см	2021	110±3,5	116,6±3,7	88,3±1,1	92,4±0,7	87,5±1,0	92,8±1,0	80,5±1,2	85,4±1,3
	2022	105,6±3,4	109,0±3,5	85,6±1,0	90,0±0,9	85,2±1,2	89,1±1,1	78,0±1,2	82,5±1,3
Коефіцієнт варіації, V%	2021	6,4	6,4	5,6	3,7	4,3	4,1	5,1	5,1
	2022	6,5	6,5	5,6	4,9	5,3	4,8	5,1	5,7
Маса всього рослини, г/1м ²	2021	1100,3±24,1	1312,8±55,8	1631,5±35,0	1822,8±32,8	1609,7±34,2	1696,1±11,0	1402,6±38,4	1609,4±19,9
	2022	1211,4±53,4	1442,6±29,0	1603,3±32,7	1659,8±27,5	1580,2±36,72	1604,1±31,2	1418,9±76,2	1558,6±33,5
Коефіцієнт варіації, V%	2021	4,3	8,2	9,0	7,5	7,9	2,1	9,1	4,0
	2022	8,8	4,0	8,6	6,9	8,6	7,1	17,8	6,9
Маса стебел, г/1 м ²	2021	648,3±24,1	746,2±17,2	853,4±35,0	907,4 ±13,8	831,3±34,2	838,0±6,7	737,7±38,4	802,6±13,1
	2022	743,6±6,7	942,9±4,5	866,3±16,9	808,1±15,2	778,2±15,2	808,5±13,9	709,5±32,7	779,3±13,9
Коефіцієнт варіації, V%	2021	4,3	4,5	9,0	6,5	7,9	2,6	9,1	5,3
	2022	1,8	0,9	8,7	7,7	7,05	6,4	15,3	6,4
Кількість продуктивних стебел, шт /1 м ²	2021	512±3,9	609±6,6	530±10	606±7,9	482±9,4	556±7,0	477±7,3	541±13,5
	2022	443±2,3	553±2,8	437±4,2	577±9,0	409±5,8	542±6,7	411±3,8	512±6,7
Коефіцієнт варіації, V%	2021	1,5	2,1	8,5	5,8	7,3	4,7	9,4	8,3
	2022	1,0	1,0	4,3	6,9	5,3	4,6	3,0	4,6
Маса зерна, г/м ²	2021	393,9±9,0	469,3±19,9	745,1±17,3	860,8±16,3	681,8±17,3	818,0±7,5	598,5±17,3	722,9±12,8
	2022	397,0±24,6	499,7±14,7	718,2±20,7	766,9±15,2	656,3±15,9	710,2±17,5	611,1±32,8	702,0±23,4
Коефіцієнт варіації, V%	2022	4,5	8,5	10,3	8,5	9,5	3,4	9,5	5,9
	2021	12,4	5,9	12,9	8,8	9,0	9,2	17,8	11,0
Маса зерна з одного колоса, г	2021	0,77±0,01	0,77±0,02	1,41±0,01	1,42±0,01	1,41±0,01	1,47±0,01	1,25±0,01	1,34±0,01
	2022	0,90±0,05	0,95±0,02	1,64±0,03	1,33±0,01	1,60±0,02	1,31±0,02	1,48±0,06	1,37±0,03
Коефіцієнт варіації, V%	2021	3,3	6,5	4,7	4,5	4,2	2,9	4,7	2,8
	2022	11,3	5,2	9,9	4,5	5,8	6,1	15,3	8,5

ДОДАТОК А 3.1

Таблиця А 3.1

Показники маси 1000 зерен в сортах пшениці на різних варіантах внесення добрив та поділені на групи за походження

Фактор В	Фактор С	Фактор А					
		2021р.			2022р.		
Назва групи, кількість сортів	Норма внесен-ня N	Маса 1000 зерен, г	Кращі сорти, г	Кофіцієнт варіації, V%	Маса 1000 зерен, г	Кращі сорти, г	Коефіцієнт варіації, V
I 20 шт.	60	мін. 34,0 макс.43,4 ср.зн.38,8±0,54	Перемога од.43,4 Перспектива 42,4 Довіра од. 41,1	6,2	мін. 36,5 макс.41,9 ср.зн.38,0 ±0,38	Ветеран 41,9 Перемога 40,0 Житниця 39,5	4,5
	120	мін 35,5 макс.44,8 Ср.зн 40,4±0,52	Перемога од. 44,8 Перспектива 44,3 Довіра од.43,8	5,8	мін. 36,7 макс.42,3 ср.зн.39,0±0,32	Ветеран 42, 3 Перемога 41,0 Куяльник 40,2	3,7
II 15 шт.	60	мін. 37,7 макс.41,2 ср.зн. 39,3±0,23	Славія 41,2 Світанок мир 40,4 Щедра нива 40,2	2,6	мін.33,9 макс.41,4 ср.зн. 37,2±0,50	Славія 41,4 Чорнява 38,7 Геничанка38,5	5,0
	120	мін.39,6 макс.42,5 ср.зн.40,7±	Славія 42,5 Світанок мир 41,8 Щедра нива 41, 5	2,1	мін.33,1 макс.42,0 ср.зн. 38,3±0,66	Аналог 42,0 Славія 41,5 Валенсія 41,0	6,5
III 11 шт.	60	мін.36,8 макс. 40,0 ср.зн. 37,5±0,29	Турандот 40,0 Ортегус 39,0 Єтана 39,0	2,9	мін.35,7 макс.39,0 ср.зн.37,3±0,36	Ортегус 39,0 Мулан 38,8 Колонія 38,3	3,2
	120	мін.38,1 макс. 41,6 ср.зн. 39,6	Ленокс 41,6 Турандот 40,7 Ортегус 40,7	2,5	мін.31,9 макс.40,5 ср.зн.37,1±0,76	Турандот 40,5 Єтана 38,9 Колонія 38,6	6,6
НІР ₀₅ г: по факторам АВС 0,87							

ДОДАТОК А 4.1

Таблиця А 4.1

Зміни вмісту білка у зерні у сортів пшениці озимої різних груп за походженням в залежності від рівня живлення

Фактор В	Фактор С	Фактор А										
		Назва групи, кількість сортів	Норма внесення N	2020р.			2021р.			2022р.		
				Вміст білка, %	Кращі сорти, %	Коеф варіації, CV%	Вміст білка,%	Кращі сорти, %	Коеф варіації, CV%	Вміст білка, %	Кращі сорти, %	Коеф варіації, CV%
I, 20 шт.	60	мін 9,3 макс.10,6 ср.зн.9,7 ±0,16	Житниця 10,6 Катруся 10,3 Оптима 10,2	4,2	мін.9.8 макс.12.4 ср.зн. 10,1 ±0,16	Водограй 12,4 Мудрість од. 11,9 Оптима 11,8	6,7	мін.9.3 макс.11.9 ср.зн.10.2 ±0,14	Годувальниця 11,9 Литанівка 11,1 Благодарка 11,0	6,2		
	120	мін 9,3 макс.10,6 ср.зн. 9,9 ±0,15	Оптима 10,6 Альбатрос 10,6 Водограй 10,6	4,2	мін 10,5 макс.13,6 ср.зн 12,3 ±0,19	Водограй 13,6 Альбатрос 13,4 Місія 12,8	7,1	мін 10,0 макс.12,8 ср.зн. 11,3 ±0,19	Місія 12,8 Литанівка 12,4 Годувальниця 12,4	7,8		
II, 15 шт.	60	мін.8,2 макс.11,7 ср.зн.9.9 ±0,28	Аналог 11,7, Валенсія 11, 4, Росинка 11,2	10,7	мін.9,1 макс.10,8 ср.зн. 10,0 ±0,14	Ярославна 10,8 Геничанка 10,7 Кесарія 10,6	5,4	мін.9.2 макс.11.4 ср.зн. 10.7 ±0,18	Славія 11,9 Квітка ланів 11,6 Аналог 11,4	7,7		
	120	мін.9,2 макс.11,9 ср.зн.10,4 ±0,21	Аналог 11,9 Валенсія 11,6 Квітка ланів 10,9	7,8	мін.10 макс.11,8 ср.зн. 11,0 ±0,14	Квітка ланів 11,8 Чорнява 11,5 Валенсія 11,5	4,9	мін.10,0 макс.12,5 ср.зн. 11,5 ± 0,19	Ярославна 12,5 Аналог 12,2 Щедра нива 11,9	6,4		
III, 11 шт.	60	мін.7.9 макс.10.2 ср.зн.9,0 ±0,22	Торрілд 10,2, Турандот 10,0, Понтікус 9,6	8,8	мін.9.2 макс. 12,6 ср.зн.10,3 ±0,27	Фаустус 12,6 Токрілд 11,1 Турандот 10,6	8,8	мін.9,4 макс.11,6 ср.зн. 10,5 ±0,23	Магбол 11,6 Ленокс 11,5 Понтікус 11,5	7,7		
	120	мін.8,6 макс.11, 1 ср.зн. 9,6 ±0,25	Понтікус 11,1 Ленокс 10,5 Торрілд 10,4	8,7	мін.10,5 макс. 14,0 ср.зн. 11,6 ±0,30	Фаустус 14,0 Турандот 12,4 Єтана 12,3	8,7	мін.10,3 макс. 12,6 ср.зн. 11,4 ±0,26	Токрілд 12,6 Магбол 12,8 Ленокс 12,4	8,1		

ДАДАТОК А 5.1

Таблиця А 5.1

Зміни вмісту білка в зерні сучасних сортів різних груп за походженням в порівнянні з сортами-стандартами

Групи сортів за місцем створення	Ва-ріант доз добрив, N	Серед-ній вміст білка у 2020 – 22рр, %	Різниця за вмістом білка зерна сортів ранніх етапів селекції							
			Одеська 16		Безоста 1		Одеська 51		Пилипівка	
			%*	%**	%*	%**	%*	%**	%*	%**
I – сорти селекції СГІ-НЦНС	60	10	+2,0	20	+1,8	18	+1,2	12	+0,5	5
	120	11,2	+2,1	18,7	+2,1	18,7	+1,0	8,9	+0,4	3,5
II – сорти українсь-кої селекції	60	10,3	+1,7	16,5	+1,5	14,5	+0,9	8,7	+0,2	1,9
	120	11,0	+2,3	20,9	+2,0	18,1	+1,2	10,9	+0,6	5,4
III – сорти закордон-ної селекції	60	9,9	+2,1	21,2	+1,9	19,1	+1,3	13,1	+0,6	6,0
	120	10,9	+2,4	22	+2,1	19,2	+1,3	11,9	+0,7	6,4

«*» – кількісна різниця; «**» – різниця у відносних величинах (%)

ДОДАТОК А 6.1

Таблиця А 6.1

Зміни рівня седиментації у сортів пшениці озимої різних груп за походженням у залежності від рівня живлення,мл

Фактор В	Фактор С	Фактор А								
		2020р.			2021р.			2022р.		
		Рівень седиментації і, %	Кращі сорти, %	Коеф варіації, V %	Рівень седиментації, %	Кращі сорти, %	Коеф варіації, V %	Рівень седиментації, %	Кращі сорти, %	Коеф варіації, V %
І 20 шт.	60	Мін 31 Макс.49 Ср.зн.43 ± 1,2	Альбатрос од.49 Ветеран 49 Житниця од. 48	12,8	мін.41 макс.67 ср.зн.53 ±1,7	Водограй 67 Мудрість од. 67 Годувальниця 62	12,8	мін.41 макс.62 ср.зн. 51 ±1,5	Годувальниця 62 Литанівка 60 Альботрос 58	9,9
	120	Мін 32 Макс.57 Ср.зн 47 ±1,4	Водограй 57 Оптіма од. 56 Альбатрос од. 53	13,7	Мін 52 Макс.79 Ср.зн 63 ±1,9	Мудрість од. 79 Годувальниця од.78 Водограй 74	16,2	Мін 46 Макс.70 Ср.зн 62 ± 1,3	Литанівка 70 Місія 68 Манера 67	13,5
ІІ 15 шт.	60	мін.22 макс.51 ср.зн.40 ±2,1	Кошова 51 Росинка 48 Валенсія 47	19,9	мін.40 макс.64 ср.зн.50 ±2,2	Ярославна 64 Геничанка 63 Кесарія 60	16,5	мін.35 макс.54 ср.зн.44 ±0,18	Росинка 54 Аналог 53 Квітка ланів 52	6,4
	120	мін.27 макс.55 ср.зн.43 ±1,5	Валенсія 55 Квітка ланів 54 Аналог 52	9,6	мін.51 макс.67 ср.зн.60 ±1,55	Славія 67 Кошова 66 Ярославна 66	9,6	мін.44 макс.67 ср.зн.57 ± 0,26	Світанок 67 Аналог 64 Квітка ланів 63	8,8
ІІІ 11 шт.	60	мін.29 макс.48 ср.зн.39 ±1,99	Торрілд 48 Турандот 47 Понтікус 47	17,1	мін.34 макс. 61 ср.зн.47 ±2,8	Токрілд 61 Фаустус 60 Ортегус 58	20,2	мін.34 макс.49 ср.зн.41 ±1,5	Понтікус 49 Токрілд 48 Ленокс 47	12,1
	120	мін.31 макс.52 ср.зн. 40±1,88	Ленокс 52 Понтікус 48 Колонія 46	15,4	мін.40 макс. 66 ср.зн.54±2,3	Фаустус 66 Турандот 62 Єтана 61	14,0	мін.40 макс. 59 ср.зн.50± 1,8	Понтікус 59 Токрілд 57 Ленокс 57	12,1

ДОДАТОК А. 7.1

НІР₀₅ для врожайності в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , т/га	F _ф
А (Рік)	0,05	21,68*
В (Сорт)	0,26	72,71*
С (Добрива)	0,05	674,72*
АВ	0,37	10,45*
АС	0,07	89,64*
ВС	0,37	5,09*
АВС	0,53	3,48*

ДОДАТОК А. 7.2

НІР₀₅ для результатів густоти в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , шт	F _ф
А (Рік)	2,6	701,2*
В (Сорт)	13,4	18,4*
С (Добрива)	2,6	2836,4*
АВ	18,9	7,2*
АС	3,7	155,4*
ВС	18,9	10,3*
АВС	26,8	7,2*

ДОДАТОК А. 7.3

НІР₀₅ для маси зерна з 1м² в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , г	F _ф
А (Рік)	4,5	114,7*
В (Сорт)	22,7	144,6*
С (Добрива)	4,5	1059,8*
АВ	32,1	22,6*
АС	6,4	66,9*
ВС	32,1	10,5*
АВС	45,5	5,7*

ДОДАТОК А. 7.4

НІР₀₅ для маси зерна з одного колосу в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , г	F _ф
А (Рік)	-	-
В (Сорт)	0,05	106,0*
С (Добрива)	-	-
АВ	0,08	10,0*
АС	0,01	263,8*
ВС	0,08	4,5*
АВС	0,11	5,0*

- Фактор немає суттєвого впливу

ДОДАТОК А. 7.5

НІР₀₅ для маси 1000 зерен в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , г	F _ф
А (Рік)	0,08	814*
В (Сорт)	0,43	33*
С (Добрива)	0,08	312*
АВ	0,61	25*
АС	-	-
ВС	0,61	16*
АВС	0,87	22*

- Фактор немає суттєвого впливу

ДОДАТОК А. 7.6

НІР₀₅ вмісту білка в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , г	F _ф
А (Рік)	-	-
В (Сорт)	0,43	23,4*
С (Добрива)	0,08	652,2*
АВ	0,61	9,4*
АС	0,12	46,2*
ВС	0,61	3,7*
АВС	0,87	3,1*

- Фактор немає суттєвого впливу

ДОДАТОК А. 7.7

НІР₀₅ седиментації в дослідженнях сучасних сортів пшениці м'якої озимої вітчизняної та зарубіжної селекції

Фактор	НІР ₀₅ , мл.	F _ф
А (Рік)	0,55	494,5*
В (Сорт)	2,77	23,4*
С (Добрива)	0,55	652,2*
АВ	1,02	9,4*
АС	-	-
ВС	1,02	3,7*
АВС	5,54	3,1*

- Фактор немає суттєвого впливу

ДОДАТОК Б. 1

Таблиця Б.1

Врожайність інтрогресивних ліній та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень, т/га

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га, Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В \bar{X}
	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	
Одеська 16	3,08	3,01	3,05	3,53	3,54	3,54	3,29
Одеська 51	4,34	3,57	3,96	4,18	3,92	4,05	4,00
Куяльник	6,83	6,06	6,45	7,34	6,56	6,95	6,70
Щедрість	6,67	6,12	6,40	8,23	7,01	7,62	7,01
Дума	6,54	5,54	6,04	7,76	5,63	6,70	6,37
Годувальниця	5,94	5,07	5,51	7,17	5,52	6,35	5,93
Новосмуглянка	6,43	5,74	6,09	7,56	6,49	7,03	6,56
Колонія	5,84	5,34	5,59	6,87	6,06	6,47	6,03
\bar{X}	5,71	5,06	5,38	6,58	5,59	6,09	5,73
Лінії-носії гена <i>GPC-B1</i>							
9099 <i>GPC-B1-</i>	5,95	5,56	5,76	6,96	6,32	6,64	6,20
9155 <i>GPC-B1+</i>	6,37	4,85	5,61	7,05	5,77	6,41	6,01
9200 <i>GPC-B1+</i>	6,22	4,95	5,59	7,26	5,96	6,61	6,10
9250 <i>GPC-B1+</i>	6,23	5,03	5,63	7,13	5,84	6,49	6,06
9300 <i>GPC-B1+</i>	6,01	4,87	5,44	7,07	5,76	6,42	5,93
9525 <i>GPC-B1+</i>	5,75	5,57	5,66	6,89	5,88	6,39	6,02
\bar{X}	6,09	5,14	5,61	7,06	5,92	6,49	6,05
Лінії - носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>							
E 1598/12	5,67	5,33	5,50	6,26	6,23	6,25	5,87
PIL799/16	6,20	4,58	5,39	6,89	5,51	6,20	5,80
PIL634/18	6,19	5,01	5,60	7,61	5,69	6,65	6,13
PIL814/13	5,69	4,66	5,18	6,74	5,11	5,93	5,55
AIL379/18	6,57	5,47	6,02	7,30	6,00	6,65	6,34
AIL96ф/18	6,66	5,55	6,11	7,44	6,08	6,76	6,43
F268-14	5,60	4,58	5,09	6,75	5,15	5,95	5,52
PIL690/18	6,28	5,15	5,72	6,58	5,67	6,13	5,92
PIL747/18	5,83	4,78	5,31	7,42	5,63	6,53	5,92
H 242-197-2	5,90	4,83	5,37	7,42	5,33	6,38	5,87
E 175-09	5,64	4,62	5,13	7,40	5,52	6,46	5,80
E 1089-19	6,59	5,63	6,11	8,08	6,56	7,32	6,72
NIL2	5,40	4,65	5,03	6,47	5,65	6,06	5,54
NIL4	6,05	5,45	5,75	7,05	6,35	6,70	6,23
AIL327/18	6,08	5,28	5,68	7,48	6,16	6,82	6,25
AIL341/18	5,47	4,67	5,07	6,97	5,57	6,27	5,67
E2778/14	5,62	4,92	5,27	7,02	5,83	6,43	5,85
PIL355PH18	5,60	4,86	5,23	6,69	5,78	6,24	5,73
Фактор АС \bar{X}	5,95	5,00	5,47	7,09	5,77	6,43	5,95

ДОДАТОК Б. 2

Таблиця Б. 2

Маса 1000 зерен в інтрогресивних лінії та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень, г

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В \bar{X}
	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	
Одеська 16	38,0	36,6	37,3	38,6	39,6	39,1	38,2
Одеська 51	37,7	37,0	37,4	38,0	37,3	37,7	37,5
Куяльник	37	36,2	36,6	37,0	36,8	36,9	36,8
Щедрість	37,3	36,7	37,0	38,3	35,5	36,9	37,0
Дума	36,6	35,6	36,1	36,9	37,0	37,0	36,5
Годувальниця	36,8	36,0	36,4	37,1	36,9	37,0	36,7
Новосмуглянка	40,1	39,7	39,9	37,9	37,3	37,6	38,8
Колонія	37,0	35,9	36,5	37,1	36,8	37,0	36,7
\bar{X}	37,6	36,7	37,1	37,6	37,2	37,4	37,3
Лінії - носії гена <i>GPC-B1</i>							
9099 <i>GPC-B1-</i>	36,9	35,5	36,2	37,9	36,9	37,4	36,8
9155 <i>GPC-B1+</i>	37,2	36,3	36,8	36,9	36,1	36,5	36,6
9200 <i>GPC-B1+</i>	38,3	38,3	38,3	36,6	39,6	38,1	38,2
9250 <i>GPC-B1+</i>	36,7	35,6	36,2	35,8	35,1	35,5	35,8
9300 <i>GPC-B1+</i>	35,8	34,7	35,3	35,7	33,6	34,7	35,0
9525 <i>GPC-B1+</i>	35,3	35,3	35,3	35,7	36,3	36,0	35,7
\bar{X}	36,7	36,0	36,3	36,4	36,3	36,4	36,3
Лінії - носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>							
E 1598/12	37,2	36,5	36,9	36,7	36,3	36,5	36,7
PIL799/16	41,2	39,6	40,4	40,9	40,3	40,6	40,5
PIL634/18	38,9	37,7	38,3	38,3	37,3	37,8	38,1
PIL814/13	42,8	41,7	42,3	42,8	42	42,4	42,3
AIL379/18	36,3	34,7	35,5	35	33,4	34,2	34,9
AIL96ф/18	38,7	37,6	38,2	37,9	37	37,5	37,8
F268-14	35,8	34,6	35,2	35,3	34,5	34,9	35,1
PIL690/18	39,5	38,1	38,8	39,1	39,1	39,1	39,0
PIL747/18	39,5	37,9	38,7	38,7	37,7	38,2	38,5
H 242-197-2	44,8	45,2	45,0	47,2	47,2	47,2	46,1
E 175-09	36,9	35,5	36,2	36,6	35,6	36,1	36,2
E 1089-19	39,0	38,0	38,5	40,9	40,3	40,6	39,6
NIL2	39,8	38,7	39,3	39,4	38,7	39,1	39,2
NIL4	38,9	38,6	38,8	39,5	38,6	39,1	38,9
AIL327/18	39,3	38,8	39,1	38,9	38,8	38,9	39,0
AIL341/18	36,3	37,1	36,7	37,7	37,1	37,4	37,1
E2778/14	42,3	41,1	41,7	41,4	41,1	41,3	41,5
PIL355PH18	43,4	41,9	42,7	42,4	41,9	42,2	42,4
Фактор АС \bar{X}	39,5	38,5	39,0	39,4	38,7	39,0	39,0

Примітка: «¹» – Фактор впливу А.

ДОДАТОК Б. 3

Таблиця Б. 3

Вміст білка зерна в інтрогресивних лінії та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень, %.

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В X̄
	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	
Одеська 16	12,5	12,4	12,5	13,3	14,1	13,7	13,1
Одеська 51	12,0	11,5	11,8	13	12,7	12,9	12,3
Куяльник	11,9	11,7	11,8	13,1	12,5	12,8	12,3
Щедрість	11,4	10,5	11,0	12,4	10,7	11,6	11,3
Дума	10,5	9,9	10,2	11,1	10,5	10,8	10,5
Годувальниця	10,8	10,5	10,7	12,7	12,0	12,4	11,5
Новосмуглянка	11,2	10,8	11,0	12,5	11,4	12,0	11,5
Колонія	11,3	10,1	10,7	12,5	11,2	11,9	11,3
X̄	11,5	10,9	11,2	12,6	11,9	12,2	11,3
Лінії - носії гена <i>GPC-B1</i>							
9099 <i>GPC-B1-</i>	11,8	12,0	11,9	13,0	12,5	12,8	12,3
9155 <i>GPC-B1+</i>	12,4	12,0	12,2	13,7	13,2	13,5	12,8
9200 <i>GPC-B1+</i>	12,5	12,5	12,5	13,6	13,2	13,4	13,0
9250 <i>GPC-B1+</i>	12,7	12,6	12,7	13,8	13,2	13,5	13,1
9300 <i>GPC-B1+</i>	12,7	12,2	12,5	14,0	13,6	13,8	13,1
9525 <i>GPC-B1+</i>	13,0	12,0	12,5	14,2	14,1	14,2	13,3
X̄	12,5	12,2	12,4	13,7	13,3	13,5	12,9
Лінії - носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>							
E 1598/12	12,7	12,2	12,5	13,9	13,9	13,9	13,2
PIL799/16	12,5	11,8	12,2	13,7	13,1	13,4	12,8
PIL634/18	11,5	10,9	11,2	12,3	12,3	12,3	11,8
PIL814/13	12,5	12,5	12,5	13,3	13,1	13,2	12,9
APL379/18	12,6	11,6	12,1	13,3	13,3	13,3	12,7
APL96ф/18	12,2	10,9	11,6	12,9	12,1	12,5	12,0
F268-14	12,8	11,8	12,3	13,6	12,0	12,8	12,6
PIL690/18	12,3	10,9	11,6	13,4	12,7	13,1	12,3
PIL747/18	12,1	12,1	12,1	12,7	12,3	12,5	12,3
H 242-197-2	11,7	10,8	11,3	12,5	12,3	12,4	11,8
E 175-09	12,2	11,3	11,8	12,6	11,9	12,3	12,0
E 1089-19	11,3	10,5	10,9	12,5	12,5	12,5	11,7
NIL2	11,2	10,8	11,0	12,4	11,9	12,2	11,6
NIL4	10,5	10,1	10,3	11,7	11,1	11,4	10,9
APL327/18	10,5	10,2	10,4	11,7	11,2	11,5	10,9
APL341/18	11,5	10,8	11,2	12,6	12,2	12,4	11,8
E2778/14	10,7	10,3	10,5	11,9	11,7	11,8	11,2
PIL355PH18	11,7	11,1	11,4	12,9	11,8	12,4	11,9
Фактор AC X̄	11,8	11,1	11,5	12,8	12,3	12,5	12,0

Примітка: «¹» – Фактор впливу А.

ДОДАТОК Б. 4

Таблиця Б. 4

Умовний збір білка інтрогресивних ліній та сортів-стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень, т/га.

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В \bar{X}
	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	
Одесьька 16	0,38	0,37	0,38	0,47	0,50	0,49	0,43
Одесьька 51	0,52	0,41	0,47	0,54	0,50	0,52	0,49
Куяльник	0,81	0,71	0,76	0,96	0,82	0,89	0,83
Щедрість	0,76	0,64	0,70	1,02	0,75	0,89	0,79
Дума	0,69	0,55	0,62	0,86	0,59	0,73	0,67
Годувальниця	0,64	0,53	0,59	0,91	0,66	0,79	0,69
Новосмуглянка	0,72	0,62	0,67	0,95	0,74	0,85	0,76
Колонія	0,66	0,54	0,60	0,86	0,68	0,77	0,69
\bar{X}	0,65	0,55	0,60	0,82	0,66	0,74	0,67
Лінії - носії гена <i>GPC-B1</i>							
9099 <i>GPC-B1-</i>	0,70	0,67	0,69	0,91	0,79	0,85	0,77
9155 <i>GPC-B1+</i>	0,79	0,58	0,69	0,97	0,76	0,87	0,78
9200 <i>GPC-B1+</i>	0,76	0,62	0,69	0,99	0,79	0,89	0,79
9250 <i>GPC-B1+</i>	0,79	0,63	0,71	0,99	0,77	0,88	0,80
9300 <i>GPC-B1+</i>	0,76	0,59	0,68	0,99	0,79	0,89	0,78
9525 <i>GPC-B1+</i>	0,76	0,67	0,72	1,00	0,83	0,92	0,82
\bar{X}	0,76	0,63	0,70	0,98	0,79	0,88	0,79
Лінії - носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>							
E 1598/12	0,72	0,65	0,69	0,92	0,87	0,90	0,79
PIL799/16	0,78	0,54	0,66	0,95	0,72	0,84	0,75
PIL634/18	0,71	0,54	0,63	0,94	0,70	0,82	0,72
PIL814/13	0,71	0,58	0,65	0,90	0,67	0,79	0,72
AIL379/18	0,83	0,64	0,74	0,97	0,80	0,89	0,81
AIL96ф/18	0,81	0,61	0,71	0,96	0,74	0,85	0,78
F268-14	0,71	0,54	0,63	0,92	0,62	0,77	0,70
PIL690/18	0,77	0,56	0,67	0,88	0,72	0,80	0,73
PIL747/18	0,76	0,58	0,67	0,94	0,69	0,82	0,74
H 242-197-2	0,69	0,52	0,61	0,93	0,66	0,80	0,70
E 175-09	0,69	0,52	0,61	0,93	0,66	0,80	0,70
E 1089-19	0,74	0,59	0,67	1,01	0,82	0,92	0,79
NIL2	0,60	0,50	0,55	0,80	0,67	0,74	0,64
NIL4	0,64	0,55	0,60	0,82	0,70	0,76	0,68
AIL327/18	0,64	0,54	0,59	0,88	0,69	0,79	0,69
AIL341/18	0,63	0,50	0,57	0,88	0,68	0,78	0,67
E2778/14	0,60	0,51	0,56	0,84	0,68	0,76	0,66
PIL355PH18	0,66	0,54	0,60	0,86	0,68	0,77	0,69
Фактор АС \bar{X}	0,71	0,56	0,63	0,91	0,71	0,81	0,72

Примітка: «¹» – Фактор впливу А.

ДОДАТОК Б. 5

Таблиця Б. 5

Маса білка в 1000 зерен у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів у залежності від дози добрив та року досліджень, г

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В X̄
	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	
Одеська 16	4,74	4,53	4,64	5,29	5,59	5,44	5,04
Одеська 51	4,54	4,26	4,40	4,97	4,73	4,85	4,63
Куяльник	4,71	4,22	4,47	5,28	4,60	4,94	4,70
Щедрість	4,49	3,84	4,17	5,05	3,81	4,43	4,30
Дума	3,85	3,51	3,68	4,22	3,88	4,05	3,87
Годувальниця	3,99	3,79	3,89	4,73	4,41	4,57	4,23
Новосмуглянка	4,49	4,30	4,40	4,73	4,24	4,49	4,44
Колонія	4,30	3,63	3,97	4,91	4,12	4,52	4,24
X̄	4,39	4,01	4,20	4,90	4,42	4,66	4,43
<i>Лінії- носії гена GPC-B1</i>							
9099 GPC-B1-	4,35	4,37	4,36	4,96	4,28	4,61	4,49
9155 GPC-B1+	4,63	4,77	4,70	5,10	4,4	4,75	4,73
9200 GPC-B1+	4,66	4,48	4,57	5,08	4,99	5,04	4,80
9250 GPC-B1+	4,65	4,23	4,44	5,01	4,28	4,65	4,54
9300 GPC-B1+	4,53	4,22	4,38	4,94	4,61	4,78	4,58
9525 GPC-B1+	4,47	4,37	4,42	5,21	4,65	4,93	4,68
X̄	4,55	4,41	4,48	5,05	4,54	4,79	4,64
<i>Лінії - носії генів високої білковості від A. tauschii</i>							
E 1598/12	4,54	4,47	4,51	5,27	5,20	5,24	4,87
PIL799/16	5,15	4,68	4,92	5,69	5,26	5,48	5,20
PIL634/18	4,47	4,09	4,28	4,70	4,59	4,65	4,46
PIL814/13	5,34	5,21	5,28	5,65	5,47	5,28	5,37
AIL379/18	4,57	4,04	4,31	4,85	4,65	4,75	4,53
AIL96ф/18	4,73	4,11	4,42	4,93	4,55	4,74	4,58
F268-14	4,57	4,09	4,33	4,80	4,15	4,48	4,40
PIL690/18	4,87	4,15	4,51	5,15	4,85	5,00	4,76
PIL747/18	5,16	4,59	4,88	4,92	4,67	4,80	4,84
H 242-197-2	5,23	4,88	5,06	5,88	5,71	5,80	5,43
E 175-09	4,52	4,02	4,27	4,65	4,29	4,47	4,37
E 1089-19	4,40	3,98	4,19	5,03	5,01	5,02	4,61
NIL2	4,46	4,18	4,32	4,89	4,61	4,75	4,54
NIL4	4,08	3,90	3,99	4,62	4,28	4,45	4,22
AIL327/18	4,13	3,96	4,05	4,55	4,35	4,45	4,25
AIL341/18	4,17	4,01	4,09	4,75	4,53	4,64	4,37
E2778/14	4,53	4,23	4,38	4,93	4,81	4,87	4,63
PIL355PH18	5,08	4,65	4,87	5,47	4,94	5,21	5,04
Фактор AC X̄	4,67	4,29	4,48	5,04	4,77	4,89	4,69

Примітка: «¹» – Фактор впливу А.

ДОДАТОК Б. 6

Таблиця Б. 6

Показник седиментації SDS - 30 в інтрогресивних лінії та сортів стандартів в залежності від дози добрив та року досліджень, мл.

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В X̄
	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	2021 ¹ р.	2022 ¹ р.	\bar{x}	
Одеська 16	52,2	47,0	49,6	58,5	50,7	51,6	51,6
Одеська 51	52,9	49,0	51,0	61,7	57,7	54,5	54,5
Куяльник	60,2	59,0	59,6	74,3	65,0	63,6	63,6
Щедрість	41,5	37,0	39,3	48,7	43,0	41,9	41,9
Дума	44,1	41,0	42,6	47,0	42,0	43,3	43,3
Годувальниця	63,9	58,0	61,0	74,0	65,0	64,4	64,4
Новосмуглянка	29,0	25,0	27,0	40,0	37,0	31,6	31,6
Колонія	49,6	46,0	47,8	69,0	60,7	54,6	54,6
X̄	49,2	45,3	47,2	59,2	52,6	50,7	50,7
<i>Лінії носії гена GPC-B1</i>							
9099 GPC-B1-	69,1	60,0	64,55	74,0	66,3	66,8	66,8
9155 GPC-B1+	79,0	73,0	76	82,0	71,7	76,3	76,3
9200 GPC-B1+	75,0	71,0	73	84,3	73,3	75,3	75,3
9250 GPC-B1+	75,7	70,0	72,85	89,7	77,7	77,2	77,2
9300 GPC-B1+	78,6	74,0	76,3	91,3	80,3	80,1	80,1
9525 GPC-B1+	74,5	67,0	70,75	91,0	80,0	76,7	76,7
X̄	75,3	69,2	72,2	85,4	74,9	75,4	75,4
<i>Лінії носії генів високої білковості від A. tauschii</i>							
E 1598/12	69,8	59,0	64,4	79,0	72,0	68,8	68,8
PIL799/16	77,2	73,0	75,1	80,3	70,3	75,2	75,2
PIL634/18	62,5	57,0	59,8	68,7	62,0	62,0	62,0
PIL814/13	77,9	69,0	73,5	88,7	77,3	77,3	77,3
AIL379/18	70,2	68,0	69,1	82,0	71,0	72,1	72,1
AIL96ф/18	63,6	54,0	58,8	75,7	67,3	63,9	63,9
F268-14	59,5	53,0	56,3	61,0	53,0	56,6	56,6
PIL690/18	64,3	57,0	60,7	84,3	77,0	68,7	68,7
PIL747/18	75,7	67,0	71,4	78,7	70,3	72,6	72,6
H 242-197-2	60,3	57,0	58,7	75,3	67,0	63,7	63,7
E 175-09	69,8	61,0	65,4	70,7	63,7	66,1	66,1
E 1089-19	64,3	63,0	63,7	84,7	75,7	70,3	70,3
NIL2	77,0	63,0	70,0	88,2	63,0	72,2	72,2
NIL4	69,0	52,0	60,5	81	52,0	62,9	62,9
AIL327/18	61,0	55,0	58,0	74,6	55,0	60,7	60,7
AIL341/18	73,0	58,0	65,5	76,3	58,0	66,2	66,2
E2778/14	55,0	51,0	53,0	72	51,0	56,4	56,4
PIL355PH18	68,0	67,0	67,5	76	67,0	69,1	69,1
Фактор AC X̄	67,7	60,2	64,0	77,6	65,1	66,9	66,9

Примітка: «¹» – Фактор впливу А.

ДОДАТОК Б. 7

Таблиця Б. 7

Вміст вітаміну В₂ у генетичних джерел підвищеного вмісту білка в порівнянні з сортами-стандартами у варіантах доз добрив N 60 та N 120 в середньому по роках досліджень, мкг/г.

Сорт, лінія	Варіант внесення добрив, кг/га	
	N 60	N 120
Одеська 16	1,345	1,443
Одеська 51	3,167	3,231
Куяльник	1,535	2,865
Щедрість	0,643	0,640
Дума	0,567	0,567
Годувальниця	1,206	1,232
Новосмуглянка	0,747	1,043
Колонія	0,656	0,630
Лінії- носії гена <i>GPC-B1</i>		
9099 <i>GPC-B1-</i>	0,557	0,776
9155 <i>GPC-B1+</i>	1,243	1,672
9200 <i>GPC-B1+</i>	1,779	2,192
9250 <i>GPC-B1+</i>	2,184	1,630
9300 <i>GPC-B1+</i>	0,956	1,630
9525 <i>GPC-B1+</i>	2,968	3,462
Лінії- носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>		
Er 1598/12	3,690	4,034
PII799/16	3,320	3,448
PII634/18	1,252	1,660
PII814/13	1,638	1,726
AI1379/18	2,248	2,365
AI196ф/18	1,522	1,544
F268-14	2,248	0,763
PII690/18	1,522	3,282
PII747/18	0,621	2,167
H 242-197-2	2,232	2,302
E 175-09	2,783	2,997
E 1089-19	1,211	1,220
NIL2	0,345	0,436
NIL4	0,456	0,558
AI1327/18	0,434	0,438
AI1341/18	0,578	0,625
E2778/14	1,322	1,397
PII355PH18	1,212	1,234
Min	0,345	0,436
Max	3,69	4,034
\bar{X}	1,506	1,755
CV, %	61,5	57,9

ДОДАТОК Б. 8.1

НІР₀₅ для врожайності інтрогресивних ліній та сортів-стандартів.

Фактор	Частка впливу, %	НІР ₀₅ , кг/т.	F _ф
А (Рік)	4,32	0,05	2603,3***
В (Сорт)	0,75	0,16	125,5***
С (Добрива)	92,3	0,05	1798,2***
АВ	2,9	0,22	10,4***
АС	0,16	0,04	59,8***
ВС	0,16	0,22	5,6***
АВС	0,13	0,32	3,0***

ДОДАТОК Б. 8.2

НІР₀₅ для показника маса 1000 зерен у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів

Фактор	Частка впливу, %	НІР ₀₅ , г.	F _ф
А (Рік)	28,0	0,10	176***
В (Сорт)	14,9	0,43	12***
С (Добрива)	34,0	0,10	101***
АВ	0,5	0,61	-
АС	-	-	5***
ВС	22,5	0,61	4***
АВС	-	-	-

ДОДАТОК Б. 8.3

НІР₀₅ вмісту білка в зерні інтрогресивних ліній та сортів-стандартів

Фактор	Частка впливу, %	НІР ₀₅ , %.	F _ф
А (Рік)	0,67	0,05	140,1***
В (Сорт)	0,18	0,24	637,5***
С (Добрива)	98,7	0,05	33,1***
АВ	0,12	0,33	-
АС	-	-	2,4***
ВС	0,13	0,33	2,2***
АВС	-	-	-

ДОДАТОК Б. 8.4

НІР₀₅ умовного збору білка у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів

Фактор	Частка впливу, %	НІР ₀₅ , т/га.	F _ф
А (Рік)	2,0	0,005	1934,5***
В (Сорт)	0,1	0,02	2191,0***
С (Добрива)	74,8	0,005	60,7***
АВ	4,1	0,02	55,4***
АС	1,2	0,007	7,1***
ВС	4,1	0,02	3,5***
АВС	5,1	0,04	1,9**

ДОДАТОК Б. 8.5

НІР₀₅ вмісту білка в 1000 зернах у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів.

Фактор	Частка впливу, %	НІР ₀₅ , г.	F _ф
А (Рік)	1,5	0,02	264,7***
В (Сорт)	0,25	0,10	528,8***
С (Добрива)	97,6	0,02	35,0***
АВ	0,25	0,15	3,7***
АС	-	-	-
ВС	0,55	0,15	3,0***
АВС	-	-	-

ДОДАТОК Б. 8.6

НІР₀₅ показника седиментації SDS - 30 у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів.

Фактор	Частка впливу, %	НІР ₀₅ , мл.	F _ф
А (Рік)	3,3	0,52	517,4***
В (Сорт)	0,5	2,11	452,8***
С (Добрива)	88,7	0,52	97,6***
АВ	0,5	2,99	4,0***
АС	6,0	0,74	29,5***
ВС	1,0	2,99	5,8***
АВС	-	-	-

ДОДАТОК В. 1

Таблиця В. 1

Результати добору рекомбінантних ліній F3 від потрійних схрещувань лінії з геном *GPC-B1* і лініями донорами генів високої білковості від А.

tauschii, 2020-21р.

Гібридна комбінація	*	Відібрані лінії				Межі мінливості вмісту білка в зерні %		
		Стандартні		Високобілкові		max	min	\bar{X}
		*	%	*	%			
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Мелодія	60	19	31,6	8	13,3	14,3	11,4	12,9
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Наснага	62	22	35,4	11	17,7	14,2	10,9	12,6
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Ветеран	34	10	29,4	5	14,7	14,6	10,8	12,7
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Мудрість	52	17	32,6	8	15,3	13,1	10,8	12,0
(12/61 <i>GPC-B1</i> х Оптима) Мелодія	41	14	34,1	7	17,0	13,7	10,7	12,2
(12/61 <i>GPC-B1</i> Оптима) х Мудрість	60	19	31,6	10	16,6	14,9	11,8	13,4
\bar{X}, Σ	309	101	32,5	49	15,8	14,1	11,1	12,6
(336ф х 16В241) х 09/Е212	42	16	38,0	8	19,0	13,5	11,7	12,6
(Зміна х Е175_09) х F4Мудрість	47	15	31,9	8	17,0	15,9	12,1	14,0
Куяльник х (1161/16 х 1102/16)	54	16	29,6	9	16,6	17,1	13,2	15,2
Е234/09 х Мудрість F2	61	19	31,1	8	13,1	13,6	10,6	12,1
Е234/09 х Ера F2	61	19	31,1	8	13,1	13,6	10,6	12,1
(2418/14 х Селянка) х (ЕS25 х Вавтажок)	55	14	25,4	8	14,5	14,9	10,4	12,7
(2419/14 х Селянка) х (ЕS25 х Подяка)	42	15	35,7	7	16,6	13,2	10,6	11,9
\bar{X}, Σ	362	114	31,8	56	15,7	14,3	11,3	12,8

«*» – Кількість ліні, шт.

ДОДАТОК В. 2

Таблиця В. 2

Вміст білка в зерні рекомбінантних ліній (F4 ПСВ) від потрійних схрещувань лінії з геном *GPC-B1* і лініями донорами генів високої білковості від *A. tauschii*, 2021/22р.

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт.		Білковість зерна, %		Різниця	CV, %
	Стандартних	Високобілкових	Стандартних	Високобілкових		
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Мелодія	6	3	11,3	12,4	+0,9	6,3
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Наснага	6	3	11,2	12,9	+1,7	4,5
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Ветеран	6	3	11,6	12,8	+1,2	5,6
(13/11 <i>GPC-B1</i> х Оптима) х Мудрість	5	3	12,4	13,3	+0,9	6,6
(12/61 <i>GPC-B1</i> х Оптима) Мелодія	3	3	12,2	13,1	+0,9	6,3
(12/61 <i>GPC-B1</i> Оптима) х Мудрість	5	2	12,1	13,4	+1,3	7,6
\bar{X}	Σ 31	Σ 17	11,80	12,98	+1,15	6,15
(336ф х 16В241) х 09/Е212	3	3	12,5	13,7	+1,2	6,1
(Зміна х Е175_09) х F4//Мудрість	3	3	12,9	14,1	+1,2	6,4
Куяльник х (1161/16 х 1102/16)	4	3	12,1	13,2	+1,2	4,6
Е234/09 х Мудрість F2	8	3	11,8	13,3	+1,5	8,2
Е234/09 х Ера F2	8	3	12,6	13,6	+1	5,4
(2418/14 х Селянка) х (ЕS25 х Вавтажок)	4	3	12,9	13,4	+0,5	12,1
(2419/14 х Селянка) х (ЕS25 х Подяка)	5	3	13,2	14,0	+0,8	6,5
\bar{X}	Σ 33	Σ 21	12,6	13,6	1,0	7,0

ДОДАТОК В. 3

Таблиця В. 3

Врожайність рекомбінантних ліній (F4 ПСВ) від потрійних схрещувань ліній з геном *GPC-VI* і лініями донорами генів високої білковості від А.

tauschii, 2020/22р.

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт.		Врожайність ліній, т/га, сер. зн.		Різниця	CV, %
	Стандартних	Високобілкових	Стандартних	Високобілкових		
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Мелодія	6	3	4,72	4,40	-0,32	5,3
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Наснага	6	3	5,15	5,10	-0,05	5,6
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Ветеран	6	3	5,39	4,95	-0,44	4,4
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Мудрість	5	3	4,65	4,37	-0,28	5,2
(12/61 <i>GPC-VI</i> х Оптима) Мелодія	3	3	4,73	4,50	-0,23	5,4
(12/61 <i>GPC-VI</i> Оптима) х Мудрість	5	2	4,87	4,78	-0,09	6,5
\bar{X}	$\Sigma 31$	$\Sigma 17$	4,92	4,68	-0,24	5,4
(336ф х 16В241) х 09/Е212	3	3	4,70	4,65	-0,15	7,6
(Зміна х Е175_09) х F4//Мудрість	3	3	4,49	4,34	-0,15	7,3
Куяльник х (1161/16 х 1102/16)	4	3	4,35	4,29	-0,06	3,6
Е234/09 х Мудрість F2	8	3	4,53	4,30	-0,23	11,2
Е234/09 х Ера F2	8	3	4,39	4,04	-0,35	13,4
(2418/14 х Селянка) х (ЕS25 х Вавтажок)	4	3	4,48	4,01	-0,47	22,1
(2419/14 х Селянка) х (ЕS25 х Подяка)	5	3	4,27	3,97	-0,30	13,5
\bar{X}	$\Sigma 33$	$\Sigma 21$	4,57	4,26	-0,2	11,2

ДОДАТОК В. 4

Таблиця В. 4

Рівень седиментації в зерні рекомбінантних ліній (F4 ПСВ) від
потрійних схрещувань ліній з геном *GPC-VI* і лініями донорами генів
високої білковості від А. *Tauschii*, 2020/22р.

Гібридна комбінація	Кількість відібраних ліній, шт.		Рівень седиментації, мл.		Різни ця	CV, %
	Станда ртних	Високо білко вих	Станда ртних	Високо білкових		
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Мелодія	6	3	56	72	+16	8,3
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Наснага	6	3	59	74	+15	7,6
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Ветеран	6	3	57	68	+11	6,4
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Мудрість	5	3	61	75	+14	7,2
(12/61 <i>GPC-VI</i> х Оптима) Мелодія	3	3	62	75	+13	6,5
(12/61 <i>GPC-VI</i> Оптима) х Мудрість	5	2	64	71	+8	4,5
\bar{X}	Σ 31	Σ 17	59,8	72,5	+12,8	6,7
(336ф х 16В241) х 09/Е212	3	3	54	67	+13	7,6
(Зміна х Е175/09) х F4Мудрість	3	3	57	69	+12	6,3
Куяльник х (1161/16 х 1102/16)	4	3	60	73	+13	7,5
Е234/09 х Мудрість F2	8	3	46	62	+12	6,2
Е234/09 х Ера F2	8	3	44	58	+14	7,4
(2418/14 х Селянка) х (ЕS25 х Вавтажок)	4	3	48	64	+16	8,1
(2419/14 х Селянка) х (ЕS25 х Подяка)	5	3	52	65	+13	7,5
\bar{X}	Σ 33	Σ 21	51,6	65,4	13,3	7,2

ДОДАТОК В. 5

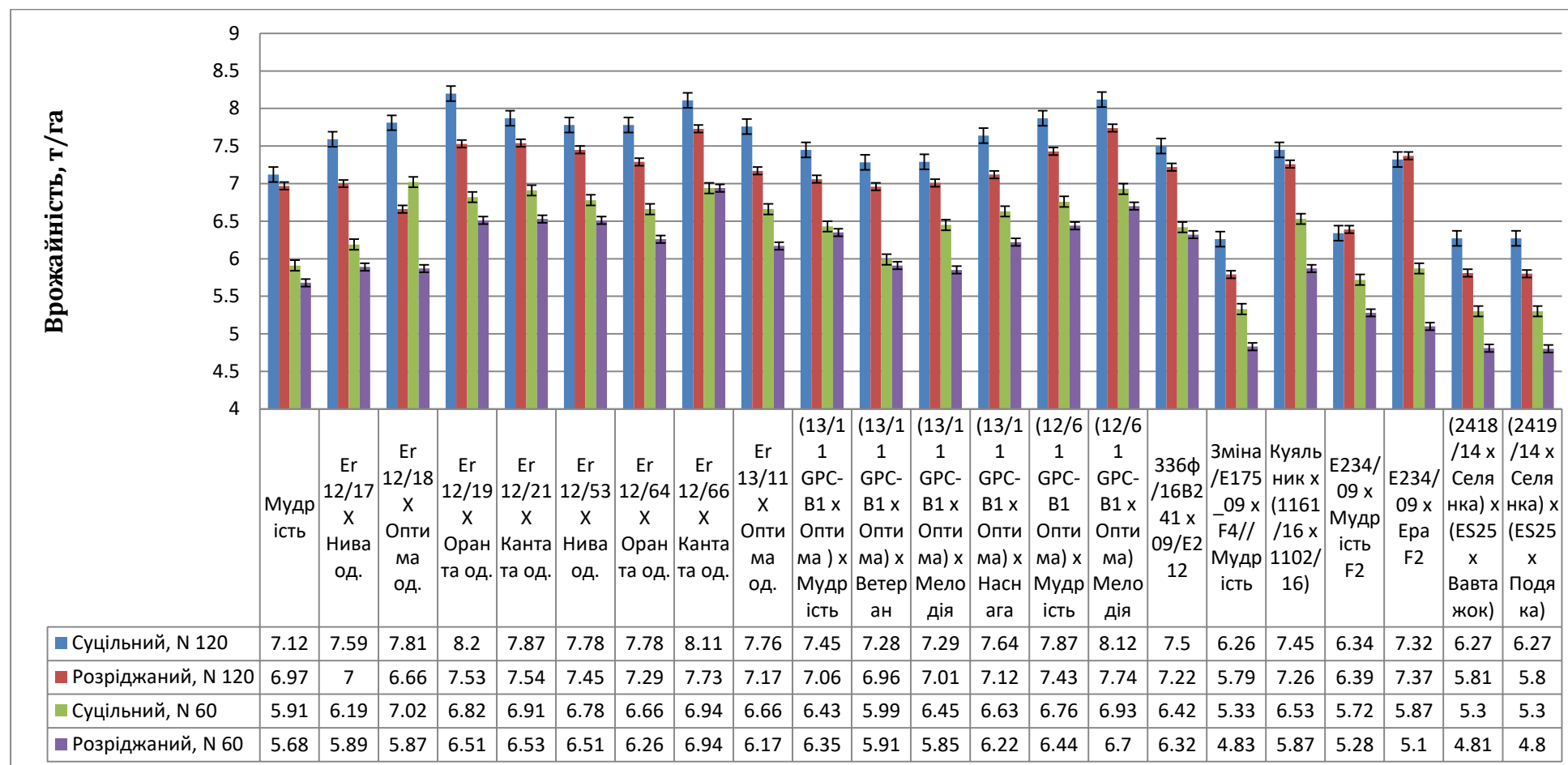
Таблиця В. 5

Ефективність добору у рекомбінантних ліній пшениці м'якої озимої, створених від схрещування місцевих сортів з донорами гена *GPC-VI* та генів від *A. tauschii* на різних етапах селекційного процесу, 2021-22 рік.

Гібридна комбінація	CP F3					PCV F 4				
	****	*		**		*		**		***
		Шт.	%	Шт.	%	Шт.	%	Шт.	%	%
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Мелодія	60	19	8	13,3	13,3	6	10,0	3	5,0	15,8
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Наснага	62	22	11	17,7	17,7	6	9,7	3	4,8	13,6
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Ветеран	34	10	5	14,7	14,7	6	17,6	3	8,8	30,0
(13/11 <i>GPC-VI</i> х Оптима) х Мудрість	52	17	8	15,3	15,3	5	9,6	3	5,8	17,6
(12/61 <i>GPC-VI</i> х Оптима) Мелодія	41	14	7	17,0	17	3	7,3	3	7,3	21,4
(12/61 <i>GPC-VI</i> Оптима) х Мудрість	60	19	10	16,7	16,6	5	8,3	2	3,3	10,5
\bar{X}	Σ 309	Σ 101	8,2	15,8	15,8	Σ 29	9,4	Σ 17	5,5	16,8
E234/09 х Мудрість F2	62	20	11	17,7	19	8	12,9	3	4,8	15,0
E234/09 х Ера F2	61	19	8	13,1	17	8	13,1	3	4,9	15,8
(2418/14 х Селянка) х (ES25 х Вавтажок)	55	14	8	14,5	16,6	4	7,3	3	5,5	21,4
(2419/14 х Селянка) х (ES25 х Подяка)	42	15	7	16,6	13,1	4	9,5	3	7,1	20,0
(336ф х 16В241) х 09/E212	42	16	8	19,0	13,1	3	7,1	3	7,1	18,8
(Зміна х E175_09) х F4Мудрість	47	15	8	17,0	14,5	3	6,4	3	6,4	20,0
Куяльник х (1161/16 х 1102/16)	54	16	9	16,6	16,6	4	7,4	3	5,6	18,8
\bar{X}	Σ 362	Σ 114	8,4	16,4	15,7	Σ 34	9,4	Σ 21	5,8	18,4

Примітка: «*» – Лінії з вмістом білка на рівні стандарту «**» – Високобілкові лінії; «***» – Підтверджені високобілкові лінії. «****» – Кількість відібраних, шт.

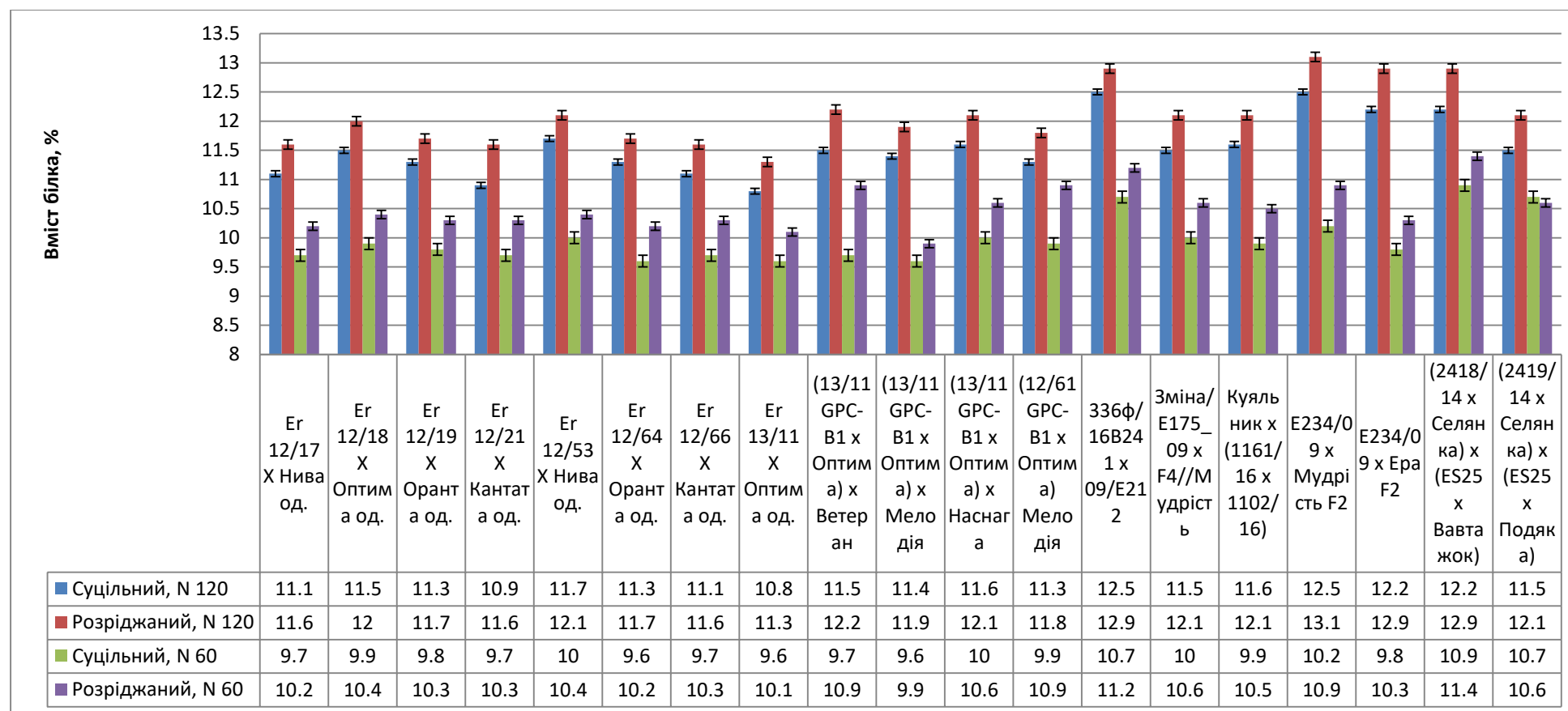
ДОДАТОК В. 6



Примітка: $HP_{0,05}$ Фактор дози добрив (A) - 0,43 т/га; Фактор генотипу (B) – 0,23; Фактор типу посіву (C) – 0,43 т/га.

Рисунок В. 6 – Врожайність рекомбінантних ліній в середньому по гібридних комбінаціях, відповідно до варіанту внесення добрив та типу посіву, т/га.

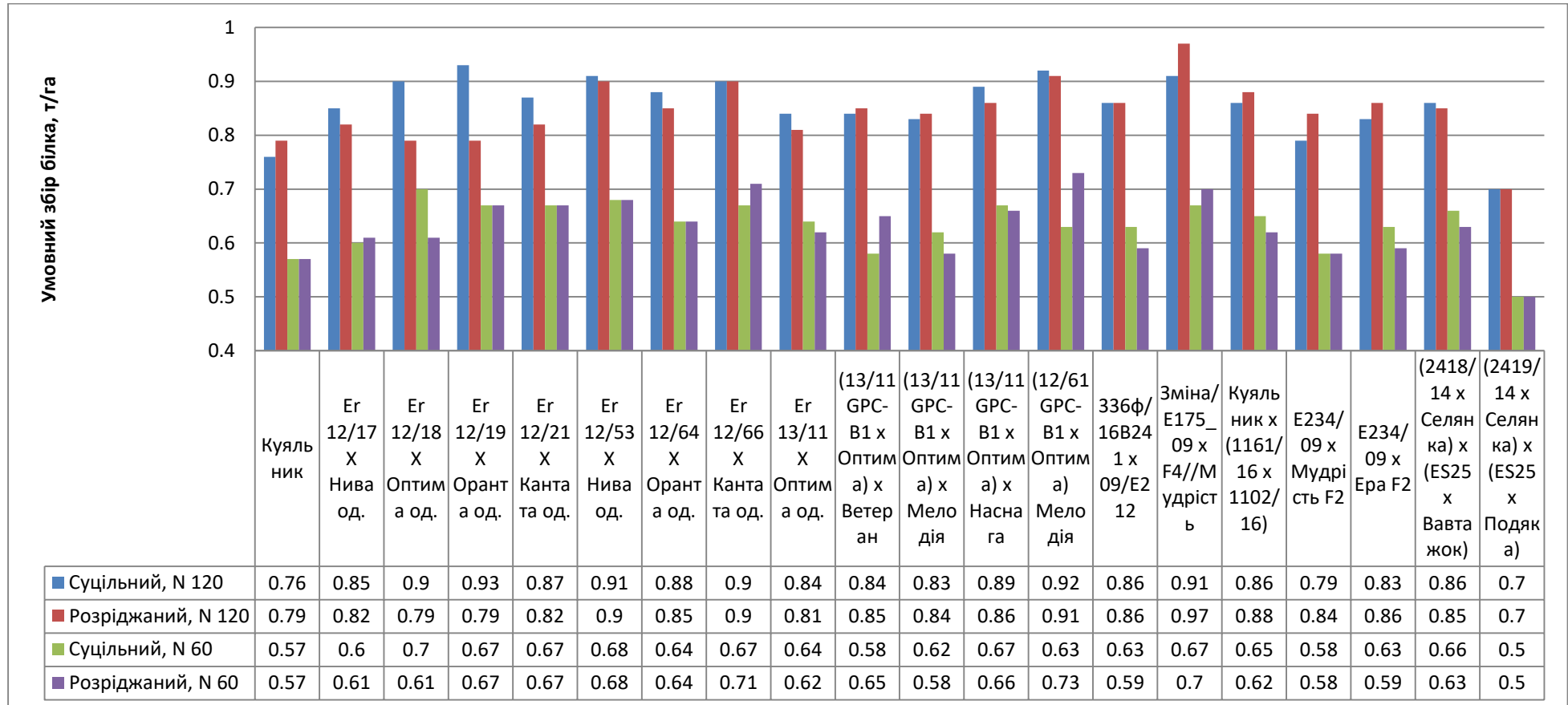
ДОДАТОК В. 7



Примітка: $НІР_{0,05}$ Фактор дози добрив (А) – 0,4 %; Фактор генотипу (В) – 0,2 %; Фактор типу посіву (С) – 0,4 %

Рисунок В.7 – Вміст білка в зерні рекомбінантних ліній в середньому по гібридних комбінаціях, відповідно до варіанту внесення добрив та типу посіву, т/га.

ДОДАТОК В. 8



Примітка: $НІР_{0,05}$ Фактор дози добрив (А) – 0,13 т/га; Фактор генотипу (В) – 0,07 т/га; Фактор типу посіву (С) – 0,13 т/га.

Рисунок В. 8 – Умовний збір білка рекомбінантних ліній, в середньому по гібридних комбінаціях відповідно до варіанту внесення добрив та типу посіву, т/га.

Додаток В. 9

Таблиця В.9

Агробіологічна характеристика кращих ліній, створених на базі парних схрещувань, в середньому по варіантах внесення добрив

Назва лінії, сорту	Гібридна комбінація	Врожай 2022 року			Врожай 2023 року					
		¹ , т/га	Білок, %	² , мл	³ , дні	⁴ , бл.	⁵ , см	¹ , т/га	Білок, %	⁶
Нива	Нива	69,6	9,9	63	15	4	110	76,7	11,0	
Er 13/11	Б.Ф. GPC-V1	62,6	10,8	54	13	7	75	72,7	11,7	
Куяльник	Стандарт	67,9	10,2	41	16	6	95	77,4	10,8	
Er 275/21	Er 13/11 X Оптима од.	58,1	11,2	44	13	9	115	69,2	11,4	
Er 28/21	Er 12/17 x Нива од.	59,9	10,8	37	14	7	100	71,5	11,2	
Er 33/21	Er 12/17 x Нива од.	67,9	10,3	43	14	9	95	81,8	11,0	GPC +
Er 37/21	Er 12/18 x Оптима од.	57,8	10,5	40	14	6	100	69,0	11,7	
Er 53/21	Er 12/18 x Оптима од.	61,6	10,5	38	16	7	100	64,0	12,0	GPC +
Er 60/21	Er 12/19 x Оранта од.	60,9	11,1	48	15	6	105	56,4	12,1	
Er 70/21	Er 12/19 x Оранта од.	55,5	10,1	41	16	5	100	79,7	11,1	GPC +
Er 76/21	Er 12/21 x Кантата од.	67,5	10,2	35	14	7	105	68,0	11,6	GPC +
Er 80/21	Er 12/21 x Кантата од.	57,7	9,9	67	13	5	95	85,3	10,9	
Er 83/21	Er 12/53 x Нива од.	53,9	10,3	55	14	4	110	75,3	11,1	
Er 126/21	Er 12/53 x Нива од.	54,4	10,3	53	14	7	110	73,3	11,0	
Er 128/21	Er 12/64 x Оранта од.	62,5	11,4	55	15	6	100	72,2	10,9	
Er 171/21	Er 12/64 x Оранта од.	61,5	11,3	68	14	5	100	69,5	11,7	
Er 188/21	Er 12/66 x Кантата од.	58,7	10,2	39	14	4	105	78,0	10,9	
Er 237/21	Er 13/11 X Оптима од.	61,9	9,9	42	13	4	100	80,3	10,8	

Прімітки табл. 5.12: «1» Врожайність, ц/га; «2» Седиментація, мл; «3» Дата колосіння (травень); «4» Стійкість до хвороб (Бура іржа), бл.; «5» Висота рослин, см; «6» Наявність гена GPC.

Додаток В. 10

Таблиця В.10

Агробіологічна характеристика кращих ліній, створених від потрійних та складних схрещувань в середньому по варіантах внесення добрив.

Назва лінії, сорту	Гібридна комбінація	Врожай 2022 року				Врожай 2023 року				
		¹ , т/га	Білок, %	² , мл	³ , дні	⁴ , бл.	⁵ , см	¹ , т/га	Білок, %	⁶
Er13/11	Б.Ф. GPC-B1	48,6	11,0	63	13	9	75	72,7	11,7	
Куяльник	Стандарт	57,9	10,4	51	16	7	95	79,4	10,8	
Er 906/22	(13/11 х Оптим) х Ветеран	54,4	11,3	55	13	7	95	76,5	11,3	
Er 801/22	(13/11 х Оптим) х Мелодія	61,9	10,9	42	13	6	100	80,3	11,8	
Er 804/22	(13/11х Оптим) х Наснага	58,7	11,4	39	14	6	105	78,0	11,7	GPC +
Er 805/22	(12/61 х Оптим) Мелодія	64,7	11,0	43	14	5	110	79,6	11,8	GPC +
Er 808/22	Зміна/E175_0 9F4//Мудрість	61,2	11,2	37	14	5	100	57,3	12,9	
Er 814/22	(2419/14 х Селянка) х (ES25 х Подяка)	63,4	11,1	34	14	4	100	67,5	12,5	
Er 816/22	E234/09 х Мудрість F2	57,4	12,0	50	16	4	100	67,8	12,6	
Er 817/22	E234/09 х Ера F2	59	11,9	48	14	4	100	69,8	12,4	
Er 882/22	(336ф/16 х В241/09) х E212/09	54,3	12,4	65	16	3	95	65,5	13,0	
Er 861/22	(2418/14 х Селянка) х (ES25 х Вавтажок)	56,5	11,8	51	16	4	95	68,5	12,5	
Er 862/22	Куяльник х (1161/16 х 1102/16)	55,7	12,2	56	16	4	95	66,3	12,7	

Прімітки: «1» Врожайність, ц/га; «2» Седиментація, мл; «3» Дата колосіння (травень); «4» Стійкість до хвороб (Бура іржа), бл.; «5» Висота рослин, см; «6» Наявність гена GPC.

Додаток Г

ІНСТИТУТ РОСЛИННИЦТВА
імені В.Я. Юр'єва

НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ

61060, Харків, просп. Героїв Харкова, 142
тел.: (057) 392-11-87
(+38) 098-94-94-524
E-mail: yuriev1908@gmail.com
Код СДРПОУ 00497176



PLANT PRODUCTION INSTITUTE
named after V.Ya. Yuriev

NATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN
SCIENCES OF UKRAINE

61060, Kharkiv, Heroiv Kharkova Ave., 142
phone: (057) 392-11-87
(+38) 098-94-94-524
E-mail: yuriev1908@gmail.com
USREOU code 00497176

№1/2а-357 від 21.08.23р.

АКТ

про впровадження наукових розробок

від 21 серпня 2023 р.

Оригінальний селекційний матеріал пшениці м'якої озимої, створений і переданий аспірантом відділу селекції і насінництва пшениці Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення Фаніним Ярославом Сергійовичем (лінії Ег 76/21, Ег 86/21, Ег 128/21, Ег 171/21, Ег 245/21, які характеризуються підвищеним вмістом білка, завдяки гену *Gpc-B1*) залучено до робочої колекції лабораторії селекції пшениці Інституту рослинництва ім. В.Я.Юр'єва НААН та до плану гібридизації 2024 року і будуть використані в науковій та селекційній роботі.

В.о. директора Інституту рослинництва
ім. В.Я. Юр'єва НААН



Олег ЛЕОНОВ

Додаток Д

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
МИРОНІВСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ПШЕНИЦІ ІМЕНІ В.М. РЕМЕСЛА
08853, с. Центральне
Обухівського району Київської області
Тел.: (04574)-74135



NATIONAL ACADEMY OF
AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE
THE V.M. REMESLO MYRONIVKA
INSTITUTE OF WHEAT
Tsentrал'ne village, Obukhiv district,
Kyiv region, 08853 UKRAINE
Tel.: +38-(04574)-74135

E-mail: mwheats@ukr.net

29.09.2023 № 02/364

АКТ

про впровадження наукових розробок

Створений, аспірантом відділу селекції й насінництва Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення НААН України, Фаніним Ярославом Сергійовичем, оригінальний селекційний матеріал пшениці м'якої озимої (лінії Ег 76/21, Ег 86/21, Ег 171/21, Ег 245/21), які мають підвищену білковість зерна завдяки наявності гена Грс – В1, переданий до лабораторії селекції озимої пшениці Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН України для використання в селекційній роботі.

Директор
Миронівського інституту пшениці
імені В.М. Ремесла НААН України,
член-кореспондент НААН України



Олександр ДЕМИДОВ

Завідувач лабораторії селекції озимої пшениці
Миронівського інституту пшениці
імені В.М. Ремесла НААН України,
кандидат сільськогосподарських наук

Олександр ГУМЕНЮК

Додаток Е

ALVEOLINK NG

CONTROL UNION UKRAINE
SC AGMINTEST
OVIDOPOL ROAD 3
65036 ODESA UKRAINE

ALVEO CH

CHOPIN
TBC-HOLDING

DATE : 10/08/23
TIME : 10:35

SAMPLE IDENTIFICATION : 23
FILE NAME : 08100006A123

PARAMETERS		RESULTS	
LAB.TEMP. :	LAB.HYGROM. :	P	= 86 mmH2O
FLOUR :	MILL :	L	= 109 mm
MOISTURE : 0 %		G	= 23,2
PROTEIN :	FN VALUE :	W	= 322 10E-4J
S.D. :	W.A. :	P/L	= 0,79
ZELENY :		Ie	= 64,3 %
ASH CONT. :	EXTRAC.R. :	W (0)	= 0 10E-4J
GLUTEN :			
COMMENTS			

V:d2.8A

