НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИЙ ІНСТИТУТ – НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР НАСІННЄЗНАВСТВА ТА СОРТОВИВЧЕННЯ

# Біотехнологія, генетика та біохімія сільськогосподарських рослин

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**Всеукраїнської наукової конференції**

**м. Одеса, Україна**

30 вересня 2025 року

**Одеса**

**СГІ–НЦНС**

**2025**

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

СЕЛЕКЦІЙНО - ГЕНЕТИЧНИЙ ІНСТИТУТ – НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР НАСІННЄЗНАВСТВА ТА СОРТОВИВЧЕННЯ

# Біотехнологія, генетика та біохімія сільськогосподарських рослин

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

**Всеукраїнської наукової конференції**

**м. Одеса, Україна**

30 вересня 2025 року

**Одеса**

**СГІ–НЦНС**

**2025**

NATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE

PLANT BREEDING AND GENETICS INSTITUTE –
NATIONAL CENTER OF SEED AND CULTIVAR INVESTIGATION

# Biotechnology, Genetics and Biochemistry of Agricultural Plants

**ABSTRACTS**

**International Scientific Conference**

**Odesa, Ukraine**

September 30, 2025

**Odesa**

**PBGI–NCSCI**

**2025**

Біотехнологія, генетика та біохімія сільськогосподарських рослин**:** тези доповідей Всеукраїнської наукової конференці (30 вересня 2025 р. / СГІ–НЦНС. – м. Одеса, Україна): Одеса: СГІ–НЦНС, 2025. 116 с.

У збірнику тез конференції висвітлено результати наукових досліджень з актуальних питань біотехнології, культури *in vitro*, загальної та молекулярної генетики, біохімії та фізіології сільськогосподарських рослин щодо якості продукції та стійкості сільськогосподарських рослин до біо- та абіотичних стресових факторів. Представлено результати щодо використання сучасних методів для створення та оцінки вихідного матеріалу. Збірник розрахований на науковців і фахівців у галузі біології рослин та агрономії.

Рекомендовано до друку Вченою радою СГІ–НЦНС

(*протокол № 7 від 24 вересня 2025 р.).*

Укладачі: **Солоденко А. Є.,**
**Замбріборщ І. С.**

Відповідальний за випуск **Файт В. І.**

Тексти матеріалів тез подані в авторській редакції. Відповідальність за точність, достовірність і зміст поданих матеріалів несуть автори.

©Селекційно-генетичний інститут –
Національний центр насіннєзнавства
та сортовивчення (СГІ – НЦНС), 2025 р.
© Автори тез, 2025

# З М І С Т

## *Класична та молекулярна генетика*

*Балашова І.А., Бальвінська М.С., Файт В.І.*
ІДЕНТИФІКАЦІЯ *VRN-B3* АЛЕЛІВ У ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ТА ТВЕРДОЇ, СТВОРЕНИХ В УКРАЇНІ ……. 13

*Блюм Р.Я., Пірко Я.В., Блюм Я.Б.*
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГЕНІВ ТУБУЛІНУ У АМФІДИПЛОЇДНИХ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *Brassica* ТА ЇХ БАТЬКІВСЬКИХ ВИДІВ ……... 15

*Галаєва М.В., Галаєв О.В.*
МОНІТОРИНГ ВІРУСІВ ЖОВТОЇ КАРЛИКОВОСТІ ЗЛАКІВ (BYDV, CYDV, MYDV) В ПОСІВАХ ПШЕНИЦІ НА ОДЕЩИНІ …….. 17

*Гоцуляк В.Я., Блюм Р.Я., Демидов С.В., Савчук О.М., Рахметов Д.Б., Ємець А.І., Блюм Я.Б.*
ГЕНОМНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РІЗНОМАНІТТЯ СЕЛЕКЦІЙНО ВАЖЛИВИХ ГЕНІВ *DGAT1*, *DGAT2*, *LPAT2*, *WRI1*, *FAD2*, *FAD3* ТА *FAE1* У *BRASSICA CARINATA* ……. 19

*Кириченко С.О., Бондус Р.О., Созінов І.О., Міщенко Л.Т., Козуб Н.О.*
МОЛЕКУЛЯРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ НОСІЇВ ГЕНА СТІЙКОСТІ $Ry_{adg}$ ТА $Ry_{chc}$ ЯК ПЕРШИЙ ЕТАП ПОШУКУ ДОНОРІВ СТІЙКОСТІ ДО ВІРУСУ Y КАРТОПЛІ (PVY) СЕРЕД СОРТІВ КАРТОПЛІ УКРАЇНСЬКОГО ТА ЗАКОРДОННОГО ПОХОДЖЕННЯ …… 21

*Козуб Н.О., Созінов І.О., Дем'янова Н.О., Созінова О.І., Блюм Я.Б.*
НОВІ ГЛІАДИНОВІ АЛЕЛІ РЕКОМБІНАНТНОГО ПОХОДЖЕННЯ В УКРАЇНСЬКИХ СОРТАХ ПШЕНИЦІ М`ЯКОЇ ……. 23

*Лісова Г.М., Коновалова С.А.*
СТІЙКІСТЬ МАЙЖЕ ІЗОГЕННИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ СОРТУ THATCHER ДО ЗБУДНИКА БУРОЇ ІРЖІ ПШЕНИЦІ (*PUCCINIA TRITICINA* F. SP. *TRITICI*) В 2024-2025 РОКАХ …….. 25

*Рудник-Іващенко О.І., Шевель Л.О.*
ВПЛИВ ХІМІЧНИХ МУТАГЕНІВ НА ГЕНЕТИЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ ЗАБАРВЛЕННЯ СУЦВІТЬ *CALLISTEPHUS CHINENSIS* (L.) NEES …… 27

*Сахарова В.Г., Блюм Р.Я., Новожилов Д.О., Рабоконь А.М.*
ДНК-ІДЕНТИФІКАЦІЯ М'ЯКОЇ ТА ТВЕРДОЇ ПШЕНИЦІ У ЗРАЗКАХ БОРОШНА НА ОСНОВІ ГЕНІВ ТУБУЛІНІВ …… 29

*Сахарова В.Г., Блюм Р.Я., Новожилов Д.О., Рабоконь А.М., Блюм Я.Б.*
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВИДІВ ПШЕНИЦІ У ПРОДУКТАХ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ЗА ДНК-МАРКЕРАМИ НА ОСНОВІ ГЕНІВ ТУБУЛІНУ …… 31

*Федорова В.Р., Файт В.І., Балашова І.А.*
ЕФЕКТИ АЛЕЛІВ ГЕНІВ *PPD-D1*, *PPD-B1* І *PPD-A1* НА ЧАС КОЛОСІННЯ, УРОЖАЙ ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ У СОРТІВ ПШЕНИЦІ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ ……. 33

## *Біотехнологія рослин*

*Борзих О.І., Віннічук Т.С., Круть М.В.*
ІННОВАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ У СЕЛЕКЦІЇ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА СТІЙКІСТЬ ДО ХВОРОБ ТА ШКІДНИКІВ …….. 35

*Kalendar R.N.*
ALLELE-SPECIFIC QPCR METHOD FOR SNP AND INDEL GENOTYPING BASED ON FRET …… 37

*Комісаренко А.Г., Михальська С.І., Дубровна О.В.*
ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ОСМОТОЛЕРАНТНОСТІ ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИХ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ЗА ЕЛЕМЕНТАМИ ПРОДУКТИВНОСТІ …….. 38

*Пикало С.В., Юрченко Т.В., Харченко М.В.*
МОДИФІКАЦІЯ СПОСОБУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ НЕЗРІЛИХ ЗЕРНІВОК ПШЕНИЦІ ТА ТРИТИКАЛЕ ДЛЯ ВВЕДЕННЯ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* …….. 40

*Сідакова О.В.*
ОЗДОРОВЛЕННЯ НОВИХ СОРТІВ КАРТОПЛІ В КУЛЬТУРІ *IN VITRO* ЗА ВИКОРИСТАННЯ РИБАВІРИНУ …… 42

*Чекалова М.С., Афіногенов О.А., Замбріборщ І.С., Шестопал О.Л.,Кірчук Є.І., Голуб Є.А.*
ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ СТЕРИЛІЗАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АНДРОГЕНЕЗУ *IN VITRO* В КУЛЬТУРІ ПИЛЯКІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ …….. 44

*Шестопал О.Л., Замбріборщ І.С., Чекалова М.С., Афіногенов О.А., Васильєв О.А., Трасковецька В.А., Сауляк Н.І., Голуб Є.А., Кірчук Є.І.*
ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ АНДРОГЕНЕЗУ *IN VITRO* ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІДКОГО ТА АГАРИЗОВАНОГО ІНДУКЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА …….. 46

## ***Фізіолого-біохімічні основи продуктивності, якості продукції та стійкості рослин до біо- та абіотичних стресових факторів***

*Булко О.В., Льошина Л.Г.*
СКРИНІНГ РОСЛИН НА СТІЙКІСТЬ ДО ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ З ПЕРСПЕКТИВОЮ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ …… 48

*Бурикіна С.І., Ужевська С.П., Жук М.М.*
СОРТИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗА РІЗНИМИ СИСТЕМАМИ ЖИВЛЕННЯ ……. 50

*Бушулян М.А., Васильєв О.А., Кур'янінов Є.Л., Очкала О.С.*
ФУЗАРІОЗ КОЛОСА І ЗЕРНА ТА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ДО ЗБУДНИКІВ ХВОРОБИ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ …… 52

*Voytenko L.V., Vasyuk V.A., Shcherbatiuk M.M., Romanenko K.O., Babenko L.M., Kosakivska I.V.*
PRE-SOWING PRIMING OF WINTER WHEAT SEEDS WITH NATURAL GROWTH REGULATORS MITIGATES THE NEGATIVE EFFECTS OF LEAD CONTAMINATION ON GERMINATION AND ENHANCES SEEDLING STRESS TOLERANCE …… 54

*Колупаєв Ю.Є., Шахов І.В., Ястреб Т.О., Тарабан Д.А., Маренич М.М.*
NO-ЗАЛЕЖНЕ ІНДУКУВАННЯ γ-АМІНОМАСЛЯНОЮ КИСЛОТОЮ ПРОРОСТАННЯ ЗЕРНІВОК ПШЕНИЦІ ЗА УМОВ ОСМОТИЧНОГО СТРЕСУ ……. 56

*Любич В.В.*
ЗНАЧЕННЯ СОРТУ В ФОРМУВАННІ СТІЙКОСТІ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ДО УРАЖЕННЯ СЕПТОРІОЗОМ …… 58

*Молодченкова О.О., Міщенко Л.Т., Дуніч А.А., Тихонов П.С., Моцний І.І., Міщенко І.А., Дащенко А.В., Фанін Я.С.*
ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЕНЗИМІВ ПЕРОКСИДАЗИ ТА СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗИ В РОСЛИНАХ СОЇ В ЗВ'ЯЗКУ ЗІ СТІЙКІСТЮ ДО ВІРУСНИХ ХВОРОБ …….. 60

*Молодченкова О.О., Тихонов П.С., Нарган Т.П., Моцний І.І., Фанін Я.С.*
ІЗОЕНЗИМНИЙ СПЕКТР ПЕРОКСИДАЗИ В РОСЛИНАХ ПШЕНИЦІ В ЗВЯЗКУ ЗІ СТІЙКІСТЮ ДО БІОТИЧНИХ ТА АБІОТИЧНИХ НЕСПРИЯТЛИВИХ ФАКТОРІВ ДОВКІЛЛЯ ……. 62

*Ovchinnikova O.P., Alyokhin V.V.*
BIOLOGICAL METHODS OF ORNAMENTAL PLANT PROTECTION: PROSPECTS OF MICROBIAL PREPARATIONS IN URBAN LANDSCAPING ……..…. 64

*Огородник Н.З., Стронціцький Я. В.*
ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА КОРМОВА ЦІННІСТЬ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ РІЗНИХ СОРТІВ ОЗИМОГО РІПАКУ В АГРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ ……. 66

*Писаренко Н.В., Захарчук Н.А.*
ІНТЕГРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГІБРИДІВ ТА СОРТІВ КАРТОПЛІ ЗА НАКОПИЧЕННЯМ БІОЛОГІЧНОГО ВРОЖАЮ ТА СМАКОВИМИ ЯКОСТЯМИ В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО ОБЛІКУ ……... 68

*Реліна Л.І., Єгорова Н.Ю., Ожерельєва В.М., Гребенюк І.В.*
РЕЗИСТЕНТНИЙ КРОХМАЛЬ ПШЕНИЦІ – БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ …….. 70

*Січкар В.І.*
ПОКРАЩЕННЯ ХАРЧОВИХ ЯКОСТЕЙ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ СЕЛЕКЦІЇ ……. 72

*Стельмах А.Ф., Файт В.І.*
ФОТОПЕРІОДИЧНА ЧУТЛИВІСТЬ СОРТІВ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ ……... 74

*Товпига М.Л., Домарацький Є.О.*
ВПЛИВ БІОПРЕПАРАТУ ХЕЛАФІТ НА ФОРМУВАННЯ ЛИСТОВОЇ ПОВЕРХНІ ОЗИМОГО РІПАКУ ……. 75

*Трасковецька В.А., Васильєв О.А. , Сауляк Н.І., Очкала О.С.*
ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ БОРОШНИСТОЇ РОСИ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ …… 77

*Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Vasylenko N.M., Kopich V.M., Solomyannyi R.M., Pilyo S.G., Brovarets V.S.*
ENHANCEMENT OF PEA (*PISUM SATIVUM* L.) GROWTH AND ITS ADAPTATION TO HEAT AND DROUGHT USING THIOXOPYRIMIDINE DERIVATIVES …….. 79

*Фанін Я.С., Коблай С.В.*
ВРОЖАЙНІСТЬ ТА БІЛКОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ ГОРОХУ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ ……... 81

*Чеботар С.В., Кузьміна О.В., Чеботар Г.О., Січняк В.Ю., Лавриненко Ю.О.*
ПОСУХОСТІЙКІСТЬ СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ЗА ЛАБОРАТОРНИХ І ПОЛЬОВИХ УМОВ У ПІВДЕННІЙ УКРАЇНІ, СПІВСТАВЛЕННЯ З ДАНИМИ МАРКЕРНОГО АНАЛІЗУ …… 83

*Шахов І.В., Ястреб Т.О., Тарабан Д.А., Обозний О.І., Колупаєв Ю.Є.*
ПОРІВНЯННЯ ВПЛИВУ ПРАЙМІНГУ НАСІННЯ І ФОЛІАРНОЇ ОБРОБКИ РОСЛИН ПШЕНИЦІ γ-АМІНОМАСЛЯНОЮ КИСЛОТОЮ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТРЕС-ПРОТЕКТОРНИХ СИСТЕМ ЗА УМОВ ГРУНТОВОЇ ПОСУХИ …….. 85

*Ястреб Т.О., Шевченко М.В., Обозний О.І., Колупаєв Ю.Є.*
АКТИВАЦІЯ ПРОРОСТАННЯ СТАРИХ ЗЕРНІВОК ТРИТИКАЛЕ ПРАЙМІНГОМ β-АМІНОМАСЛЯНОЮ КИСЛОТОЮ: ЗВ'ЯЗОК ЗІ ЗМІНАМИ ВУГЛЕВОДНОГО ОБМІНУ І СТАНУ АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ …… 87

*Яцух К.І., Лісова Ю.А., Лісова Г.М.*
ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СОРТОЗРАЗКІВ ВІВСА ДО ЗБУДНИКА ГЕЛЬМІНТОСПОРІОЗУ В 2022 РОЦІ ……. 89

## *Сучасні методи створення та оцінки вихідного селекційного матеріалу сільськогосподарських культур*

*Васильєв О.А., Трасковецька В.А., Сауляк Н.І.*
ОСНОВНІ НАПРАВЛЕННЯ РОБОТИ ВІДДІЛУ ФІТОПАТОЛОГІЇ ТА ЕНТОМОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СТІЙКОГО ВИХІДНОГО СЕЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ …….. 91

*Ведмедєва К.В., Махова Т.В., Якубенко О.В.*
КЛАСТЕРІЗАЦІЯ РІЗНОМАНІТТЯ КОЛЕКЦІЇ КУНЖУТУ ЗА МОРФОЛОГІЧНИМИ ОЗНАКАМИ ……..…….. 93

*Гаврилов С.В., Феоктістов П.О., Ярмольська О.Є.*
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СПОСОБИ ОЦІНКИ ЗИМО- ТА МОРОЗОСТІЙКОСТІ РОСЛИН ОЗИМИХ КУЛЬТУР ……. 95

*Halaiev O., Halaieva M., Zambriborshch I., Shestopal O., Traskovetskaya V., Vasiliev O., Saulyak N.*
MOLECULAR IDENTIFICATION OF RESISTANCE GENES TO FUNGAL PATHOGENS IN DOUBLED HAPLOID LINES OF WINTER BREAD WHEAT ……. 97

*Лифенко С.П., Нарган Т.П., Наконечний М.Ю., Щербина З.В.*
СУЧАСНІ МЕТОДИ В СЕЛЕКЦІЇ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ …… 99

*Моцний І.І., Нарган Т.П., Голуб Є.А., Солоденко А.Є.*
СЕЛЕКЦІЯ НА СТІЙКІСТЬ ДО ХВОРОБ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ІНТРОГРЕСИВНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ …….. 101

*Очкала О.С., Бушулян М.А., Васильєв О.А., Кур'янінов Є.Л.*
ВАЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ ПОЛЬОВИХ ШТУЧНИХ ІНФЕКЦІЙНИХ ФОНІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СТІЙКОСТІ ГОРОХУ (*PISUM SATIVUM* L.) ДО ФУЗАРІОЗНОГО В'ЯНЕННЯ ……. 103

*Пірко Я.В., Козуб Н.О., Карелов А.В., Созінова О.І., Рабоконь А.М., Шиша О.М., Блюм Р.Я., Кваско А.Ю., Созінов І.О., Ємець А.І., Блюм Я.Б.*
СТВОРЕННЯ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ З ГЕНОМ СТІЙКОСТІ ДО СТЕБЛОВОЇ ІРЖИ *SR2* …… 105

*Погребнюк О.О., Файт В.І., Голуб Є.А.*
СТВОРЕННЯ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТИПУ РОЗВИТКУ ……. 107

*Позняк О.В., Кондратенко С.І.*
ЛІНІЇ *CYPERUS ESCULENTUS* L. СЕЛЕКЦІЇ ДОСЛІДНОЇ СТАНЦІЇ «МАЯК» ІОБ НААН – ЦІННИЙ ГЕНОФОНД ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СЕЛЕКЦІЙНИХ ПРОГРАМАХ …… 109

*Роїк М.В., Ковальчук Н.С., Зінченко О.А., Бех Н.С., Грицишина Л.Г.*
СТВОРЕННЯ ГОМОЗИГОТНИХ МАРКОВАНИХ ЛІНІЙ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАПЛОІНДУКТОРІВ …….. 111

*Svitlakova A.S., Varenyk B.F., Karapira S.I., Haidash O.L., Solodenko A.Ye.*
COMBINING ABILITY OF SUNFLOWER LINES RESISTANT TO SULFONYLUREA HERBICIDES IN THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE ……. 113

*Феоктістов П.О., Помонд С.А., Натальченко Е.В.*
ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО ПОСУХИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ …….……. 115

# CONTENTS

## *Genetics, Molecular genetics*

*Balashova I.A., Balvinska M.S., Fait V.I.*
IDENTIFICATION OF *VRN-B3* ALLELES IN BREAD AND DURUM WHEAT GENOTYPES CREATED IN UKRAINE …… 13

*Blume R.Y., Pirko Y.V., Blume Y.B.*
IDENTIFICATION OF TUBULIN GENES IN AMPHIDIPLOID REPRESENTATIVES OF THE GENUS *BRASSICA* AND THEIR PARENT SPECIES …… 15

*Halaieva M.V., Halaiev O.V.*
MONITORING OF YELLOW DWARF VIRUSES (BYDV, CYDV, MYDV) IN WHEAT CROPS IN ODESA REGION ……. 17

*Hotsuliak V.Y., Blume R.Y., Demydov S.V., Savchuk O.M., Rakhmetov D.B., Yemets A.I., Blume Y.B.*
GENOME-WIDE IDENTIFICATION AND DIVERSITY ANALYSIS OF *DGAT1*, *DGAT2*, *LPAT2*, *WRI1*, *FAD2*, *FAD3* TA *FAE1* GENES IN TERMS OF BREEDING IMPORTANCE IN *BRASSICA CARINATA* …… 19

*Kyrychenko S., Bondus R., Sozinov I., Mishchenko L., Kozyb N.*
MOLECULAR IDENTIFICATION OF *Ryadg* AND *Rychc* RESISTANCE GENE CARRIERS AS THE FIRST STAGE OF SEARCHING FOR DONORS OF RESISTANCE TO POTATO VIRUS Y (PVY) AMONG POTATO VARIETIES OF UKRAINIAN AND FOREIGN ORIGIN ……. 21

*Kozub N.O., Sozinov I.O., Demianova N.O., Sozinova O.I., Blume Ya.B.*
NEW GLIADIN ALLELES OF RECOMBINANT ORIGIN IN UKRAINIAN BREAD WHEAT VARIETIES …… 23

*Lisova H.M., Konovalova S.A.*
RESISTANCE OF NEARLY ISOGENIC WHEAT LINES OF THE THATCHER VARIETY TO LEAF RUST OF WHEAT (*PUCCINIA RECONDITA* F. SP. *TRITICI*) IN 2024-2025 …… 25

*Rudnyk-Ivashchenko O.I., Shevel L.O.*
INFLUENCE OF CHEMICAL MUTAGENS ON GENETIC DIVERSITY OF FLOWER COLORATION OF *CALLISTEPHUS CHINENSIS* (L.) NEES …….. 27

*Sakharova V.H., Blum R.Ya., Novozhylov D.O., Rabokon A.M.*
DNA-BASED DETECTION OF SOFT AND DURUM WHEAT IN FLOUR SAMPLES BASED ON TUBULIN GENES BARCODING ……... 29

*Sakharova V.H., Blume R.Y., Novozhylov D.O., Rabokon A.M., Blume Ya.B.*
WHEAT SPECIES IDENTIFICATION IN PROCESSED GRAIN PRODUCTS BY TUBULIN BASED DNA MARKERS …….. 31

*Fedorova V.R., Fait V.I., Balashova I.A.*
EFFECTS OF ALLELES OF THE *PPD-D1, PPD-B1* AND *PPD-A1* GENES ON HEADING TIME, YIELD AND ITS COMPONENTS IN WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT ORIGINS …… 33

## *Plant Biotechnology*

*Borzykh O.I., Vinnichuk T.S., Krut' M.V.*
INNOVATIONS WITH THE USE OF BIOTECHNOLOGY IN GRAIN CROPS' BREEDING FOR RESISTANCE TO DISEASES AND PESTS …… 35

*Kalendar R.N.*
ALLELE-SPECIFIC QPCR METHOD FOR SNP AND INDEL GENOTYPING BASED ON FRET …… 37

*Komisarenko A.G., Mykhalska S.I., Dubrovna O.V.*
STUDY OF THE LEVEL OF OSMOTOLERANCE OF GENETICALLY MODIFIED WHEAT PLANTS BY PRODUCTIVITY ELEMENTS ……. 38

*Pykalo S.V., Yurchenko T.V, Kharchenko M.V.*
MODIFICATION OF THE STERILIZATION METHOD OF IMMATURE WHEAT AND TRITICALE GRAINS FOR INTRODUCTION INTO *IN VITRO* CULTURE ……. 40

*Sidakova O.V.*
HEALING OF NEW POTATO VARIETIES IN IN VITRO CULTURE USING RIBAVIRIN ……. 42

*Chekalova M.S., Afinogenov O.A., Zambriborshch I.S., Shestopal O.L., Kirchuk Y.I., Holub Y.A.*
THE INFLUENCE OF STERILIZATION DURATION ON THE EFFICIENCY OF IN VITRO ANDROGENESIS OF BREAD WINTER WHEAT ……... 44

*Shestopal O.L., Zambriborshch I.S., Chekalova M.S., Afinogenov O.A., Vasiliev O.A., Traskovetskaya V.A., Sauliak N.I., Holub Y.A., Kirchuk Y.I.*
THE EVALUATION OF IN VITRO ANDROGENESIS INDICATORS OF BREAD WINTER WHEAT USING LIQUID AND AGARIZED INDUCTION MEDIUM …… 46

## *Physiological and biochemical aspects of productivity, quality and plant resistanc to biotic and abiotic stress factors*

*Bulko O.V., Lioshyna L.G.*
SCREENING OF PLANTS FOR RESISTANCE TO HEAVY METALS POLLUTION WITH THE PROSPECT OF PHYTOREMEDIATION …….. 48

*Burykina S.I., Uzhevska S. P., Zhuk M.M.*
SPRING BARLEY VARIETIES UNDER DIFFERENT NUTRITION SYSTEMS ……... 50

*Bushulyan M., Vasiliev O., Kuryaninov E., Ochkala O.*
FUSARIUM HEAD BLIGHT AND GRAIN BLIGHT AND ASSESSMENT OF RESISTANCE OF SOFT WINTER WHEAT TO DISEASE PATHOGENS IN SOUTHERN UKRAINE …….. 52

*Voytenko L.V., Vasyuk V.A., Shcherbatiuk M.M., Romanenko K.O., Babenko L.M., Kosakivska I.V.*
PRE-SOWING PRIMING OF WINTER WHEAT SEEDS WITH NATURAL GROWTH REGULATORS MITIGATES THE NEGATIVE EFFECTS OF LEAD CONTAMINATION ON GERMINATION AND ENHANCES SEEDLING STRESS TOLERANCE ……..… 54

*Kolupaev Yu.E., Shakhov I.V., Yastreb T.O., Taraban D.A., Marenych M.M.*
NO-DEPENDENT INDUCTION OF WHEAT SEED GERMINATION BY γ-AMINOBUTYRIC ACID UNDER CONDITIONS OF OSMOTIC STRESS …….. 56

*Liubych V.V.*
THE IMPORTANCE OF VARIETIES IN FORMING THE RESISTANCE OF SOFT WINTER WHEAT TO SEPTORIOSIS …….. 58

*Molodchenkova O.O., Mishchenko L.T., Dunich A.A., Tykhonov P.S., Motsnyi I.I., Mishchenko I.A., Dashchenko A.V., Fanin Ya.S.*
RESEARCH OF PEROXIDASE AND SUPEROXIDE DISMUTASE ISOZYMES IN SOYBEAN PLANTS IN RELATION TO RESISTANCE TO VIRAL DISEASE ..……. 60

*Molodchenkova O.O., Tykhonov P.S., Nargan T.P., Motsnyi I.I., Fanin Ya.S.*
ISOZYME SPECTRA OF PEROXIDASE IN WHEAT PLANTS IN RELATION TO RESISTANCE TO BIOTIC AND ABIOTIC ADVERSE ENVIRONMENTAL FACTORS . 62

*Ovchinnikova O.P., Alyokhin V.V.*
BIOLOGICAL METHODS OF ORNAMENTAL PLANT PROTECTION: PROSPECTS OF MICROBIAL PREPARATIONS IN URBAN LANDSCAPING ……... 64

*Ohorodnyk N.Z., Strontzitskyi Y.V.*
GREEN MASS PRODUCTIVITY AND FEED VALUE OF DIFFERENT WINTER RAPESEED VARIETIES IN THE AGROECOLOGICAL CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE …… 66

*Pysarenko N.V., Zakharchuk N.A.*
INTEGRAL ANALYSIS OF POTATO HYBRIDS AND VARIETIES FOR BIOLOGICAL YIELD ACCUMULATION AND TASTE QUALITIES UNDER DYNAMIC ASSESSMENT …….. 68

*Relina L.I., Yehorova N.Yu., Ozherelieva V.M., Hrebeniuk I.V.*
RESISTANT WHEAT STARCH – BIBLIOMETRIC ANALYSIS …… 70

*Sichkar V.I.*
IMPROVEMENT OF LEGUME CROPS NUTRITIONAL QUALITY BY BREEDING …. 72

*Stelmakh A.F., Fait V.I.*
PHOTOPERIOD SENSITIVITY OF SPRING BARLEY VARIETIES ……. 74

*Tovpyga M.L., Domaratskyi Ye.O.*
THE INFLUENCE OF BIOPRODUCT KHELAFIT ON THE FORMATION OF THE LEAF SURFACE OF WINTER RAPESEED ……. 75

*Traskovetska V., Vasiliev O., Sauliak N., Ochkala O.*
FEATURES OF POWDERY MILDEW DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN UKRAINE …… 77

*Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Vasylenko N.M., Kopich V.M., Solomyannyi R.M., Pilyo S.G., Brovarets V.S.*
ENHANCEMENT OF PEA (*PISUM SATIVUM* L.) GROWTH AND ITS ADAPTATION TO HEAT AND DROUGHT USING THIOXOPYRIMIDINE DERIVATIVES …… 79

*Fanin Ya.S.; Koblai S.V.*
YIELD AND PROTEIN PRODUCTIVITY OF PEA VARIETIES OF DIFFERENT ORIGIN IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN UKRAINE …….. 81

*Chebotar S.V., Kuzmina O.V., Chebotar G.O., Sichnyak V.Yu., Lavrynenko Yu.O.*
DROUGHT TOLERANCE OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) VARIETIES UNDER LABORATORY AND FIELD CONDITIONS IN SOUTHERN UKRAINE: COMPARISON WITH MARKER ANALYSIS DATA ……. 83

*Shakhov I.V., Yastreb T.O., Taraban D.A., Oboznyi O.I., Kolupaev Yu.E.*
COMPARISON OF THE EFFECT OF SEED PRIMING AND FOLIAR TREATMENT BY γ-AMINOBUTYRIC ACID ON THE FUNCTIONING OF STRESS-PROTECTIVE SYSTEMS IN WHEAT PLANTS UNDER SOIL DROUGHT CONDITIONS ……. 85

*Yastreb T.O., Shevchenko M.V., Oboznyi O.I., Kolupaev Yu.E.*
ACTIVATION OF AGED TRITICALE SEEDS' GERMINATION BY β-AMINOBUTYRIC ACID PRIMING: RELATIONSHIP WITH CHANGES IN CARBOHYDRATE METABOLISM AND THE STATE OF ANTIOXIDANT SYSTEM …….. 87

*Yatsukh K.I., Lisova Yu.A., Lisova G.M.*
ASSESSMENT OF RESISTANCE OF OAT VARIETIES TO THE CAUSANT OF HELMINTOSPORIOS IN 2022 …… 89

## *Modern methods for developing and evaluation of the initial breeding material*

*Vasiliev O., Traskovetska V., Sauliak N.*
MAIN DIRECTIONS OF WORK OF THE DEPARTMENT OF PHYTOPATHOLOGY AND ENTOMOLOGY FOR CREATING RESISTANT BREEDING MATERIAL …… 91

*Vedmedeva K.V., Makhova T.V., Yakubenko O.V.*
CLUSTERIZATION OF THE DIVERSITY OF THE SESAME COLLECTION BY MORPHOLOGICAL CHARACTERS …….. 93

*Gavrylov S., Feoktistov P., Yarmolska O.*
ENERGY-EFFICIENT METHODS FOR ASSESSING WINTER HARDINESS AND FROST RESISTANCE OF WINTER CROPS …….. 95

*Halaiev O., Halaieva M., Zambriborshch I., Shestopal O., Traskovetskaya V., Vasiliev O., Saulyak N.*
MOLECULAR IDENTIFICATION OF RESISTANCE GENES TO FUNGAL PATHOGENS IN DOUBLED HAPLOID LINES OF WINTER BREAD WHEAT ……. 97

*Lyfenko S.P., Nargan T.P., Nakonechnyi M.Yu., Shcherbyna Z.V.*
MODERN METHODS IN WINTER BREAD WHEAT BREEDING …… 99

*Motsnyi I., Nargan T., Golub E., Solodenko A.*
BREEDING FOR DESEASE RESISTANCE WITH USING THE INTROGRESSION WINTER BREAD WHEAT LINES ……. 101

*Ochkala O., Bushulyan M., Vasiliev O., Kuryaninov E.*
THE IMPORTANCE OF CREATING FIELD-BASED ARTIFICIAL INFECTION BACKGROUNDS FOR STUDYING THE RESISTANCE OF PEAS (*PISUM SATIVUM* L.) TO FUSARIUM WIILT …….. 103

*Pirko Y.V., Kozub N.O., Karelov A.V., Sozinova O.I., Rabokon A.M., Shysha O.M., Blume R.Y., Kvasko A.Yu., Sozinov I.O., Yemets A.I., Blume Y.B.*
DEVELOPMENT OF WINTER BREAD WHEAT LINES WITH THE STEM RUST RESISTANCE GENE *SR2* …… 105

*Pogrebniuk O.O., Fait V.I., Holub Ye.A.*
THE CREATION OF WINTER BREAD WHEAT ALTERNATIVE-TYPE DEVELOPMENT STARTING MATERIAL …….. 107

*Pozniak O.V., Kondratenko S.I*
*CYPERUS ESCULENTUS* L. LINES BREEDING AT THE RESEARCH STATION “MAYAK” IVM NAAS – A VALUABLE GENE FUND FOR USE IN BREEDING PROGRAMS ……. 109

*Roik M., Kovalchuk N., Zinchenko O., Bekh N., Hrytsyshyna L.*
DEVELOPMENT OF HOMOZYGOUS MARKED SUGAR BEET LINES WITH THE USE OF HAPLOINDUCTORS …… 111

*Svitlakova A.S., Varenyk B.F., Karapira S.I., Haidash O.L., Solodenko A.Ye.*
COMBINING ABILITY OF SUNFLOWER LINES RESISTANT TO SULFONYLUREA HERBICIDES IN THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE …….. 113

*Feoktistov P., Pomond S., Natalchenko E.*
ASSESSMENT OF CROP DROUGHT TOLERANCE UNDER MARTIAL LAW CONDITIONS ……. 115

**БАЛАШОВА І.А., БАЛЬВІНСЬКА М.С., ФАЙТ В.І.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, вул. Овідіопольська дорога, 3, 65036, e-mail: faygen@ukr.net

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ *VRN-B3* АЛЕЛІВ У ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ТА ТВЕРДОЇ, СТВОРЕНИХ В УКРАЇНІ

Широка адаптивна здатність до зростання у різних кліматичних умовах, життєвий цикл, тип розвитку та тривалість вегетаційного періоду пшениці визначаються, у першу чергу, алельним складом генів, що регулюють реакцію на яровизацію (гени *Vrn*) та чутливості до фотоперіоду (гени *Ppd*) [Snape et al., 2001; Distelfeld et al., 2009; Kamran et al., 2014]. Результатом цієї адаптації є проходження певних етапів індивідуального розвитку за найбільш сприятливих умовах довкілля.

Важливими елементами у ланцюгу регуляторного адаптаційного механізму у пшениці є гени *Vrn-3*, які локалізовані у коротких плечах хромосом 7 групи [Yan et al. 2006]. Разом з іншими генами системи контролю яровизаційної потреби, зокрема *Vrn-1,* вони відповідають за реакцію на яровизацію і термін цвітіння, відповідно. Локус *Vrn-3* відноситься до флорогенів, продукти експресії яких індукують перехід до генеративної фази розвитку рослин пшениці [Turck et al., 2008]. Індукція локусу *Vrn3* викликається продуктами генів *Ppd-1*, алельний склад яких обумовлює чутливість рослин пшениці на тривалість дня.

Встановлено, що для локуса *Vrn-3* геном кандидатом є RAF-кіназний інгібітор, ортолог локуса *FT* арабідопсіса (Flowering locus) – ген *TaFT1* [Yan et al., 2006]. Суттєві алельні розбіжності *Vrn-3* виявлено тільки у В геномі [Yan et al. 2006; Chen et al. 2013]. На теперішній час ідентифіковано два домінантних алеля та не менше двух варіантів рецесивних алелів *Vrn-B3*. Домінантний алель *Vrn-B3a* має інсерцію ретротранспозону ~ 5.3 кб у зоні промотору, де також виявлено декілька SNP [Yan et al., 2006]. Алель *Vrn-B3c* теж домінантний, і відрізняється від алелю *Vrn-B3a* наявністю додаткової делеції 20 п.н., попередньої інсерції ретротранспозону в зоні промотору, та делеції 4 п.н. у послідовності самого мобільного елементу [Chen et al., 2013]. Рівень експресії аллелю *Vrn-B3c* несуттєво нижче експресії аллелю *Vrn-B3a*, тому важливим є наявність будь якого з домінантних генів. Вказані мутації призводять до активації домінантних алелів незалежно від умов яровизації. Встановлено кореляцію між рівнем експресії *Vrn-3* та часом колосіння [Yan et al., 2006]. Вивчення молекулярної структури гену *Vrn-B3* дозволило розробити ПЛР-тести для визначення алельного стану цього гену у будь якого генетичного матеріалу.

Метою дослідження було маркування гену *Vrn-B3* у 36 озимих сортів *T.aestivum* та 12 ярих і 10 озимих сортів *T.durum,* створених у різні часові періоди та у різних селекційних центрах України.

Для проведення маркування гену *Vrn-B3* використано алель-специфічну ПЛР [Yan et al., 2006].

Результати маркування гену *Vrn-B3* у озимих сортів двох видів пшениці свідчать про наявність у таких рецесивної форми гену. Так, серед 12 досліджених ярих сортів пшениці твердої 4 сорти виявились носіями алелю *Vrn-B3a*. Дані маркування озимих сортів пшениці м'якої, можна вважати підтвердженням існуючого уявлення стосовно переважного поширення рецесивного стану гена. Так, з літературних джерел відомо, що домінантний алель *Vrn-B3* у пшениці м'якої поширення не отримав, тоді як у пшениці твердої такий зустрічається частіше. Не виключено, що у пшениці м'якої домінантний алель може бути успадкованим від *T.durum* при використовуванні міжвидовий гібридизації. Тим не менш домінантний алель у сортів цього виду існує, і не виключається, що у українських озимих стародавніх, чи більш сучасних, які мають різні батьківськи та прабатьківські форми є і носії домінантного *Vrn-B3.* Слід вказати, що у досліджених сортів виявлено 6 *Ppd*-генотипів, і варіабельність таких є наслідком селекційного процесу, використовування різноманітного

генетичного матеріалу. Відсутність домінантного алелю гену *Vrn-B3* у озимих сортів твердої пшениці можливо обумовлено невеликою кількістю зразків, що було досліджено. Озимі сорти пшениці твердої створюються шляхом міжвидової гібридизації, в тому числі при використовуванні озимих сортів *T. aestivum.* Успадкування домінантного алелю, скоріш за все у озимих *T.durum* відбувається від ярих сортів цього виду, що, можливо, є випадковою подією. Результати маркування ярих сортів пшениці твердої, свідчать щодо більшого поширення у таких домінантного алелю *Vrn-B3a.* Визначені сорти можуть бути використані у якості донорів при створенні генотипів з прискоренням темпів розвитку.

**Balashova I.A., Balvinska M.S., Fait V.I.**
Plant Breeding and Genetic Institute - the National Center of Seed and Cultivar Investigation,
St. Ovidiopolska dor., 3, Odesa, Ukraine, 65036, e-mail: faygen@ukr.net

## IDENTIFICATION OF *VRN-B3* ALLELES IN BREAD AND DURUM WHEAT GENOTYPES CREATED IN UKRAINE

The study examined the allelic state of the *Vrn-B3* gene, which is an important component of the regulatory adaptation mechanism in wheat. Using allele-specific PCR, 36 winter cultivars of *T. aestivum*, 12 spring and 10 winter varieties of T. durum developed in Ukraine were analyzed. It was established that in the studied winter cultivars of both species, the recessive allele of the gene predominates, which confirms existing assumptions. The dominant allele *Vrn-B3* was found among the majority of spring T. durum varieties. The identified genotypes carrying the dominant allele may serve as donors in plant breeding wheat programs aimed at accelerating development.

**БЛЮМ Р.Я., ПІРКО Я.В., БЛЮМ Я.Б.**
Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України, Україна, 04123, м. Київ, вул. Байди-Вишневецького, 2А, e-mail: blume.rostislav@gmail.com

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГЕНІВ ТУБУЛІНУ У АМФІДИПЛОЇДНИХ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *Brassica* ТА ЇХ БАТЬКІВСЬКИХ ВИДІВ

Ідентифікація генів α-, β- та γ-тубуліну у шести найбільш економічно значимих видів роду *Brassica*, а також встановлення їх філогенетичної класифікації та еволюційної історії. Повногеномний пошук послідовностей генів тубуліну, методи реконструкції філогенії, а також підходи порівняльної геноміки, зокрема аналіз синтенії. Ідентифіковано 229 функціональних генів тубуліну у шести представнків роду *Brassica*, зокрема у *B. oleracea, B. rapa, B. nigra, B. napus, B. juncea* та *B. carinata*. За результатами проведеного повногеномного пошуку та ідентифікації генів тубулінів у видів *B. oleracea, B. rapa, B. nigra, B. napus, B. juncea* та *B. carinata* виявлено 229 функціональних генів, серед яких 62% складали гени β-тубуліну, 34% - α-тубуліну, а γ-гени тубуліну – лише 4%. Філогенетичний аналіз ідентифікованих генів засвідчив, що у геномах *Brassica* зберігається функціональна спеціалізація генів тубуліну, яка виявляється у різноманітті їх ізотипів. Результати реконструкції філогенії ідентифікованих генів тубуліну свідчать про те, що α-тубуліни *Brassica* поділяються на два філогенетичні класи, а β-тубуліни на 5 основних груп, що спостерігається і у інших Хрестоцвітих.

Представники підродини γ-тубулінів *Brassica* не демонстрували ізотипового різноманіття і були представлені лише одним ізотипом (TUG1) у досліджених видів. Проведений аналіз синтенії підтверджує консервативність генів тубуліну, а також відносну стабільність їх кількості у підгеномах алополіплоїдних видів *Brassica*. Показано, що родина генів тубуліну у представників *Brassica* характеризується значною консервативністю та еволюційно стабільним набором генів навіть у алополіплоїдних видів, а наявне різноманіття ізотипів тубуліну сформоване більш ранніми подіями повногеномних перебудов, що є спільними для більшості Хрестоцвітих. Проведене дослідження сприяє кращому розумінню еволюційної консервативності генів тубуліну та їх ізотипове різноманіття у Хрестоцвітих, що дозволяє в майбутньому виявити механізми субфункціоналізації та регуляції генів тубуліну.

*Робота виконана за підтримки науково-дослідного проєкту ВЦП КНУ ім. Т. Шевченка при НАН України «Розробка технологічних засад отримання біодизелю з олії карінати (Brassica carinata) шляхом ліпазної трансестерифікації» (2024-25 рр, № Держреєстрації: 0124U002185) та в рамках програми 6541030 за темою «Вивчення екзон-інтронної структури генів рослин та грибів як джерела генетичних маркерів для молекулярно-генетичних досліджень та маркер-опосередкованої селекції» (2024-28 рр. № Держреєстрації: 0124U002604).*

**Blume R.Y., Pirko Y.V., Blume Y.B.**
Institute of Food Biotechnology and Genomics, Natl. Acad. Sci. Ukraine, Ukraine, 04123, Kyiv, Baidy-Vyshnevetskoho str., 2A; e-mail: blume.rostislav@gmail.com

## IDENTIFICATION OF TUBULIN GENES IN AMPHIDIPLOID REPRESENTATIVES OF THE GENUS *BRASSICA* AND THEIR PARENT SPECIES

In the present study, 229 functional tubulin genes were identified in six representatives of the *Brassica* genus, including *B. oleracea*, *B. rapa*, *B. nigra*, *B. napus*, *B. juncea*, *B. carinata*. It has been shown that the tubulin gene family in *Brassica* representatives is characterized by significant conservation and an evolutionarily stable set of genes even in allopolyploid species. Phylogenetic and synteny analyses confirmed the significant conservation of the tubulin gene set in the analyzed *Brassica* species, including those of allopolyploid origin. The existing diversity of tubulin isotypes is shaped by earlier events of whole-genome rearrangements, which are common to most Brassicaceae.

**ГАЛАЄВА М.В., ГАЛАЄВ О.В.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, 65036, м. Одеса, вул. Овідіопольська дорога, 3, e-mail: mariagal1@ukr.net

## МОНІТОРИНГ ВІРУСІВ ЖОВТОЇ КАРЛИКОВОСТІ ЗЛАКІВ (BYDV, CYDV, MYDV) В ПОСІВАХ ПШЕНИЦІ НА ОДЕЩИНІ

Віруси жовтої карликовості злаків (YDV) є одними з найшкідливіших вірусів у пшениці та споріднених злакових культур. Ураження рослин пшениці цими вірусами призводить до зниження фотосинтезу через пожовтіння листків та передчасне старіння рослини, пригнічення росту, в результаті чого рослини залишаються низькорослими, формується карликовість, зменшується кількість і якості зерна, знижується маса 1000 зерен, зменшується кількість колосків, погіршується вміст білка в зерні. Також YDV мають вплив на зимостійкість та посухостійкість, уражені рослини стають більш чутливими до дії абіотичних стресових факторів. У деяких регіонах світу втрати врожаю від YDV можуть сягати 30–80% залежно від року, сорту та векторів. Навіть приховані інфекції (без виражених симптомів) призводять до зниження врожайності на 10–20%.

Комплекс вірусів жовтої карликовості – це група близьких за біологією та симптоматикою РНК-вірусів, що уражають пшеницю, ячмінь, овес, кукурудзу та інші злаки. Вони належать переважно до родини *Luteoviridae*, рід *Luteovirus* і *Polerovirus*. Найвідомішими з цього комплексу є вірус жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ, Barley yellow dwarf virus, BYDV), вірус жовтої карликовості злаків (ВЖКЗ, Cereal yellow dwarf virus, CYDV) та вірус жовтої карликовості кукурудзи (ВЖКК**,** Maize yellow dwarf virus, MYDV). Раніше віруси CYDV та MYDV відносили до комплексу BYDV, рід *Luteovirus*, проте зараз їх виокремлюють в окремий рід *Polerovirus*. Усі ці віруси поширюються тільки через попелиць (персистентно-циркулятивним шляхом), механічно чи через насіння не передаються.

Вірус жовтої карликовості ячменю не один, а представлений кількома типами (видами, штамами), які об'єднують у видовий комплекс BYDV. Їх відрізняють за серологічними властивостями, послідовностями РНК та переносниками (попелицями**)**. Найбільш поширені типи BYDV – PAV, MAV, PAS, SGV. Вірус жовтої карликовості злаків CYDV та вірус жовтої карликовості кукурудзи MYDV представлені штамами CYDV-RPV та MYDV-RMV відповідно.

Класичні методи діагностики, такі як візуальна оцінка рослин, не дозволяють швидко й точно визначити тип збудника, особливо у випадках змішаних інфекцій або нетипових проявів. Тому для ідентифікація вірусів жовтої карликовості злаків (BYDV, CYDV, MYDV) у пшениці необхідно використовувати молекулярно-генетичні методи, а саме метод полімеразної ланцюгової реакції зі зворотною транскрипцією (RT-PCR). Саме цей метод на даний момент вважається «золотим стандартом» діагностики вірусних захворювань.

Для ефективного управління фітосанітарною ситуацією важливо виявляти віруси жовтої карликовості (YDV) в посівах пшениці та відрізняти їх від інших вірусів пшениці, таких як, наприклад, WSMV (Wheat streak mosaic virus - Вірус смугастої мозаїки пшениці), SBWMV (Soil-borne wheat mosaic virus - Вірус ґрунтової мозаїки пшениці ), TriMV (Triticum mosaic virus - Вірус мозаїки пшениці), а також від грибних захворювань та нестачі поживних елементів, що можуть мати подібну симптоматику. Важливо також визначати, яким саме вірусом жовтої карликовості (BYDV CYDV, MYDV) та яким саме типом (штамом) заражені рослини. Ідентифікація різних типів вірусу жовтої карликовості ячменю (BYDV) є надзвичайно актуальною в сучасних дослідженнях з низки причин. По-перше, різні типи BYDV передаються різними видами попелиць. Знання конкретного штаму дає змогу точніше прогнозувати ризики зараження і відповідно застосовувати адекватні методи захисту. По-друге, існують сорти злакових культур, які мають стійкість або толерантність до певних штамів BYDV. Без точного визначення типу вірусу ефективна селекція та впровадження стійких сортів значно ускладнюється. Використання молекулярних методів для ідентифікації

штамів BYDV дозволяє формувати ефективні системи моніторингу, прогнозування та запобігання епіфітотіям. В Україні ідентифікація різних вірусів жовтої карликовості злаків та різних типів BYDV раніше не проводилася, і на сьогодні достеменно не відомо, які саме штами є найбільш поширеними на її території. Отже, метою нашого дослідження було виявлення вірусів жовтої карликовості в посівах пшениці на Одещині, а також ідентифікація штамів BYDV з використанням молекулярно-генетичних методів.

З цією метою протягом двох років (2023 та 2024 рік) на полях Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ-НЦНС) проводили візуальне оцінювання рослини пшениці м'якої на наявність вірусних захворювань та добирали рослини з ознаками захворювань, характерними для вірусних інфекцій, наприклад такими як хлороз та зміна кольору листя, почервоніння або пожовтіння, світло-зелені і жовті смуги, що тягнуться паралельно жилкуванню, відставання у рості. З фрагментів листків усіх відібраних рослин виділяли РНК та проводили RT-PCR з використанням специфічних праймерів для виявлення різних типів вірусів BYDV, CYDV та MYDV.

В результаті дослідження зразків пшениці, зібраних на полях СГІ-НЦНС, вірус BYDV виявлявся серед хворих рослин в обидва роки. Частота виявлення цього вірусу серед рослин з ознаками вірусних захворювань у 2023 році становила 16 %, а у 2024 році – 44 %. У 2023 році було виявлено два штами BYDV-PAS (13 %) та BYDV-PAV (3 %). У 2024 році було виявлено лише один штам вірусу жовтої карликовості ячменя BYDV-PAS (44 %) Інші штами BYDV, такі як BYDV-MAV та BYDV-SGV, на полях СГІ-НЦНС (м. Одеса) не були виявлені протягом двох років досліджень. Також не зафіксовано серед посівів пшениці у 2023 та 2024 роках наявності вірусів жовтої карликовості злаків CYDV та жовтої карликовості кукурудзи MYDV, зокрема штамів CYDV-RPV і MYDV-RMV. У більшої частини рослин пшениці з підозрою на вірусні захворювання на Півдні України вірус жовтої карликовості ячменю (BYDV) не було виявлено. На нашу думку, інші рослини могли бути уражені такими вірусами, як вірус смугастої мозаїки пшениці (WSMV), вірус ґрунтової мозаїки пшениці (SBWMV), вірус карликовості пшениці (WDV) або вірус мозаїки пшениці (TriMV). Усі зазначені віруси є шкодочинними для пшениці та викликають симптоми, подібні до тих, що спричиняють віруси жовтої карликовості. Отже цікавим буде дослідити, які ще віруси пшениці циркулюють на Одещині та оцінити як змінюється склад вірусів пшениці та їх типів в різних регіонах та в різні роки, що й планується зробити у наших наступних дослідженнях.

**Halaieva M.V., Halaiev O.V.**
Plant Breeding and Genetic Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine, 65036, Odesa, Ovidiopolska Doroha, 3, e-mail: mariagal1@ukr.net

## MONITORING OF YELLOW DWARF VIRUSES (BYDV, CYDV, MYDV) IN WHEAT CROPS IN ODESA REGION

In 2023 and 2024, wheat crops of the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation were analyzed for the presence of cereal yellow dwarf viruses (BYDV, CYDV, MYDV) using molecular genetic approaches. In both years, the presence of barley yellow dwarf virus (BYDV) was confirmed. In 2023, two strains, BYDV-PAS and BYDV-PAV, were identified, whereas in 2024 only a single strain, BYDV-PAS, was detected.

**ГОЦУЛЯК В.Я.[1], БЛЮМ Р.Я.[1], ДЕМИДОВ С.В.[2], САВЧУК О.М.[2], РАХМЕТОВ Д.Б.[3], ЄМЕЦЬ А.І.[1], БЛЮМ Я.Б.[1]**

[1]Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України, Україна, 04123, м. Київ, вул. Байди-Вишневецького, 2А, e-mail: blume.rostislav@gmail.com;

[2]Науково-навчальний центр "Інститут біології та медицини", Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна, 02000, м. Київ, вул. Академіка Глушкова, 2, e-mail: olexiy.savchuk@ukr.net;

[3]Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, Україна, 01014, м. Київ, вул. Садово-Ботанічна, 1, e-mail: jamal_r@bigmir.net

## ГЕНОМНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РІЗНОМАНІТТЯ СЕЛЕКЦІЙНО ВАЖЛИВИХ ГЕНІВ *DGAT1, DGAT2, LPAT2, WRI1, FAD2, FAD3* ТА *FAE1* У *BRASSICA CARINATA*

Абіссинська гірчиця, або каріната (*Brassica carinata*), на сьогодні розглядається як одна з найбільш перспективних альтернативних олійних культур, зокрема для виробництва рідких біопалив. Селекційні та генно-інженерні дослідження, спрямовані на покращення якості та підвищення виходу олії насіння карінати, набувають усе більшої актуальності з поширенням використання цієї олійної культури в сільському господарстві. Залучення загальнодоступних геномних ресурсів карінати дозволяє суттєво спростити процес покращення цієї перспективної культури, цілеспрямовано фокусуючись на локусах або генах, пов'язаних з біосинтезом ліпідів та жирних кислот. Виходячи з цього, у даному дослідженні було проведено геномний пошук та усебічний аналіз генів-регуляторів синтезу жирних кислот та нейтральних ліпідів (*DGAT1, DGAT2, LPAT2, WRI1, FAD2, FAD3, FAE1*) алополіплоїдного виду *B. carinata*. Загалом було ідентифіковано 24 генів, оскільки кожен з ферментів був кодований декількома гомеологами. Ідентифіковані гени виявляли високий рівень подібності, однак різнилися за некодуючими послідовностями (інтрони та промоторні регіони), що дозволило ідентифікувати низку мікросателітних локусів, специфічних для кожної з родин генів. Отримані результати дозволяють у подальшому розробити високоточні молекулярні маркери для маркер-опосередкованої селекції, що може значною мірою прискорити створення сортів *B. carinata* із покращеними характеристиками якості олії та її збільшеним вмістом у насінні.

*Робота виконана за підтримки науково-дослідного проєкту ВЦП КНУ ім. Т. Шевченка при НАН України «Розробка технологічних засад отримання біодизелю з олії карінати (Brassica carinata) шляхом ліпазної трансестерифікації» (2024-25 рр, № Держреєстрації: 0124U002185).*

**Hotsuliak V.Y.[1], Blume R.Y.[1], Demydov S.V.[2], Savchuk O.M.[2], Rakhmetov D.B.[3], Yemets A.I.[1], Blume Y.B.[1]**
[1]Institute of Food Biotechnology and Genomics NAS of Ukraine, Ukraine, 04123, Kyiv, Baidy-Vyshnevetskoho str., 2a, e-mail: blume.rostislav@gmail.com;
[2]Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine", Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, 03022, Kyiv, Academika Glushkova ave., 2, e-mail: olexiy.savchuk@ukr.net;
[3]M.M. Gryshko National Botanical Garden of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 01014, Kyiv, Sadovo-Botanichna str., 1, e-mail: jamal_r@bigmir.net

## GENOME-WIDE IDENTIFICATION AND DIVERSITY ANALYSIS OF *DGAT1*, *DGAT2*, *LPAT2*, *WRI1*, *FAD2*, *FAD3* ТА *FAE1* GENES IN TERMS OF BREEDING IMPORTANCE IN *BRASSICA CARINATA*

Abyssinian mustard, or carinata (*Brassica carinata*), is currently considered one of the most promising alternative oilseed crops, in particular for the production of liquid biofuels. The aim of this research was a genome-wide identification and comprehensive analysis of genes regulating the synthesis of fatty acids and neutral lipids (*DGAT1*, *DGAT2*, *LPAT2*, *WRI1*, *FAD2*, *FAD3*, *FAE1*) of the allopolyploid species *B. carinata*. A total of 24 genes were identified, as each enzyme was encoded by several homoeologs. The results obtained allow the further development of highly accurate molecular markers for marker-assisted breeding, which can significantly accelerate the creation of *B. carinata* varieties with improved oil quality characteristics and increased seed oil content.

**КИРИЧЕНКО С.О[1]., БОНДУС Р.О[2]., СОЗІНОВ І.О[1]., МІЩЕНКО Л.Т.[3] КОЗУБ Н.О[1]**
[1]Інститут захисту рослин НААН, вул. Васильківська, 33, м. Київ, 03022, Україна, plant_prot@ukr.net
[2]Устимівська дослідна станція рослинництва Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, вул. Академіка М.І. Вавилова, 15, п/в Устимівка, 39074, Полтавська обл., Україна, udsr@ukr.net
[3]Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна, info@knu.ua

## МОЛЕКУЛЯРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ НОСІЇВ ГЕНА СТІЙКОСТІ $Ry_{adg}$ ТА $Ry_{chc}$ ЯК ПЕРШИЙ ЕТАП ПОШУКУ ДОНОРІВ СТІЙКОСТІ ДО ВІРУСУ Y КАРТОПЛІ (PVY) СЕРЕД СОРТІВ КАРТОПЛІ УКРАЇНСЬКОГО ТА ЗАКОРДОННОГО ПОХОДЖЕННЯ

За даними FAO в 2023 році Україна зібрала 21,4 млн. тон картоплі з середньою урожайністю 17,6 тон з гектара. Картопля є четвертою культурою в світі за важливістю з точки зору харчової безпеки. Вирощування сортів картоплі, стійких до PVY вважається найефективнішим і найтривалішим рішенням для запобігання втратам врожаю, спричиненим вірусом. Актуальність таких досліджень щороку зростає в Європі та Україні, оскільки вірулентний і небезпечний штам $PVY^{NTN}$ з роками витіснив інші штами вірусу, ставши найпоширенішим у більшості країн європейського континенту. Втрати виробництва картоплі, що спричиняються вірусною інфекцією, можуть сягати 20-30%, а серйозні епіфітотії можуть призводити до скорочення виробництва на понад 80%. Зниження врожайності визначається штамом PVY, вірусним навантаженням, ареалом зараження та рівнем стійкості рослин до вірусу. Оскільки картопля розмножується вегетативно, вірус легко поширюється через рослинний матеріал у насадженнях. Бульби, використані для посадки, можуть бути джерелом латентних вірусів, що призводить до зниження схожості, життєздатності рослин і врожайності. Всі дочірні бульби, що виросли з інфікованих материнських бульб (вторинне зараження), також будуть заражені через системну транслокацію вірусу. Попелиці здатні передавати PVY неперсистентним способом, проте з різною ефективністю. Рослини-господарі можуть демонструвати сумісну або несумісну взаємодію з вірусами. У разі сумісної взаємодії рослини сприйнятливі, і вірус може реплікуватися та поширюватися. Сприйнятливі генотипи картоплі можуть бути чутливими або толерантними до PVY: чутливі розвивають симптоми, а толерантні — ні або дуже слабкі, хоча можуть накопичувати багато вірусу. При несумісній взаємодії рослини обмежують інвазію та реплікацію вірусу, реагуючи екстремальною резистентністю (ER) або гіперчутливою реакцією (HR). У випадку ER симптоми відсутні або дуже обмежені. Гени стійкості до PVY було картовано в чотирьох ділянках геному картоплі на хромосомах IV, IX, XI і XII. Гени надчутливої стійкості (HR), як правило, є специфічними для штамів PVY, тоді як гени екстремальної стійкості (ER) ефективні проти широкого спектру штамів PVY.

Одним з початкових етапів селекційного добору є тестування сортів та сортозразків картоплі за допомогою молекулярних маркерів на наявність стійкості до того чи іншого збудника хвороб. ПЛР тест дозволяє отримати дані про наявність у геномі сорту гену стійкості до певної хвороби. Ці дані, в свою чергу, дозволять будувати подальші стратегії добору сортів для польових тестів, схрещування. Дослідження показали, що рослини, які експресують ER, зазвичай залишаються безсимптомними і мають надзвичайно низький рівень накопичення вірусу в інокульованих листках. Домінантні гени Ry, що кодують імунну відповідь рослини за типом ER, пригнічують реплікацію вірусу в початково інфікованих клітинах і ефективні проти широкого спектру штамів. Метою нашої рорботи було провести пошук носіїв носіїв генів ER $Ry_{adg}$ та $Ry_{chc}$ серед колекційного матеріалу картоплі.

Для ідентифікації $Ry_{chc}$ використовували молекулярний маркер *Rychj* ( або *RY1648)* як зазначено в літературі (Asano& Endelman 2023). Наявність гена стійкості $Ry_{adg}$ визначали за допомогою молекулярного маркера *RYSC3* за протоколом, вказаним Kasai et al (2000).

Матеріал листя картоплі був відібраний в Устимівській дослідній станції рослинництва Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН.

За допомогою молекулярних маркерів *RY1648* та *RYSC3* було оцінено 30 сортів української та закордонної селекції картоплі (Minierva, Воловецька Іванківська рання, Ікар, Picasso, Ольвія, Поліська рожева, Темп, Electre, Древлянка, Cosmos, Vineta, Ukama, Jaerla, Перлина, Базалія, Дніпрянка, Impala, Віра, Віринея, Чернігівська 98, Багряна, Rosara, Red Skarlet, Воля, Ліщина, Pentland Dell, Goldika, Vitara, Містерія). У чотирьох сортів (Містерія, Іванківська рання, Ікар, Picasso) ідентифікували ген стійкості $Ry_{chc}$ за молекулярним маркером *RY1648* (частота трапляння у даній вибірці – 13.3%). З 30 сортів картоплі Устимівської дослідної станції рослинництва ідентифікувати ген стійкості $Ry_{adg}$ за молекулярним маркером RYSC-3, не вдалося.

Сорти Містерія, Іванківська рання, Ікар, Picasso рекомендуються як джерело гена екстремальної стійкості до PVY $Ry_{chc}$ для включення в селекційний процес.

Це дослідження проведене за фінансової підтримки НФДУ, тематика дослідження № 2023.03/0244 «Механізми стійкості економічно-важливих культур до вірусних хвороб за умов воєнного стану і глобального потепління».

**Kyrychenko S., Bondus R., Sozinov I., Mishchenko L., Kozyb N.**

[1]Institute of Plant Protection of the NAAS, 33, Vasylkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine plant_prot@ukr.net

[2]Ustymivka experimental station of Yuriev Plant production Institute of NAASU, 15, Acad. Vavylova, Ustymivka, Poltava region, 39074, Ukraine, udsr@ukr.net

[3]Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine, info@knu.ua

## MOLECULAR IDENTIFICATION OF *Ryadg* AND *Rychc* RESISTANCE GENE CARRIERS AS THE FIRST STAGE OF SEARCHING FOR DONORS OF RESISTANCE TO POTATO VIRUS Y (PVY) AMONG POTATO VARIETIES OF UKRAINIAN AND FOREIGN ORIGIN

Potatoes are the fourth most important crop in the world in terms of food security. Growing PVY-resistant potato varieties is the most effective and long-lasting solution for preventing crop losses caused by the virus. Products of dominant *Ry* genes suppress virus replication in initially infected cells and are effective against a wide range of strains. Thirty varieties of Ukrainian and foreign potato varieties were evaluated for the presence of the $Ry_{adg}$ та $Ry_{chc}$ genes using the molecular markers *RY1648* and *RYSC3*. In the sample, there were no varieties with the marker for the $Ry_{adg}$ gene. In four varieties (Mysteria, Ivankivska Rannia, Ikar, Picasso), the $Ry_{chc}$ resistance gene was identified (13.3%).

**КОЗУБ Н.О.[1,2], СОЗІНОВ І.О.[1], ДЕМ'ЯНОВА Н.О.[1,2], СОЗІНОВА О.І.[1,2], БЛЮМ Я.Б.[2]**
[1] Інститут захисту рослин НААН, Україна, 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 33, e-mail: natalkozub@gmail.com
[2] ДУ «Інститут харчової біотехнології і геноміки НАН України», вул. Байди-Вишневецького, 2а, м. Київ, 04123, Україна

## НОВІ ГЛІАДИНОВІ АЛЕЛІ РЕКОМБІНАНТНОГО ПОХОДЖЕННЯ В УКРАЇНСЬКИХ СОРТАХ ПШЕНИЦІ М`ЯКОЇ

Високополіморфні локуси запасних білків, гліадинів і глютенінів, є важливими генетичними маркерами в генетиці, селекції і насінництві пшениці м`якої. Основні гліадинові локуси містять кластери генів та охоплюють достатньо великі ділянки на коротких плечах хромосом 1 і 6 гомеологічних груп, до кількох мільйонів нуклеотидів. Найпростішим методом ідентифікації гліадинових алелів залишається електрофорез запасних білків у кислому середовищі. Завдяки дослідженням наукової школи академіка О.О. Созінова ідентифіковано велику кількість блоків гліадинів, кодованих певними алелями, та складено їх каталоги. Спектри, кодовані алелями основних гліадинових локусів на хромосомах 1A, 1B, 1D (*Gli-A1, Gli-B1, Gli-D1*), включають до 8 компонентів, серед яких є омега-гліадини (бідні на сірку білки) та гамма-гліадини (багаті на сірку). З основними гліадиновими локусами *Gli-A1* та *Gli-B1* тісно зчеплені мінорні локуси *Gli-A5, Gli-A6* та *Gli-B5*, що кодують 1-2 компоненти та мають по два алелі. Поліморфізм за цими мінорними локусами традиційно враховується при ідентифікації алелів локусів *Gli-A1* та *Gli-B1*. При дослідженні колекцій українських сортів пшениці м'якої озимої та ярої нами ідентифіковано нові алелі цих локусів.

Досліджували колекції українських сортів пшениці м`якої, а також сортів-стандартів іноземного походження, зерно яких було люб`язно надано Національним центром генетичних ресурсів рослин України НААН (м. Харків). Гліадини виділяли з окремих подрібнених зернівок 70% етанолом та аналізували електрофорезом у 10% поліакриламідному гелі в кислому середовищі за розробленою нами методикою (Kozub et al., 2009). При ідентифікації алелів орієнтувались на відомі каталоги блоків гліадинів (Собко та Попереля, 1986; Metakovsky, 1991; Metakovsky et al., 2018) та використовували сорти-стандарти з відомими алелями. Новим алелям надавали тимчасові позначення.

За локусом *Gli-B1* ідентифіковано два нові алелі, тимчасово позначені *Gli-B1fg** та *Gli-B1eg**. Сорти пшениці м`якої озимої Престижна і Гном мають алель *Gli-B1fg**, що є продуктом рекомбінації алелів *Gli-B1f* та *Gli-B1b*. Електрофоретичний спектр блоку гліадинів, кодований цим алелем, містить високорухливий □-гліадин як у блоку, кодованого алелем *Gli-B1b,* та низькорухливий □-гліадин та □-гліадин як у блоку, кодованого *Gli-B1f*. Ярі сорти Кайдашиха, Рання 93, Скороспілка 98, біотип сорту Недра та низка інших ярих сортів мають алель *Gli-B1eg**, що виник у результаті рекомбінації між алелями *Gli-B1e* та *Gli-B1b*. Гліадиновий блок, кодований цим алелем, включає високорухливий □-гліадин як у блоку, кодованого *Gli-B1b,* та низькорухливий □-гліадин та □-гліадин як у блоку, кодованого *Gli-B1e*.

Два нові алелі, тимчасово позначені *Gli-A1ag** та *Gli-A1ah**, ідентифіковано за локусом *Gli-A1*. Ці алелі є результатом рекомбінації між основним локусом *Gli-A1* і мінорним локусом *Gli-A6*. Алель *Gli-A6a* є нуль-алелем, а *Gli-A6b* кодує характерний ω-гліадин. Такий ω-гліадин присутній у блоці гліадинів, кодованих відомим алелем *Gli-A1f* (сорт-стандарт – Миронівська 808). Алель *Gli-A1ah**, що кодує γ-гліадин як у *Gli-A1f,* але у поєднанні з *Gli-A6a* (без омега-гліадина), ідентифіковано у сортів Даринка київська і Серпанок київський. Сорти Сагайдак, Полтавка, Господиня миронівська мають алель *Gli-A1ag**, що є комбінацією алеля *Gli-A6b* та алеля, позначеного нами раніше *Gli-A1x(A9)**, що кодує блок гліадинів GLD 1A9 за каталогом Собко та Поперелі (1986). Алель *Gli-A1x(A9)**, який ми також позначали *Gli-A1x* (Kozub et al, 2009), є поширеним серед сучасних сортів зони Лісостепу України. Порівняння електрофореграм сортів-стандартів алеля *Gli-A1af* за

каталогом Metakovsky et al. (2018) Solo, Insignia, Bazalt та українських сортів з алелями *Gli-A1x(A9)** та *Gli-A1f* вказує на те, що алель *Gli-A1af* є аналогічним алелю *Gli-A1x(A9)**. Отже, згадані чотири алелі локусу *Gli-A1* (два відомі та два нові) можна записати як комбінації основного і мінорного локусів: *Gli-A1f = Gli-A1ah** + *Gli-A6b*; *Gli-A1ah** = *Gli-A1ah** + *Gli-A6a; Gli-A1x(A9)** = *Gli-A1af = Gli-A1af + Gli-A6a; Gli-A1ag** = *Gli-A1af + Gli-A6b.*

Ідентифіковані нами нові алелі збагачують знання про різноманітність гліадинових алелів пшениці м`якої та слугуватимуть доповненням існуючого каталогу блоків гліадинів.

**Kozub N.O.[1,2], Sozinov I.O.[1], Demianova N.O.[1,2], Sozinova O.I.[1,2], Blume Ya.B.[2]**
[1] Institute of Plant Protection, Natl. Acad. Agrarian Sci., 33 Vasylkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine
[2] Institute of Food Biotechnology and Genomics, Natl. Acad. Sci. of Ukraine, 2a Baidy-Vyshnevetskoho str., Kyiv, 04123, Ukraine

## NEW GLIADIN ALLELES OF RECOMBINANT ORIGIN IN UKRAINIAN BREAD WHEAT VARIETIES

Acid polyacrylamide gel electrophoresis (APAGE) remains the simplest method for identification of gliadin alleles. In our study, we identified new alleles at the gliadin loci *Gli-A1* and *Gli-B1* of recombinant origin as a result of analysis of collections of Ukrainian bread wheat varieties by APAGE. At the *Gli-B1* locus, the alleles *Gli-B1fg** and *Gli-B1eg** derive from recombination of the allele *Gli-B1b* with *Gli-B1f* and *Gli-B1e,* respectively. The alleles *Gli-A1ag** and *Gli-A1ah** represent different combinations of alleles at the major locus *Gli-A1* and the minor locus *Gli-A6.*

**ЛІСОВА Г.М., КОНОВАЛОВА С.А.**
Інститут захисту рослини НААН, м. Київ, 03022, вул.. Васильківська, 33, mail_gl@ukr.net

## СТІЙКІСТЬ МАЙЖЕ ІЗОГЕННИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ СОРТУ THATCHER ДО ЗБУДНИКА БУРОЇ ІРЖІ ПШЕНИЦІ (*PUCCINIA TRITICINA* F. SP. *TRITICI*) В 2024-2025 РОКАХ

На поширення збудника бурої іржі (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici син P. recondita* f. sp. *tritici*) в регіонах вирощування пшениці в Україні впливає ряд чинників. Одним із них є геном рослини-господаря. Поширення у виробництві із сортами пшениці певних генів стійкості призводить до передчасної втрати їх ефективності в наслідок «підбору» і закріпленню в популяції патогена вірулентних клонів. Моніторинг прояву відомих генів стійкості дає можливість вчасно виявити втрату ефективності одних генів або підтвердити ефективність інших. Це важливо для проведення оперативної селекції з врахуванням особливостей прояву стійкості для кожної зони вирощування пшениці. Міжнародний набір майже ізогенних за генами стійкості ліній пшениці сорту Thatcher є оптимальною генетичною моделлю для таких досліджень. Тому метою було визначити ефективність відомих генів стійкості пшениці і з'ясувати рівень такої ефективності для зони Правобережного Лісостепу України станом на 2024-2025 рр. Дослідження проводили у мовах дії європейської популяції збудника бурої іржі, його субпопуляції, типової для зони Правобережного Лісостепу України. В якості рослинного матеріалу використовували набір майже ізогенних за гемами стійкості до збудника бурої іржі ліній пшениці сорту Thatcher та сортів, носіїв відомих генів стійкості, які внесені до міжнародного набору. Дослідження проводили на дослідній ділянці Інституту захисту рослин НААН лабораторії імунітету сільськогосподарських рослин до хвороб, Київська обл. (Селекційно-виробничий відділ Інституту фізіології рослин та генетики НАНУ). Розвиток захворювання в 2024 р. оцінено як помірний після епіфітотії 2023 р., а в 2025 р. знову зафіксовано епіфітотію. Оцінки проводили у фази колосіння-цвітіння та молочно-воскової стиглості (максимальний розвитк хвороби), згідно загальноприйнятої методики досліджень (Бабаянц О.Б., Бабабянц Л.Т., 2014).

Встановлено, що прояв стійкості залежить від рівня інфекційного навантаження: в 2024 році за умов помірного інфекційного рівня після епіфітотії 2023 р. стійкість виявлено для ряду ізогенних ліній і сортів, а за умов епіфітотії в 2025 р. – відмічено різке падіння рівня ефективності більшості генів стійкості. Виділено декілька груп стійкості:

- в 2024 році до групи гені, які здатні обумовити дуже високий рівень стійкості до всіх місцевих рас збудника (бал 9 - ознаки хвороби відсутні; бал 8 – поодинокі некротичні плями) було віднесено гени стійкості Lr9, Lr18, Lr19, Lr25, Lr28, Lr39, Lr40, Lr41, Lr42, Lr24+43, Lr43+Lr21+Lr39, LrTm. В 2025 р. до цієї групи увійшли гени Lr9, Lr25, Lr28, Lr39, Lr40, Lr41, Lr42, Lr43+Lr21+Lr39, LrTm;

- група генів, що обумовлюють стійкість - рослини незначно уражуються патогеном - (бал 8 - поодинокі некротичні плями та уредініопустули інтенсивністю до 5%; бал 7 - уредініопустули інтенсивністю до 10%) – в 2024 р. увійшли гени стійкості Lr32, Lr35. В 2025 р. до цієї групи жоден ген не увійшов.

- гени, що обумовлюють стійкість - рослини незначно уражуються патогеном – (бали 7 і 6 - уредініопустули інтенсивністю від 10 до 15%) – в 2024 р. увійшли гени Lr21, Lr27+31, Lr46, Lr50. В 2025 р. увійшли гени Lr18, Lr19, Lr24+43, Lr27+31, Lr28, Lr35, Lr50.

Всі вище наведені гени стійкості ми радимо використовувати в селекційному процесі з врахуванням особливостей останньої групи.

За підсумком можна виділити ще одну групу генів стійкості, рівень експресії якої визначається як лабільний - має мінливий характер і залежить від рівня інфекційного навантаження і рівня вірулентності популяції патогена в цілому. До неї відносимо всі гени стійкості, які входили до вище перелічених груп в 2024 р., але через епіфітотію 2025 р. втратили стійкість чи значно її знизили. Зокрема, носії наступних генів знизили показники в

межах різних рівнів стійкості: Lr18, Lr19, Lr28, Lr24+43 – з 8 балів до 6; значно знизили стійкість до сприйнятливості гени Lr32, Lr46 – з 8-7 до 3-4 балів та з 7-6 до 4-3 балів, відповідно.

Збільшується кількість неефективних генів стійкості в наслідок частих епіфітотій і закріплення в популяції патогенів вірулентних клонів до більшості відомих генів стійкості пшениці. Так, неефективними до дії всіх рас популяції збудника бурої іржі пшениці в зоні Правобережного Лісостепу України за умов епіфітотійного розвитку хвороби є гени Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr15, Lr16, Lr20, Lr22b, Lr24, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32 Lr34, Lr35, Lr37, LrB, Lr42, Lr46. Якщо вони пов'язані з корисними ознаками, їх використання в селекції повинно проводитись за рахунок пірамідування з іншими більш ефективними генами стійкості.

Ген стійкості Lr13, який добре вивчений і легко ідентифікується в сортах і лініях закордонної селекції, в умовах зони Правобережного Лісостепу України проявляє слабку сприйнятливість – сприйнятливість бали 5-4. Ген стійкості Lr29, який ще 10 років тому був ефективним в зоні проведення досліджень, остаточно втратив її станом на 2025 р. Гени Lr2b, Lr3ka, Lr3bg, Lr22a, Lr24, Lr26, Lr29, Lr30 в умовах епіфітотії 2025 р. виявилися сприйнятливими або дуже високо сприйнятливими (бали 3-2-1). Є відомості щодо ефективності гена Lr37 в Україні. Проте, ми ніколи не спостерігали ефективності цього гена в зоні проведення досліджень. В 2024 і 2025 рр. він виявився сприйнятливим і дуже високо сприйнятливим (бали 3-2 і 1-2, відповідно). Сам сорт Thatcher в 2024-2025 рр. був сприйнятливим і високо сприйнятливим (бали 3-2 і 2, відповідно).

Отже, експресія генів стійкості пшениці до збудника бурої іржі залежить від рівня інфекційного навантаження і рівня вірулентності популяції патогена. Збільшення частоти виникнення епіфітотій призводить до втрати ефективності генами стійкості, які раніше входили до груп високої стабільної, високої і стабільної стійкості. Накопичення вірулентних клонів в популяції сприяє втраті стійкості. При епіфітотійному розвитку захворювання більшість генів стійкості пшениці значно знижують рівень експресії до помірної сприйнятливості, але значна частина втрачає ефективність до сприйнятливості. За умов епіфітотії гени стійкості Lr9, Lr18, Lr19, Lr25 Lr27+31, Lr28 Lr35 та Lr21, Lr39, Lr40, Lr41, Lr42, Lr43+Lr21+Lr39, LrTm і Lr50 здатні забезпечити стійкість рослин до дії місцевої популяції патогена типової для зони Правобережного Лісостепу України.

**Lisova H.M., Konovalova S.A.**
Institute of Plant Protection, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Vasylkivska Str., 33, Kyiv 03022, Ukraine, mail_gl@ukr.net

## RESISTANCE OF NEARLY ISOGENIC WHEAT LINES OF THE THATCHER VARIETY TO LEAF RUST OF WHEAT (*PUCCINIA RECONDITA* F. SP. *TRITICI*) IN 2024-2025

The expression of wheat resistance genes to leaf rust depends on the level of infection load and the virulence level of the pathogen population. An increase in the frequency of epiphytotia leads to a loss of efficiency of resistance genes that were previously included in the groups of high stable, high and stable resistance. The accumulation of virulent clones in the population contributes to the loss of resistance. During the epiphytotia development of the disease, most wheat resistance genes significantly reduce the level of expression to moderate susceptibility, but a significant part loses efficiency to susceptibility. Under epiphytotypic conditions, the genes Lr9, Lr18, Lr19, Lr25 Lr27+31, Lr28 Lr35 and Lr21, Lr39, Lr40, Lr41, Lr42, Lr43+Lr21+Lr39, LrTm and Lr50 are capable of providing plant resistance to the action of the local pathogen population, typical for the Right-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine.

**РУДНИК-ІВАЩЕНКО О.І., ШЕВЕЛЬ Л.О.**
Інститут садівництва НААНУ, 03027, Київ-27, вул. Садова, 23, Україна, e-mail: rudnik2015@ukr.net

## ВПЛИВ ХІМІЧНИХ МУТАГЕНІВ НА ГЕНЕТИЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ ЗАБАРВЛЕННЯ СУЦВІТЬ *CALLISTEPHUS CHINENSIS* (L.) NEES

На сьогодні селекцією калістефусу китайського в Україні займаються лише дві установи - Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка та Інститут садівництва НААН. У Державному Реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні на 2025 рік занесено 33 сорти калістефусу китайського, з них 24 селекції Інституту садівництва НААН. На сучасному етапі селекцію цієї культури в Інституті садівництва НААН проводять двома шляхами: відбір зразків від вільного запилення сортів існуючої колекції і після обробки культиварів хімічними мутагенами, з подальшим багаторазовим індивідуальним відбором. Селекція спрямована на отримання сортів універсального призначення (високих з великою кількістю крупних суцвіть) і для озеленення (компактні рослини бордюрного типу). Необхідність поновлення насіннєвого матеріалу випливає з того, що навіть найцінніші, стабільні сорти через певний час втрачають цінні ознаки, і перш за все, знижуючи урожайність і декоративність. Небажаному явищу можна ефективно протидіяти лише частою заміною насіння вищої репродукції, і робити це треба якомога частіше.

Показник рівня декоративності рослин у першу чергу в її суцвіттях. Суцвіття калістефусу китайського складається з квіток двох типів - «серединка» представлена трубчастими квітками, в яких розміщені маточка і тичинки. У вихідних формах по краях кошика розміщені язичкові квітки (за ботанічною класифікацією, несправжньоязичкові), у яких наявна тільки маточка. У міру збільшення їх кількості в суцвітті посилюється ефект виповненості. Їх забарвлення також різноманітне: численні варіації відтінків від білих до темно: -червоних, -лілових, -синіх і -фіолетових. Селекційні форми класифіковані за сортотипами і забарвленням. Форма і забарвлення суцвіть калістефусу - основні ознаки, за якими проводять селекцію.

Дія хімічних мутагенів збільшує генетичну мінливість рослин шляхом індукції їх видимих мутацій, що призводить до розширення різноманіття висхідного матеріалу. За дії мутагену на генотип існує визначена межа можливостей цієї взаємодії, яка визначається природою генотипу, видом мутагену, його концентрацією та експозицією. Тому, вивчення впливу хімічних мутагенів на рослини калістефусу китайського для можливого отримання різновидів за забарвленням суцвіть є важливим у селекційному процесі.

Максимальну мінливість у проведених дослідах хімічні мутагени індукували за забарвленням суцвіття, розщеплення якого вже розпочалось у гібридів $F_1$ – з'явились особини з бордовим, а у $F_3$ – і з синім забарвленням. Під дією хімічних мутагенів на насіння сорту Рубінові звьозди з яскраво-червоним забарвленням суцвіть, виділились форми із 7-ми різними забарвленнями суцвіть: темно фіолетового під дією мутагенів ДГ-72 (200 мг/л) – 15 рослин з 60–ти облікових; блідо-блакитного і блідо-рожевого у варіанті ДГ-468 (100 мг/л) – 6 і три рослини відповідно; блідо- та яскраво-рожевого у варіанті ДГ-75 (40 мг/л) – 8 і 4 рослини відповідно; 6 рослин з темно-бордовим забарвленням у варіанті ДГ-82 (8 мг/л) та 4 з темно-червоним у варіанті ДГ-75 (20 мг/л). У цього сорту відбулося найбільше розщеплення за забарвленням суцвіть у порівнянні з іншими сортами, що були у досліді. Рослини сорту Оксана з рожевим забарвленням суцвіть у гібридів $F_1$ мали розщеплення з темно-синім забарвленням суцвіть у варіанті ДГ-468 (200 мг/л) і темно-бордовим - ДГ-72 (200 мг/л), сорту Яблунева (блідо-рожевий) у варіанті ДГ-82 (20 мг/л) — суцвіття темно-рожеве, сорту Ніжність (на початку квітування біло-зеленого з поступовим переходом у рожево-фіолетовий) біло-зелені та білі з більшим суцвіттям (діаметр 14-15 см). У сорту Празнічна (рожевий спектр) розщеплення на різноманіття кольорів досить широке. У варіанті ДГ-75 (40 мг/л) відбулося розщеплення до 40 % білих і 60 % темно-рожевих суцвіть, ДГ-75 (8 мг/л) – 25 % темно-рожевих, ДГ-468 (200 мг/л) – 15 % білих і темно-рожевих і 10 % різних за типом суцвіть. Отже, найбільшу кількість видимих змін за забарвленням спостерігали у рослин варіанту під дією ДГ-75 (40 мг/л), з'явилися рослини із суцвіттям від білих, яскравих

до темних кольорів. Із всіх варіантів лише у варіанті ДГ-72 (100 мг/л) сорти не відреагували на дію хімічних мутагенів за розщепленням забарвлення суцвіть. Використання хімічних мутагенів у рослин, які вивчали, варіанти: ДГ-75 (20 мг/л), ДГ-608 (100 мг/л) та ДГ-82 (8 мг/л) забезпечили вузький спектр розщеплення рослин, проте, усі сорти у дослідах відреагували на дію хімічних мутагенів за розщепленням найголовнішої ознаки рівня декоративності. Збільшення кількості таксонів з біоморфологічними змінами уже у гібридів $F_1$ під дією хімічних мутагенів, очевидно пов'язане як з вищими їх дозами, так і зі специфікою генотипів, які вивчали.

Для селекційної роботи відбирали перспективні форми з сорту Рубінові звьозди. У рослин $F_3$ цього сорту багато змінених морфологічних ознак збереглося, в результаті чого виділені 26 форм, що перевищують за рівнем декоративності батьківські форми. Більша частина їх отримана від обробки насіння мутагеном ДГ-468 (200 мг/л). Найбільшою несподіванкою виявилася велика група гібридних рослин із синім кольором суцвіть – 44 % (з 69 родин). Розщеплення відбулося і на генотипи з відтінками кольорів: блідо блакитні, темно фіолетові, темно червоні та ін. Їх кількість незначна, вона коливалась за поколіннями. Таке велике розщеплення у межах одного сорту, генотипи яких відрізняються від батьківських за кольором, можна пояснити генеалогією сорту Рубінові звьозди. Він отриманий від сорту Чарм німецького походження, якому характерне рідкісне забарвлення - лососево-рожеве, що свідчить про досить насичений, або можна сказати, складний його геном.

З новими забарвленнями суцвіть у наступних поколіннях проявлялись генотипи, хоча і в невеликих кількостях, але були й такі, які втратили цю ознаку. Так, гібриди у $F_5$ з темно фіолетовим забарвленням суцвіть не проявилися. Генотипи з бордовим кольором суцвіть з кожним новим поколінням проявлялись досить чітко і в $F_5$ це вже були гомозиготні рослини, з закріпленими господарсько-цінними ознаками. Саме від цієї родини створений новий сорт, який успішно пройшов сортовипробування і занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні під назвою Шоколадка. Поява змінених форм у контрольних варіантах чутливих генотипів свідчить про їх мутабельність, у яких під дією екстремальних чинників довкілля можуть з'являтися спонтанні мутації або морфози. Виділена форма може мати не одну, а кілька змінених ознак, що можна пояснити обумовленістю плейотропної дії гену, який мотивував.

Отже, хімічні мутагени впливають і розширяють спектр морфологічних змін у рослин калістефусу китайського за рахунок мотивування слабко мутабельних локусів, у результаті чого можна отримати форми з новими декоративними ознаками. Багаторічний відбір селекційно цінних зразків за декоративними ознаками та стійкістю до умов вирощування завершився формуванням банку перспективних форм для отримання нових сортів калістефусу китайського з високими показниками рівня декоративності їх рослин. Застосування індукованого мутагенезу дозволило збільшити частку декоративно цінних форм за інтенсивністю їх забарвлення та формою суцвіть.

**Rudnyk-Ivashchenko O.I., Shevel L.O.**
Institute of Horticulture of the National Academy of Sciences, 03027, Kyiv-27, str. Sadova, 23, Ukraine, e-mail: rudnik2015@ukr.net

## INFLUENCE OF CHEMICAL MUTAGENS ON GENETIC DIVERSITY OF FLOWER COLORATION OF *CALLISTEPHUS CHINENSIS* (L.) NEES.

As a result of the conducted research, the effectiveness of the use of chemical mutagens for the selection of *Callistephus Chinese* has been proven. Under their action, the spectrum and frequency of changes in the morphological features of plants, especially the color of inflorescences, is expanded. Sensitive forms of plants to the action of mutagens have been identified, and mutable traits have been identified. As a result of the action of mutagens, new varieties of *Calistephus Chinese* were obtained - Chocolate and Sofia with high indicators of decorative qualities.

**САХАРОВА В.Г., БЛЮМ Р.Я., НОВОЖИЛОВ Д.О., РАБОКОНЬ А.М.**
Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України, Україна, 04123, м. Київ, вул. Байди-Вишневецького, 2А, e-mail: rabokonnastya@gmail.com

## ДНК-ІДЕНТИФІКАЦІЯ М'ЯКОЇ ТА ТВЕРДОЇ ПШЕНИЦІ У ЗРАЗКАХ БОРОШНА НА ОСНОВІ ГЕНІВ ТУБУЛІНІВ

Пшениця (*Triticum* sp.) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур, основною метою культивування якої досі лишається виробництво харчових продуктів, зокрема борошна. У зв'язку з наявністю морфологічно подібних видів пшениці, ймовірністю контамінації зерна іншими злаковими бур'янами та розширення світового ринку зернових та продуктів їх переробки, усе більш актуальним стає питання перевірки якості, чистоти та відповідності складу харчових продуктів, зокрема борошна. Крім того, тверда та м'яка пшениця відрізняються не лише за морфологічними й агротехнічними характеристиками, а й за своїм призначенням у харчовій промисловості. Тому створення швидкої, надійної та високоточної системи ідентифікації видового складу зерна та продуктів його переробки є надзвичайно важливим для продовольчої безпеки країни.

Представлене дослідження мало на меті продемонструвати можливість використання методу оцінки поліморфізму довжини інтронів генів β-тубуліну (Tubulin-Based Polymorphism, TBP) для ідентифікації видів пшениці у зразках зерна та борошна, зокрема з метою перевірки складу комерційних зразків борошна та оцінки чутливості методу.

Для детекції видоспецифічних ДНК-фрагментів у представників *Triticum* нами було застосовано TBP-метод, а також використовували контрольні сорти *T. aestivum* та *T. durum*. Було встановлено, що отримані ДНК-профілі гексаплоїдної м'якої пшениці завжди містили більшу кількість цільових ампліконів порівняно з тетраплоїдною твердою пшеницею, але в цілому ступінь внутрішньовидового поліморфізму був досить низьким. Тим не менш, між двома видами, а в деяких випадках і між окремими генотипами цих видів, можна достовірно виявити кілька поліморфних амліконів, зокрема при аналізі 1-го інтрону β-тубуліну видоспецифічні амлікони було виявлено у діапазонах 400-500 п.н., 600-700 п.н., 700-1000 п.н.; для 2-го – 280-300 п.н., 500-600 п.н., 700-1000 п.н. Щоб перевірити, чи можна використовувати виявлені ДНК-фрагменти як молекулярні маркери для виявлення присутності м'якої пшениці в борошні з твердої пшениці, були підготовлені і проаналізовані контрольні суміші борошна з твердої пшениці із додаванням різного відсотку м'якої пшениці (від 5 до 50%). В цілому, виявлені амлікони можна використовувати для простого та швидкого скринінгу борошна, що складається з *T. aestivum* або *T. durum*, однак чутливість задіяного методу у випадку виявлення фальсифікації м'якої пшениці в виробах з твердої пшениці є дещо обмеженою, адже у випадку аналізу 1-го інтрону β-тубуліну у сумішах пшениця м'яка детектується від 12% (за масою), а при аналізі 2-го інтрону – від 5%. У випадку аналізу комерційних зразків борошна метод дозволив встановити відповідність заявленому типу сировини, адже отриманий профіль зразків борошна повністю відповідає ДНК-профілю референтних зразків пшениці.

Отримані дані свідчать про можливість ефективного використання запропонованого методу, наприклад, в системі контролю якості борошна.

*Робота виконана в рамках проєкту «Баркодинг ДНК на основі генів тубулінів: автентифікація видів пшениці та споріднених зернових культур у харчових продуктах»» (2024-2025,* № 0124U002378*).*

**Sakharova V.H., Blum R.Ya., Novozhylov D.O., Rabokon A.M.**
Institute of Food Biotechnology and Genomics, Natl. Acad. Sci. Ukraine, Ukraine, 04123, Kyiv, Baidy-Vyshnevetskoho str., 2A; e-mail: rabokonnastya @gmail.com

## DNA-BASED DETECTION OF SOFT AND DURUM WHEAT IN FLOUR SAMPLES BASED ON TUBULIN GENES BARCODING

This study evaluated the use of Tubulin-Based Polymorphism (TBP), which relies on intron length variation in β-tubulin genes, for identifying wheat species in grain and flour samples. The method successfully distinguished hexaploid bread wheat (*T. aestivum*) from tetraploid durum wheat (*T. durum*) based on species-specific amplicons. Although intraspecific polymorphism was relatively low, diagnostic fragments were consistently detected in defined size ranges. Sensitivity tests with mixed flour showed that bread wheat contamination in durum flour could be detected from ~12% (intron 1) or as low as 5% (intron 2). Overall, the results demonstrate that TBP is a reliable tool for rapid screening and quality control of wheat-based products.

**САХАРОВА В.Г., БЛЮМ Р.Я., НОВОЖИЛОВ Д.О., РАБОКОНЬ А.М., БЛЮМ Я.Б.**
ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Україна, 04123, м. Київ, вул. Байди-Вишневецького, 2а, e-mail: vl_saharova@ukr.net

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВИДІВ ПШЕНИЦІ У ПРОДУКТАХ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ЗА ДНК-МАРКЕРАМИ НА ОСНОВІ ГЕНІВ ТУБУЛІНУ

В Україні пшениця, зокрема пшениця м'яка (*T. aestivum*), є однією з основних сільськогосподарських культур, продаж якої забезпечує значну частку експортних проибутків, адже вона входить у трійку лідерів зернових культур (поряд з кукурудзою та ячменем) за світовими об'ємами вирощування. Однією з основних цілей культивування пшениці є отримання харчових продуктів, зокрема круп. Однак кінцевий продукт переробки пшениці може бути контамінованим наявністю домішок або наявністю фальсифікацій, таких як додавання інших видів зернових культур чи небажаних компонентів. На сьогодні найбільш інформативним та ефективним методом ідентифікації та перевірки видового складу рослинних компонентів у харчових продуктах вважається ДНК-баркодинг. В нашому дослідженні використовувалися молекулярні маркери на основі генів β- та γ- тубуліну. Метод оцінки поліморфізму довжини інтронів β-тубуліну вже успішно застосовувався для розрізнення деяких видів пшениці та ячменю (Рабоконь та ін., 2015, Guadalupi et al., 2022), а також ряду представників роду *Aegilops* (Гординський та ін., 2024). Крім того, за попередніми даними метод оцінки поліморфізму довжини інтронів генів γ-тубуліну, які представлені у геномі меншою кількістю ізотипів у порівнянні з β-тубуліном, також можна використовувати для успішної та швидкої ідентифікації різних видів злакових (Рабоконь та ін., 2024)

Метою дослідження було перевірити склад продуктів переробки зерна пшениці з використанням ДНК-маркерів на основі генів β- та γ-тубуліну. В роботі були використані комерційні зразки пшеничних круп, зокрема кускусу (ТМ «Трапеза») з твердих сортів пшениці, манної (ТМ «Сто пудів») та пшеничної круп (ТМ «Август», ТМ «Розумний вибір») з твердих та м'яких сортів пшениці.

ДНК з усіх зразків виділяли за допомогою набору DNeasy Plant Mini Kit (QIAgen, Німеччина) згідно протоколу виробника та після простої ПЛР-ампліфікації, виконаної з різними парами вироджених праймерів. Отримані ДНК-фрагменти розділяли в 6%-му неденатуруючому поліакриламідному гелі та аналізували за допомогою програм GelAnalyzer (www.gelanalyzer.com/) та iTol v7 (https://itol.embl.de/).

Було виявлено, що проаналізовані зразки відрізнялися між собою та мали унікальні амплікони, однак рівень їх поліморфізму був невисоким. Отримані профілі комерційних зразків пшеничних круп відповідали молекулярно-генетичним профілям референтних зразків *T. aestivum* та *T. durum*. При аналізі 1-го інтрону β-тубуліну видоспецифічні амлікони було виявлено у діапазонах 400-500 п.н., 1200-1500 п.н.; для 2-го – 280-300 п.н., 400-600 п.н., 700-1000 п.н., що узгоджується з нашими попередніми даними по перевірці якості різних комерційних зразків борошна (Сахарова et al., 2025). Цікаво, що один зі зразків крупи кускус, зазначений виробником як виробленої із сортів твердої пшениці, мав спільні фрагменти з крупами з м'яких сортів, що може свідчити про невідповідність наданої виробником інформації. Так, у них є спільні амплікони довжиною 440 п.н. для 1-го інтрону β-тубуліну та 520 п.н., 580 п.н. та 705 п.н. для 2-го інтрону β-тубуліну, яких немає в інших зразках круп з твердих сортів пшениці. За обома інтронами β-тубуліну у інших зразках пшеничної і манної круп спостерігалась відповідність заявленим видам пшениці. Таким чином, метод оцінки поліморфізму довжини 2-го інтрону виявився більш ефективним, ніж за 1-м інтроном, оскільки було виявлено більше поліморфних ампліконів.

Для оцінки довжини інтронів γ-тубуліну використовували власноруч розроблені вироджені праймери до ділянок, що охоплюють послідовності 1-го та 9-го інтронів генів γ-тубуліну. За цим ДНК-маркером для зразків крупи кускус був відсутній цільовий ДНК-фрагмент, можливо через термічну обробку, якій піддається цей продукт під час

виробництва. При аналізі 1-го інтрону γ-тубуліну всі досліджені зразки круп твердих сортів мали унікальний амплікон довжиною 1040 п.н., в той час як крупи з м'яких сортів пшениці мали поліморфну смугу довжиною 1055 п.н. За 9-м інтроном γ-тубуліну комерційні зразки манної та пшеничної крупи з м'яких сортів мали два додаткових амплікони довжиною 533 і 540 п.н. Загалом, за 9-м інтроном γ-тубуліну було виявлено більше поліморфних локусів, ніж за 1-м інтроном. Порівнюючи обидва методи, можна дійти висновку, що за допомогою методів оцінки поліморфізму довжини інтронів як β-, так і γ-тубуліну можна успішно перевіряти якість продуктів переробки зерна, зокрема на наявність домішок м'яких сортів у виробах з твердих сортів пшениці. Відповідно, нами була проаналізована ефективність та точність обох методів ДНК-баркодингу при верифікації наявності видів пшениці у складі продуктів їх переробки.

Таким чином, отримані дані свідчать про успішність застосування ДНК-маркерів на основі тубуліну для ідентифікації *T. aestivum* та *T. durum* у харчових продуктах, зокрема в крупах, оскільки зразки мали різні молекулярно-генетичні профілі.

*Робота виконана в рамках проєкту «Баркодинг ДНК на основі генів тубулінів: автентифікація видів пшениці та споріднених зернових культур у харчових продуктах»» (2024-2025,* № 0124U002378*).*

**Sakharova V.H., Blume R.Y., Novozhylov D.O., Rabokon A.M., Blume Ya.B.**
Institute of Food Biotechnology and Genomics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine,
Ukraine, 04123, Kyiv, Baidy-Vyshnevetskoho str., 2A

## WHEAT SPECIES IDENTIFICATION IN PROCESSED GRAIN PRODUCTS BY TUBULIN BASED DNA MARKERS

The aim of the study was to identify wheat species in groats using intron length polymorphism markers of β- and γ-tubulin genes. Based on the obtained molecular genetic profiles, products from *T. aestivum* and *T. durum* were clearly different from each other. One commercial sample of couscous, labeled as from *T. durum*, shared amplicons with soft varieties, indicating the presence of *T. aestivum* contamination in this product. The highest number of polymorphic bands was revealed for 2nd intron of the β-tubulin gene and 9th intron of the γ-tubulin gene. Both DNA barcoding methods can be successfully applied for the identification of *T. aestivum* and *T. durum* in food products.

**ФЕДОРОВА В.Р., ФАЙТ В.І., БАЛАШОВА І.А.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, 65036, м. Одеса, Овідіопольська дорога, 3, fedgen@ukr.net

## ЕФЕКТИ АЛЕЛІВ ГЕНІВ *PPD-D1, PPD-B1* І *PPD-A1* НА ЧАС КОЛОСІННЯ, УРОЖАЙ ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ У СОРТІВ ПШЕНИЦІ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Ключовою адаптивною ознакою рослин до умов навколишнього середовища є час колосіння. Вплив часу колосіння, як чинника адаптації, багато в чому залежить від регіональних кліматичних умов, в тому числі і фотоперіоду, що є одним із основних природних механізмів, що визначає тривалість періоду до колосіння. Відомі три гени ортологічної серії *Ppd-1: Ppd-D1, Ppd-B1* і *Ppd-A1*, що локалізовані на коротких плечах хромосом 2 гомологічної групи, які контролюють відмінності за реакцією на фотоперіод рослин м'якої пшениці. При цьому домінантні алелі генів *Ppd-1* зумовлюють нечутливість, а рецесивні - навпаки, сильну чутливість до тривалості дня. Рослини з домінантними алелями *Ppd-1* рано колосяться як на скороченій, так і подовженій тривалості дня. Наявність чутливих до фотоперіоду алелів значно затримує колосіння, особливо в умовах скороченого дня.

Ген *Ppd-D1* має, як мінімум, чотири різні алелі. Домінантний алель гена *Ppd-D1a* відрізняється від рецесивного алеля *Ppd-D1b* делецією розміром 2089 п.н. у промоторній ділянці гена. Генотипи з делецією в екзоні 7 були класифіковані як носії *Ppd-D1d*. Генотипи, що містять алель *Ppd-D1c*, відрізняються наявністю в інтроні 1 транспозону типу *Mariner*. У гена *Ppd-A1* ідентифіковано більш ніж 60 мутацій. Наявність делеції у промоторі розміром 1085 п.н. є маркером присутності домінантного алеля *Ppd-A1a.1*, що є рідкістю у сортів м'якої пшениці. Серед сортів м'якої пшениці більш поширені рецесивні алелі *Ppd-A1b, Ppd-A1_del303* (делеція 303 п.н. у екзонах 5, 6) і *Ppd-A1_del2ex7* (делеція 2 п.н. у екзоні 7). У гена *Ppd-B1* спостерігали алельну варіацію кількості копій (CNV). Домінантні дво -, три - та чотирикопійні форми гена *Ppd-B1*, позначені як *Ppd-B1d, Ppd-B1a, Ppd-B1c,* відповідно. Генотипи пшениці з однією копією алеля (*Ppd-B1b*) чутливі до фотоперіоду.

Цілеспрямоване маніпулювання генетичним різноманіттям за генами *Ppd-1* дозволяє створювати сорти більш пристосовані для вирощування у певних кліматичних умовах. Але використання тих або інших алелів при створенні сортів потребує попереднього вивчення актуальності того чи іншого генотипу для місцевих кліматичних умов, що неможливо без визначення ефектів певних алелів та їхніх різних комбінацій за комплексом ознак.

Метою даної роботи є оцінка ефектів тих чи інших алелів кожного із генів *Ppd-1* за тривалістю періоду до колосіння, урожаєм зерна та його складовими.

Як вихідний матеріал використовували 45 сортів озимої м'якої пшениці різного географічного походження, що ідентифіковані раніше за алелями трьох генів ортологічної серії *Ppd-1*. В загальній вибірці виявлено сорти носії чотирьох алелів гену *Ppd-D1*: *Ppd-D1a, Ppd-D1b, Ppd-D1c, Ppd-D1d*; двох алелів гену *Ppd-B1*: *Ppd-B1b* і *Ppd-B1c* та двох алелів гену *Ppd-A1*: *Ppd-A1b* і *Ppd-A1_del303*. Для запобігання порушення правилу єдиної відмінності для порівняння груп сортів використовували тільки ті генотипи, що різняться алелями одного гена при ідентичності сортів за алелями двох інших генів. Насіння сортів сіяли восени протягом трьох років на ділянках площею 3 м$^2$ по 500 зерен на 1 м$^2$. Під час вегетації у полі відмічали дату колосіння візуально при наявності на ділянці 75% рослин, що колосилися, яку трансформували (від дати 1 травня) в тривалість періоду до колосіння (ТПК). Перед збиранням урожаю підраховували кількість продуктивних пагонів (КПП) на одиницю площі (1м$^2$). Під час збирання урожаю визначали урожайність зерна з ділянки (УЗ). Після збирання у 30 рослин кожного сорту оцінювали висоту рослин, кількість і масу зерен колоса, масу 1000 зерен.

Порівняння 45 озимих сортів дає підстави для виявлення широкого генетичного різноманіття досліджуваного набору за вище наведеними ознаками. Різниця за тривалістю періоду до колосіння сортів, що рано та пізно колосилися, складала 17 діб (від 7,3 до 24,7 діб), а за висотою рослин між більш високо- та низько рослими сортами – 67 см. Кількість

зерен колосу варіювала від 34 до 57 шт., маса 1000 зерен – від 27,2 до 44,7 г, а маса зерна колоса більш продуктивних сортів перевищувала таку у менш продуктивних на 1,01 г. Кількість продуктивних пагонів складала від 499 до 755 шт./м$^2$. Урожай зерна більш продуктивних сортів сягав 0,694 кг/м$^2$ та перевищував такий у менш продуктивних на 0,443 кг/м$^2$.

Сорти носії чотирьох різних алелів гена *Ppd-D1* суттєво різнилися між собою за тривалістю періоду до колосіння, масою 1000 зерен та урожаєм зерна. При цьому сорти носії домінантного алеля *Ppd-D1a* колосилися на 12,9 добу та сформували більший урожай (0,573 кг/м$^2$), головним чином за рахунок суттєво більшої маси 1000 зерен порівняно з іншими генотипами. Наявність в генотипі сорту будь-якого з рецесивних *Ppd-D1* алелів призводила до збільшення тривалості періоду до колосіння: *Ppd-D1b* до 15,8, *Ppd-D1c* - 17,7 і *Ppd-D1d* - до 18,3 діб та зменшення врожаю зерна на 0,073 – 0,141 кг/м$^2$ і маси 1000 зерен на 2,3 – 5,8 г. Заразом, три генотипи носії різних рецесивних алелів гена *Ppd-D1* істотно не різнилися між собою за жодною з ознак.

При порівнянні двох груп сортів носіїв альтернативних алелів гена *Ppd-B1*, що мають ідентичні алелі двох других генів *Ppd-1* (*Ppd-D1a* та *Ppd-A1_del303*), відмінності за тривалістю періоду до колосіння між сортами носіями домінантного алеля *Ppd-B1c* та сортами носіями альтернативного рецесивного алеля *Ppd-B1b* складали 4,2 діб (8,7 та 12,9 діб, відповідно). Разом з тим, ці відмінності за часом колосіння на фоні домінантного алеля *Ppd-D1a* не знайшли свого відображення при формуванні урожаю зерна або будь яких його компонентів.

Сорти носії альтернативних алелів гена *Ppd-A1* (генотип за іншими генами *Ppd-D1a* та *Ppd-B1b*): *Ppd-A1b* або *Ppd-A1_del303* не різнилися істотно за тривалістю періоду до колосіння у загальній вибірці. Їхнє колосіння відмічали на 12,6 і 13,3 добу, відповідно. Не виявлено відмінностей між ними і за іншими ознаками: висота рослин, кількість та маса зерен колоса, маса 1000 зерен, кількість продуктивних пагонів, урожай зерна.

Отже, генетичні відмінності за фотоперіодичною чутливістю відіграють важливу роль у визначенні відмінностей пшениці м'якої за низкою ознак. Домінантний алель *Ppd-D1a* сприяє істотному прискоренню колосіння, суттєвому збільшенню маси 1000 зерен та урожаю зерна. В той же час, відмінності за геном *Ppd-B1* на фоні домінантного алеля *Ppd-D1a* не були асоційовані з жодної з ознак, окрім таких за часом колосіння. Різні рецесивні алелі гена *Ppd-A1* при взаємодії з генами *Ppd-D1a* та *Ppd-B1b* не мали достовірного впливу на тривалість періоду до колосіння та інші ознаки, що вивчали, при використанні в якості вихідного матеріалу сортів різного географічного походження.

**Fedorova V.R., Fait V.I., Balashova I.A.**
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Ovidiopolska doroga, 3, Odesa, 65036, Ukraine, fedgen@ukr.net

## EFFECTS OF ALLELES OF THE *PPD-D1, PPD-B1* AND *PPD-A1* GENES ON HEADING TIME, YIELD AND ITS COMPONENTS IN WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT ORIGINS

Genetic differences in photoperiod sensitivity play an important role in determining common wheat differences in a number of traits. The results of a three-year study of 45 winter soft wheat varieties of different geographical origins, previously identified by alleles of three genes of the orthologous *Ppd-1* series, are presented. The dominant allele *Ppd-D1a* contributes to a significant acceleration of heading, a substantial increase in 1000-grain weight, and grain yield. At the same time, differences in the *Ppd-B1* gene against the background of the dominant *Ppd-D1a* allele were not associated with any of the traits, except those related to earing time. Different recessive alleles of the *Ppd-A1* gene, when interacting with the *Ppd-D1a* and *Ppd-B1b* genes, did not have a significant effect on the length of the period before earing and other traits studied, when varieties of different geographical origins were used as starting material.

**БОРЗИХ О.І., ВІННІЧУК Т.С., КРУТЬ М.В.**
Інститут захисту рослин НААН, м. Київ, вул. Васильківська, 33, e-mail: m.v.krut@ukr.net

## ІННОВАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЙ У СЕЛЕКЦІЇ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА СТІЙКІСТЬ ДО ХВОРОБ ТА ШКІДНИКІВ

Стратегічною і найбільш ефективною галуззю вітчизняної економіки як у мирний, так і в нинішній воєнний час є зернове господарство. Для стабільного її розвитку і разом із тим аграрного сектору економіки країни в цілому багато ще треба зробити. Важливим резервом для отримання значної частини додаткової продукції зерна покращеної якості завжди був і залишається захист зернових культур від шкідливих організмів. Найбільш рентабельним й екологічно безпечним в інтегрованій системі захисту даної групи культур є використання стійких до пошкоджень сортів та гібридів. Тому в галузі селекції рослин на стійкість до хвороб та шкідників певне місце належить також біотехнологіям. Це знаходить своє відображення в напрямах досліджень Науково-методичного центру «Захист рослин» в особі головної установи – Інституту захисту рослин Національної академії аграрних наук України.

В Інституті захисту рослин НААН активно розвивається напрям щодо визначення генотипів сортів та селекційних ліній сільськогосподарських культур за допомогою молекулярно-генетичних маркерів генів, що є ознакою стійкості до хвороб, а також генетично-детермінованої хлібопекарної якості зерна пшениці. Створюються також лінії пшениці з комплексом замаркованих генів стійкості до хвороб та з вищою на 30 % хлібопекарною якістю.

Сформовано **базу даних сортів озимої м'якої пшениці української селекції за алельними станами генів стійкості до грибних патогенів.** Вона містить у собі дані про генотипи за маркерами локусів, асоційованих із чутливістю або нечутливостю до токсинів фітопатогенних грибів – збудників піренофорозу, стагоноспорозу, та локусу стійкості до ряду біотрофних фітопатогенів. Сформовано також **базу даних генотипів за локусами запасних білків та наявності житніх транслокацій для сортів і ліній пшениці,** яка містить у собі інформацію про генотипи сортів пшениці та наявність у них генів стійкості до хвороб та шкідників. Інформація про генотипи призначена для використання в селекційному процесі при цілеспрямованому підборі пар для схрещування, і ефективність самого процесу при цьому підвищується на 60 %. Створені лінії пшениці м'якої озимої передано Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН та Полтавській державній аграрній академії для використання в селекційній роботі.

Проведено численні наукові дослідження з питань щодо вивчення генетичних особливостей стійкості пшениці до збудника бурої іржі та пошуку джерел стійкості. В результаті сформовано **базу даних ефективних генів стійкості пшениці до збудника бурої іржі,** використання якої на практиці дає підстави забезпечити високий рівень стійкості вихідного селекційного матеріалу. Створено також **базу даних расового складу популяції збудника бурої іржі пшениці для зони Північного Лісостепу України,** застосування якої в селекційному процесі дає можливість передбачити втрату чи зниження стійкості селекційним матеріалом. На підставі вивчення генетичного стану популяції збудника хвороби сформовано **базу даних генів вірулентності збудника бурої іржі пшениці,** яка може широко використовуватись у селекційному процесі щодо створення стійких сортів. В Миронівський інститут пшениці ім. В.М. Ремесла НААН передано близько 30 генів стійкості пшениці до бурої іржі, із яких 15 є високоефективними.

Сформовано **базу даних видового, расового (штамового) складу основних збудників грибних хвороб пшениці й ячменю ярого** стосовно зони Лісостепу. Її залучення до селекційного процесу дозволить зменшити витрати на пошук джерел стійкості на 40 %, оперативно залучати найбільш ефективні гени стійкості та вилучати малоефективні або ті, які втратили свою ефективність.

Встановлено властивості генів помірної неспецифічної стійкості пшениці до фітопатогенів. При цьому вказано на важливість дослідження цих генів за допомогою

молекулярно-генетичних методів і розглянуто можливі методи виділення ДНК із рослинного матеріалу та підготовчі етапи полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Знання методів виділення ДНК та підбору реагентів для проведення ПЛР необхідні при дослідженні вихідного матеріалу для селекції пшениці на стійкість до хвороб.

В Інституті рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН ідентифіковано гени стійкості пшениці м'якої озимої до хвороб за ДНК-маркерами. Так, виділено 10 зразків культури за маркером ІВ-267 до гена стійкості до бурої іржі Lr26, виявлено пшенично-житні транслокації (1RS хромосоми жита) у 9 зразках пшениці, сформовано каталог генетичної цінності сортів пшениці м'якої озимої з ідентифікованими ДНК-маркерами.

Інститутом захисту рослин НААН також науково обґрунтовано генетичні методи створення сортів з груповою стійкістю до основних збудників хвороб, а саме:

- визначено **оптимальні параметри та строки створення комплексних штучних інфекційних фонів в селекції пшениці на групову стійкість**, використання яких на практиці дає можливість скоротити тривалість селекційного процесу на 3–5 років;
- створено **банки джерел та донорів генів стійкості до патогенів** – збудників борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу, церкоспорельозу пшениці, борошнистої роси ячменю. Виділені високо- та середньопатогенні ізоляти можуть використовуватись при створенні комплексного штучного інфекційного фону.

Створено та передано до Національного центру генетичних ресурсів рослин України бази даних ефективних генів стійкості пшениці до місцевої популяції збудника бурої іржі, джерел резистентності пшениці озимої й ярої до дії збудників бурої іржі, септоріозу, борошнистої роси, твердої сажки та ячменю ярого – до борошнистої роси, твердої й летючої сажки.

Таким чином, інноваційні розробки Науково-методичного центру «Захист рослин» на чолі з головною установою – Інститутом захисту рослин Національної академії аграрних наук України з біотехнології значною мірою спрямовані на вирішення проблем щодо виведення стійких до шкідників та збудників хвороб сортів зернових культур. За використання стійких сортів у практиці виробництва технологія вирощування культур спрощується, пестицидне навантаження на агроекосистему зменшується на 30–50%, а річний економічний ефект може сягнути від 450 до 1700 млн грн. Все це повинно сприяти стабільному розвитку зернового господарства й аграрного сектору економіки країни в цілому, що вкрай важливо як для мирного, так і нинішнього воєнного часу.

**Borzykh O.I., Vinnichuk T.S., Krut' M.V.**
Institute of Plant Protection NAAS, Kyiv, Vasylkivska str., 33, e-mail: m.v.krut@ukr.net

## INNOVATIONS WITH THE USE OF BIOTECHNOLOGY IN GRAIN CROPS' BREEDING FOR RESISTANCE TO DISEASES AND PESTS

Innovative developments of the Institute of Plant Protection and other institutions of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine in biotechnology are largely aimed at solving problems for creating pest resistant and pathogens varieties of grain crops. With the use of resistant varieties in the practice of production, cultivation technology is simplified, pesticide load on the agroecosystem decreases by 30–50 %, and the annual economic effect can reach from 450 to 1700 million UAH.

**Kalendar R.N.** [1,2]
1 National Laboratory Astana, Centre for Life Sciences, Nazarbayev University, 53 Kabanbay batyr Ave., 010000, Astana, Kazakhstan, e-mail: ruslan.kalendar@nu.edu.kz
2 Institute of Biotechnology, University of Helsinki, Biocentre 3, P.O. Box 65,
Viikinkaari 1, 00014 Helsinki, FINLAND
e-mail: ruslan.kalendar@helsinki.fi

## ALLELE-SPECIFIC QPCR METHOD FOR SNP AND INDEL GENOTYPING BASED ON FRET

The proposed allele-specific quantitative PCR (ASQ-PCR) method uses fluorescence resonance energy transfer (FRET) to genotype single-nucleotide polymorphisms (SNPs) and insertion-deletion polymorphisms (InDels). Originally introduced by its developers as Kompetitive Allele-Specific PCR (KASP), ASQ-PCR represents a FRET-adapted variant that preserves the simplicity of allele-specific amplification while enabling direct fluorescence-based readout. We present a companion bioinformatic tool that designs probe and primer sequences for PCR-based genotyping assays. The software supports bidirectional assay design and accommodates both SNP and InDel targets, including the discrimination of up to four allelic variants at a single SNP site. To enhance specificity and allelic discrimination in SNP genotyping, each allele-specific primer is constructed so that the penultimate base before the 3′ terminus coincides with the variant position, thereby tightening the mismatch penalty at extension and minimizing cross-allele amplification. The tool further enables construction of custom FRET cassette reporter systems, facilitating flexible selection of reporter/quencher pairs and assay architectures suited to common real-time PCR platforms. In addition to core primer/probe generation, the interface guides users through key assay parameters amplicon length, primer balance, and reaction setup streamlining transitions from *in silico* design to wet-lab validation. Designed as user-friendly, JavaScript-based software, it runs entirely in the browser, requires no installation, and is freely available at https://primerdigital.com/tools/kasp.html. By coupling allele-specific primer design with FRET detection, ASQ-PCR combines the speed and accessibility of PCR with the specificity of hybridization-based signaling, supporting applications from routine laboratory genotyping to sensitive diagnostic testing. Using the tool to design allele-specific PCR (AS-PCR) assays provide broad flexibility in developing customized genotyping panels and targeted tests, improving the likelihood of experimental success across research, breeding, and clinical-adjacent settings. To demonstrate performance, we designed eight ASQ sets targeting informative human SNPs and tested their genome specificity using PCR assays followed by quantitative PCR-based validation. These ASQ sets showed genome specificity and resolved SNP alleles across 16 human genotypes, supporting the accuracy and effectiveness of the ASQ approach for human SNP genotyping and suggesting similar utility in other animal species. We further developed ASQ sets for barley genes HvSAP16 and HvSAP8 (stress-associated proteins) and applied them for SNP genotyping; these validated examples have been accepted for publication. Our tool and the ASQ method are suitable for two-, three-, or four-allelic uniplex reactions and can, in principle, be extended to multiplex formats targeting different SNPs. Together, the method and software provide a flexible, specific, and sensitive framework for PCR-based genotyping and diagnostics across research, medical, forensic, and breeding applications.

**КОМІСАРЕНКО А.Г.□, МИХАЛЬСЬКА С.І., ДУБРОВНА О.В.**
Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, 31/17, вул. Васильківська, м. Київ, Україна, e-mail: allakomisarenko2017@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ОСМОТОЛЕРАНТНОСТІ ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИХ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ЗА ЕЛЕМЕНТАМИ ПРОДУКТИВНОСТІ

Абіотичні стреси, порушуючи клітинний гомеостаз рослин, негативно впливають на їх ріст і розвиток. В останні роки згубний вплив абіотичних факторів стрімко зростає. Це зумовлено, зокрема, тим, що сучасні сорти культурних рослин характеризуються обмеженою толерантністю до стресових умов, оскільки попередня селекційна робота була здебільшого спрямована на підвищення врожайності та покращення якісних ознак культур. У зв'язку з цим актуальними завданнями сучасної генетики та селекції є розробка ефективних стратегій зниження втрат урожаю, спричинених як біотичними, так і абіотичними стресовими чинниками.

Екологічна пластичність рослин, як основа адаптації до змін довкілля, відіграє ключову роль у забезпеченні їх виживання в широкому діапазоні умов навколишнього середовища. У відповідь на стрес рослини активують низку клітинних, біохімічних і молекулярних захисних механізмів, спрямованих на підтримання життєздатності. Дослідження механізмів пристосування до абіотичних стресів є критично важливим для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Одним із головних аспектів адаптаційної відповіді є феномен генотип-специфічного захисту, коли рівень чутливості або толерантності до стресових умов визначається спадковими особливостями генотипу. Основу молекулярних механізмів стресової відповіді становлять складні сигнальні мережі та специфічні взаємодії між компонентами клітини. Більшість біохімічних і фізіологічних змін за умов стресу є наслідком диференційованої експресії генів, транскриптів та пов'язаних з ними білків. Отже, регуляція генетичної активності на транскрипційному та посттранскрипційному рівнях є ключовою як для розпізнавання стресових сигналів, так і для запуску відповідних захисних реакцій.

У цьому контексті перспективними є інноваційні біотехнологічні підходи, зокрема РНК-інтерференція (РНКі), що має значний потенціал для підвищення стійкості пшениці до несприятливих екологічних чинників та поліпшення інших господарсько цінних ознак. Індукція РНКі в рослинах за допомогою трансгенезу, яка передбачає специфічну для послідовності регуляцію експресії генів за участю малих некодуючих РНК, стала одним з ефективних інструментів у вдосконаленні сільськогосподарських культур, зокрема їх розвитку та захисту від біотичних і абіотичних стресів.

Метою нашого дослідження було показати, що зниження експресії генів катаболізму проліну з використанням стратегії РНК інтерференції, є перспективним напрямом підвищення толерантності пшениці до стресових факторів довкілля та, відповідно, покращення її продуктивності.

Матеріалом для роботи слугували рослини вихідних генотипів УК 171/19h і УК 106/19 та $T_4$ насіннєве покоління трансформованих рослин озимої м'якої пшениці. Генетично змінені форми були отримані шляхом *Agrobacterium*-опосередкованої трансформації *in planta* з використанням штаму *LBA*4404, що несе бінарний вектор pBi2E з дволанцюговим РНК-супресором гена проліндегідрогенази (*pdh*) *Arabidopsis thaliana*.

Рівень стійкості $T_4$ рослин пшениці визначали в умовах вегетаційного досліду. Стресове навантаження створювали у період виходу рослин в трубку, шляхом обмеженого зволоження ґрунту в посудинах протягом 10 діб (30% від повної вологоємності (70% ПВ)), після чого відновлювали зрошення. Паралельно рослини вихідних та трансгенних форм вирощували за умов нормального водопостачання.

Для встановлення залежності, пов'язаної з рівнем експресії генів катаболізму проліну і стрес-стійкістю рослин, проводили порівняльний аналіз основних показників структури врожаю $T_4$ генетично змінених рослин пшениці з їх вихідними генотипами, вирощеними за

умов оптимального і недостатнього поливу, створюваного у критичну фазу росту. Відбір зразків для структурного аналізу здійснювали у період повної стиглості зерна в трьох разовій повторюваності.

Функціональність елементів введеної генетичної конструкції та РНК-інтерференцію гена *pdh* у рослин $T_4$ пшениці встановлювали за активністю фермента проліндегідрогенази (PDH). У порівнянні з контрольними рослинами активність PDH за нормальних умов поливу в $T_4$ пшениці, з дволанцюговим РНК супресором гена проліндегідрогенази, була нижчою майже в 1,3 рази, що свідчить про часткове інгібування експресії цього гена.

Встановлено, що за умов нормального зрошення $T_4$ рослини пшениці та їх вихідні форми не істотно відрізнялися за структурою врожаю. Кращими елементами продуктивності характеризувались біотехнологічні рослини генотипу УК 106/19. При цьому маса 1000 зерен була однаковою в усіх аналізованих форм.

Після дії осмотичного стресу спостерігалося загальне зниження урожайності порівняно з умовами нормального водопостачання, однак у вихідних генотипів воно було більш вираженим. Зокрема, зернова продуктивність колосу головного пагона у контрольних рослин УК 171/19h і УК 106/19 зменшувалась на 16,7% та 10,5% відповідно, тоді як у $T_4$ рослин генотипу УК 171/19h — на 11,4%, а у трансгенних рослин УК 106/19 відмінності були незначними.

Аналіз маси зерна з рослини (МЗР) засвідчив більшу втрату продуктивності за стресових умов у вихідних форм. Так у контрольних рослин генотипів УК 171/19h та УК 106/19 показник МЗР був меншим на 18,5% і 14,3%, а в $T_4$ на 10,4 і 6,5 відсотків, відповідно. Маса 1000 зерен у рослин вихідного генотипу УК 171/19h, порівняно з варіантом 70% ПВ, була нижчою на 6,5%, проте в нащадків $T_4$ взагалі не було виявлено змін відносно виповненості зерна. Для контрольних і трансгенних рослин УК 106/19 різниця за цим показником була не суттєвою і складала два і чотири відсотки, відповідно.

Отже, наші результати засвідчують, що створення генетично модифікованих рослин пшениці з використанням механізму РНК-інтерференції забезпечує пригнічення активності ендогенних генів катаболізму проліну і може сприяти підвищенню продуктивності. Технологія РНКі є потужним інструментом регуляції експресії специфічних генів, що робить її перспективною стратегією для підвищення стресостійкості та захисту сільськогосподарських культур. Крім того, трансгенні рослини, створені на основі РНК-інтерференції, вважаються більш безпечними для довкілля, оскільки не продукують чужорідних білків або біоцидів і не становлять ризику забруднення навколишнього середовища.

**Komisarenko A.G., Mykhalska S.I., Dubrovna O.V.**
Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 31/17, Vasylkivska str., Kyiv, Ukraine, 03022  e-mail: allakomisarenko2017@gmail.com

## STUDY OF THE LEVEL OF OSMOTOLERANCE OF GENETICALLY MODIFIED WHEAT PLANTS BY PRODUCTIVITY ELEMENTS

A comparative analysis of the main elements of the productivity of the seed generation (T4) of genetically modified winter wheat plants of the genotypes UK 171/19h and UK 106/19 and their initial forms under normal growing conditions and water deficit was carried out. T4 plants, with partial suppression of the proline dehydrogenase gene, were characterized by better productivity indicators during drought, which indicates increased resistance to stress. Under conditions of sufficient irrigation, the studied plants did not significantly differ in the structure of the yield. Osmotic stress led to a decrease in productivity elements, but in genetically modified plants it was less pronounced.

**ПИКАЛО С.В., ЮРЧЕНКО Т.В., ХАРЧЕНКО М.В.**
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН України
08853, Київська область, Обухівський район, с. Центральне, вул. Центральна, 68
email: pykserg@ukr.net

## МОДИФІКАЦІЯ СПОСОБУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ НЕЗРІЛИХ ЗЕРНІВОК ПШЕНИЦІ ТА ТРИТИКАЛЕ ДЛЯ ВВЕДЕННЯ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO*

Пшениця є основною зерновою культурою у світі, від якої залежить основа продовольчої безпеки та формування експортного потенціалу держави. Останніми роками також спостерігається зростання інтересу до тритикале, зумовлене його значним фізіолого-генетичним потенціалом продуктивності. Застосування біотехнологій дозволяє скоротити тривалість селекційного циклу, необхідного для створення сортів з покращеними господарсько цінними ознаками, а також сприяє розширенню спектра генетичної варіабельності, необхідної для отримання нових форм із заданими властивостями. Клітинні технології, засновані на культивуванні *in vitro* тканин та органів рослин, можуть значно полегшити та прискорити традиційний процес створення нових сортів зернових культур. Вони пропонують принципово нові шляхи, такі як сомаклональна мінливість, клітинна селекція та віддалена гібридизація для створення генетичної різноманітності та добору форм з цінними господарськими ознаками. Біотехнологічні методи культури *in vitro* різних експлантів (органів або частин органів, ізольованих від донорної рослини) нині широко використовуються для вирішення прикладних завдань селекції цінних сільськогосподарських рослин. Одержання морфогенного калюсу і наступна регенерація рослин – невід'ємна частина клітинної інженерії зернових культур.

Як відомо, незрілі зародки є традиційним експлантом у злаків. Вибір такого типу експланта зумовлений високою інтенсивністю проліферації і компетентністю всіх тканин зародка при культивуванні *in vitro*. Це дозволяє виключити вплив зниження проліферативної функції клітин, характерний для спеціалізованих тканин, на результати експериментів. Проте в експлантах і, як наслідок, в індукованих з них калюсах може проявлятись різноманітна інфекція, яка є як на поверхні (зовнішня), так і всередині (внутрішня) рослинного матеріалу. Так як поживні середовища, що використовуються для введення рослинного матеріалу в культуру *in vitro*, одночасно сприяють розвитку різноманітних мікроорганізмів, подальша життєздатність експлантів безпосередньо залежить від ефективності початкової стерилізації вихідного матеріалу. Інфекційні агенти, локалізовані як на поверхні, так і у внутрішніх тканинах експлантів, можуть проявлятися як на ранніх етапах культивування, так і на пізніших стадіях розвитку рослин-регенерантів. Це супроводжується помітним зниженням частоти поділу соматичних або ембріональних клітин, а також іншими негативними змінами ростових показників. В окремих випадках певні мікроорганізми здатні зберігати латентний стан упродовж кількох пасажів культури, активуючись і починаючи розмноження лише згодом. Тому після відбору донорного матеріалу в польових умовах слід обов'язково проводити його ретельну дезінфекційну обробку. Слід відмітити, що при виборі способу стерилізації слід враховувати не лише особливості генотипу, але й фазу розвитку рослини-донора та ґрунтово-кліматичні умови.

Для більшості культур відомі способи стерилізації насіння, що включають наступні послідовні етапи: обробку насіння в серії стерилізуючих агентів (етанол, препарати хлору, срібла, ртуті), трикратну відмивку насіння в стерильній дистильованій воді. Однак вони є загальними для всіх культур і потребують індивідуального підбору стерилізуючих агентів та експозиції стерилізації. Рослинний матеріал стерилізують розчинами речовин, що містять активний хлор (хлораміном, гіпохлоритом кальцію і натрію, сулемою), бром (бромною водою), пероксидом водню, спиртом, нітратом срібла, діацидом, антибіотиками. Для стерилізації незрілих зернівок з рослин, які вирощуються в умовах відкритого ґрунту, використовують також інші методики, які певною мірою придатні для введення в культуру *in vitro* різних сортів злаків.

Існує спосіб стерилізації (Кваско та ін., 2020), відповідно до якого незрілі зернівки пшениці, зібрані на 12–16-у добу після запилення, обробляють у наступній послідовності: 1) 70 % етанол – 30 с; 2) гіпохлорит натрію (NaOCl) – 12 хв; 3) триразове промивання стерильною дистильованою водою. Даний спосіб прийнято за найближчий аналог. Проте його недоліком є те, що за його використання ефективність стерилізації не перевищує 85 %, в той час, як для масового введення в культуру *in vitro* необхідні способи, які б забезпечували стерилізацію незрілого насіння в межах 95–100 %. Окрім того, при нашій спробі застосувати дану схему стерилізації для незрілого насіння пшениці відмічено негативний вплив тривалої дії (12 хв) гіпохлориту натрію на зернівки, що проявлялось у порівняно низькому відсотку виходу життєздатних експлантів. Тому нами поставлено завдання удосконалити вищезгаданий спосіб, що дозволить зручно, швидко і максимально ефективно стерилізувати незріле насіння пшениці та тритикале з метою подальшого виділення з них зародків та введення їх в культуру *in vitro*.

Введення додаткового проміжного етапу відмивки незрілого насіння розчином соляної кислоти дозволяє зменшити токсичний вплив хлоровмісного препарату на насіннєві покриви. Це значно полегшує роботу та зменшує втрати рослинного матеріалу, як на початкових, так і на наступних етапах культивування.

Запропонований спосіб включає наступні процеси. На 14–16-у добу після запилення рослин у польових умовах зрізали їх колосся. Далі відокремлювали зернівки центральної частини колосу та поміщали їх в стерильні чашки Петрі. Подальшу стерилізацію реагентами проводили в умовах ламінар-боксу у декілька етапів: 1) 70 % етанол – 3 хв; 2) розчин гіпохлориту натрію, збагачений активним хлором (промисловий препарат «Білизна»), у концентрації 30 % – 5 хв; 3) 0,01 Н розчин HCI – 3 хв; 4) трикратне промивання стерильною дистильованою водою. В подальшому із зернівок виділяли зародки і для індукції калюсу висаджували у чашки Петрі із живильним середовищем Мурасіге-Скуга щитком вгору.

Таким чином, у результаті проведених досліджень розроблено спосіб стерилізації незрілих зернівок пшениці та тритикале для введення в культуру *in vitro*, який захищено патентом на корисну модель (№152327 від 11.01.2023, бюл. № 2). Запропонований метод відрізняється від існуючого аналогу концентрацією та співвідношенням стерилізуючих агентів, а також тривалістю обробки. Спосіб дозволяє отримати життєздатний стерильний рослинний матеріал для подальшого введення його в культуру *in vitro*, а ефективність стерилізації становить близько 97 %. Запропонований спосіб знезаражування вихідного рослинного матеріалу пшениці та тритикале для введення в культуру *in vitro* доповнить методологію, а також сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями. Модифікований метод може бути використаний у селекційних центрах, науково-дослідних установах та дослідних станціях. Отримані результати можуть слугувати підґрунтям для вдосконалення біотехнологічних підходів щодо розширення генетико-селекційного потенціалу зернових колосових культур.

**Pykalo S.V., Yurchenko T.V, Kharchenko M.V.**
The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine
68 Tsentralna St., Tsentralne village, Kyiv region, 08853, email: pykserg@ukr.net

## MODIFICATION OF THE STERILIZATION METHOD OF IMMATURE WHEAT AND TRITICALE GRAINS FOR INTRODUCTION INTO *IN VITRO* CULTURE

In this study, an effective method for sterilizing immature wheat and triticale grains for *in vitro* culture initiation was developed, which has been registered as a utility model patent. The proposed method differs from existing analogs in the concentration and ratio of sterilizing agents used, as well as the duration of treatment. This method allows for the producing viable sterile plant material suitable for *in vitro* introduction, with a sterilization efficiency of 97 %. The application of this method in wheat and triticale breeding will contribute to the development of new, competitive varieties with valuable practical traits.

**СІДАКОВА О.В.**
Інститут картоплярства НААН вул. Ярослава Мудрого, буд. 22, сел. Немішаєве, Бучанського р-ну, Київської обл., 07853, e-mail: Sidakova.ov@gmail.com

## ОЗДОРОВЛЕННЯ НОВИХ СОРТІВ КАРТОПЛІ В КУЛЬТУРІ *IN VITRO* ЗА ВИКОРИСТАННЯ РИБАВІРИНУ

Для реалізації потенціалу сорту картоплі потрібно використовувати високоякісний насіннєвий матеріал. Вірусні хвороби є однією з основних причин зниження якості насіннєвої картоплі. Вегетативний спосіб розмноження картоплі призводить до накопичення вірусних патогенів в бульбах, зниження продуктивніості сортів і їх виродження. Метод оздоровлення стає єдиним та найрадикальнішим способом отримання безвірусних рослин. Його позитивний вплив помітний у розвитку рослин та підвищенні врожайності на 30–50 %. Ефективним способом отримання здорової насіннєвої картоплі є метод апікальної меристеми, в поєднанні з методом хіміотерапії. В умовах *in vitro* застосування методу культури меристем в поєднанні з вірусоінгібуючими препаратами, дозволяє максимально реалізувати потенціал сорту та отримати матеріал вільний від вірусних хвороб. За використання даного біотехнологічного методу результатом є отримання чистих ліній, які використовують для продукування насіннєвої картоплі вже в польових умовах та отримання високоякісного насіннєвого матеріалу.

Метою наших досліджень було оздоровлення нових сортів картоплі в культурі *in vitro* за використання методу термо- та хіміотерапії. Розроблення та оптимізація ефективних прийомів у оздоровленні та покращенні якості насіннєвої картоплі нових сортів і підвищення коефіцієнта їх розмноження з використанням вірусінгібуючої речовини – Рибавірин.

В дослідження були залучені сорти картоплі селекції Інституту картоплярства та Поліського дослідного відділення: Марфуша, Медея, Соборна, Мірамі, Містерія, Меланія, Фанатка, Базалія, Роставиця, Світана.

Термотерапію бульб проводили за температури 37– 38 $^0$С, проте терміни прогрівання для кожного сорту різнились. Так, найкоротший період прогрівання зафіксовано для сорту Мірамі – 2 тижні. Найдовше період прогрівання тривав у сортів Соборна та Медея і становив 7 тижнів. Для решти сортів період прогрівання варіював у межах від 15 до 40 днів.

Меристему виділяли у ламінар-боксі під бінокуляром *SZM*4512 із 30-кратним збільшенням асептично із апекса та пазушних бруньок пагона конусу наростання з одним або двома листковими примордіями. За час роботи, після кожної виконаної операції, інструмент стерилізували, опускаючи в колбу зі спиртом і прожарюючи над полум‘ям спиртівки. Після виділення меристему на кінчику голки переносили на поверхню живильного середовища в пробірку згідно варіантів. Пробірку герметично закривали над полум’ям спиртівки та маркували. Штативи із виділеними меристемами переносили в кліматичну кімнату з штучно регульованим режимом світла, температури і вологості. Для регенерації рослин з експлантів використовували середовище Мурасіге-Скуга, регулятори росту додавали в нашій модифікації: кінетин – 0,25 мг/л, аденін – 0,25 мг/л, гіберелін – 1 мг/л, ІОК – 0,5 мг/л. Подальше культивування меристем проводили в кліматичній кімнаті при температурі +24–25 $^0$С, відносній вологості 70–80 %, 16-годинному фотоперіоді та інтенсивності освітлення 3–4 клк.

Всього культивовано на агаризоване середовище 1332 меристемні лінії, а саме: сорт Мірамі – 228 меристемних ліній; Медея – 227; Містерія – 184; Меланія – 178; Фанатка – 126; Марфуша – 78; Світана – 72; Соборна – 72; Базалія – 57; Роставиця – 45. Після першого пасажування визначали ефективність регенерації меристем в культурі *in vitro*. Найбільшу кількість регенерованих рослин отримано у сортів Базалія (77 %) та Медея (65,2 %), найменшу – у сортів Соборна (20,5 %) та Меланія (21,4 %). Ефективність регенерації інших досліджуваних сортів становила: Роставиця – 60 %, Світана – 49 %, Марфуша – 43 %, Містерія – 40,8 %, Мірамі – 37,3 % та Фанатка – 29 %.

Одержаний після другого пасажування рослинний матеріал діагностували на вміст антигенів вірусів методом ІФА, за результатами якого в лініях експлантів виявлено різні концентрації антигену М вірусу картоплі. Його концентрація була зафіксована у межах від 0,073 до 0,444. Лінії сортів, які містили найменшу концентрацію вірусу були залучені для подальшого оздоровлення *in vitro.*

Оздоровлення рослин-регенерантів від вірусної інфекції проводили з додаванням антивірусного препарату Рибавірин в концентрації 50 мг/л в живильне середовище. Антивірусний препарат додавали стерильно до верхнього шару агаризованого середовища. За основу брали середовище Мурасіге-Скуга в нашій модифікації з нашаруванням через фільтр препарата Рибавірин. В процесі культивування спостерігали за регенерацією рослин.

Досліджувані сорти картоплі неоднаково реагували на оздоровлення, що в подальшому позначилось на морфогенезі та регенерації рослин. За спостереженнями досліджуваного матеріалу найвищий морфогенетичний потенціал відмічено у експлантів, виділених з меристеми сортів картоплі: Меланія – 91,3 %, дещо нижчий у сортів Медея – 79,1 %, Соборна – 78,2 % та Містерія – 72,2 %. Сорт Мірамі відрізнявся найнижчим морфогенетичним потенціалом 43,5 %. У сортів Базалія, Ростaвиця, Марфуша, Світана та Фанатка морфогенетичний потенціал коливався в межах 85,6–45,3%.

Вірусінгібуючий препарат Рибавірин впливав на морфометричні показники рослин оздоровлених ліній. Так, висота рослин коливалася в межах від 21 до 42 мм, кількість міжвузлів 2,8 – 4,2 шт. Найвищий показник кількості коренів був у сорту Базалія – 4,9 шт, найнижчий у сорту Фанатка – 2,4 шт, довжина їх коливалася від 9 мм у сорту Світана до 33 мм у сорту Марфуша.

Оздоровлені лінії передані для подальшого розмноження і випробування в польових умовах до відділу біотехнології і біотехнологічних систем Інституту картоплярства.

**Sidakova O.V.**
Institute of Potato Growing, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine 22 Yaroslav Mudry Street, Nemishaieve Village, Bucha District, Kyiv Region, 07853,
e-mail:Sidakova.ov@gmail.com

## HEALING OF NEW POTATO VARIETIES IN IN VITRO CULTURE USING RIBAVIRIN

The aim of the research was to improve new potato varieties in in vitro culture using the apical meristem method in combination with thermo- and chemotherapy. A total of 1,332 meristem lines were cultivated on agarised medium, with the largest number of meristem lines obtained from the Mirami variety – 228 lines. The largest number of regenerated plants after the first passage was obtained from the Basalia and Medea varieties, with meristem regeneration efficiency in in vitro culture being 77% and 65.2%, respectively. Explantates isolated from the meristems of potato varieties Melania (91.3%), Medea (79.1%), Soborna (78.2%) and Misteria (72.2%) showed the highest morphogenetic potential.

**ЧЕКАЛОВА М.С., АФІНОГЕНОВ О.А., ЗАМБРІБОРЩ І.С., ШЕСТОПАЛ О.Л., КІРЧУК Є.І., ГОЛУБ Є.А.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, Одеса, Овідіопольська дорога 3, e-mail: izambriborsh@gmail.com

## ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ СТЕРИЛІЗАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АНДРОГЕНЕЗУ *IN VITRO* В КУЛЬТУРІ ПИЛЯКІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ

Технологія отримання подвійних гаплоїдів (DH) посідає провідне місце у сучасних програмах селекції зернових культур, оскільки забезпечує можливість створення повністю гомозиготних ліній з гетерозиготного вихідного матеріалу вже в першому поколінні (Yan et al., 2017). Це робить культуру пиляків незамінним інструментом для досягнення генетичної однорідності у дослідницьких і селекційних програмах (Song et al. 2017; Tyrka et al., 2018; Testillano, 2019; Bilichak et al., 2020). В основі процесу андрогенезу, що відбувається під час культивування пиляків *in vitro*, лежить здатність морфогенних мікроспор переходити від гаметофітної до спорофітної програми розвитку, формуючи гаплоїдні рослини-регенеранти.

Серед актуальних завдань сучасних досліджень особливе значення має підвищення частоти індукції спорофітного морфогенезу, а також розробка підходів до контрольованої регуляції процесів утворення та регенерації нових структур. Важливою передумовою успішності методу культури пиляків є стерилізація вихідного матеріалу, яка забезпечує збереження життєздатності мікроспор і попереджує бактеріальну та грибкову контамінацію культур *in vitro*. Аналіз наявних даних в літературі показав, що тривалість дії стерилізуючого агенту (в більшості це гіпохлорит натрію) варіює в доволі широких межах: від 5 до 40 хвилин.

З метою вивчення впливу тривалості стерилізації колосся 20% розчином NaClO на ефективність процесів формування новоутворень та регенерації рослин, в культуру *in vitro* введено 25630 ізольованих пиляків 12 генотипів м'якої озимої пшениці, надані відділом селекції пшениці СГІ-НЦНС. Застосовували два терміни стерилізації матеріалу – 20 хв. та 40 хв. з наступним п'ятиразовим промиванням дистильованої водою. Висадку пиляків проводили на тверде живильне середовище 190-2 після попередньої 5-7 добової холодової обробки. Культивування пиляків та отриманих новоутворень (на живильному середовищі MS) проводили за протоколом (Замбріборщ та ін., 2024). Відсоток бактеріальної та грибкової контамінації за обох варіантах досліду не розрізнявся та був на рівні 88 %.

Показано, що усі генотипи виявили чутливість до першого етапу андрогенезу (новоутворення - калюс та ембріоподібні структури). Процент новоутворень від кількості висаджених пиляків коливався у межах від 0,24 до 5,96 для варіанту 40 хв. та від 0,34 до 6,18 .для варіанту стерилізації 20 хв., тобто мав майже однаковий діапазон варіювання. Проте, в середньому кількість новоутворень за меншого терміну стерилізації була достовірно ($p<0.05$) більшою: 2,57 ± 0,15 проти 1,99 ± 0,12.

Регенерація рослин – складний процес, який дуже залежить від генетичної здатності кожного генотипу. Так, стимулювати регенерацію зелених рослин у двох генотипів не вдалося, отримали лише альбіно регенеранти, не залежно від термінів стерилізації донорного матеріалу. Негативний вплив тривалої обробки стерилізуючим агентом виявили й на регенерацію зелених рослин. Найвищий показник даного показника при коротшій тривалості обробки – 1,05%, а при довшій – 0,78 %. Більш наочно негативний вплив тривалої обробки NaClO виявився за середніми показниками даної ознаки. Показано, що за меншого терміну стерилізації відсоток регенерації зелених рослин (від висаджених пиляків) був достовірно більшим за такий при більш тривалій обробці: 0,41 ± 0,06 проти 0,23 ± 0,04. Щодо регенерації альбіно рослин, достовірних розбіжностей виявлено не було. В результаті досліду отримано 79 зелених рослин-регенерантів, які проходять етап адаптації до умов *ex vitro*.

Таким чином, для оптимізації методу отримання зелених рослин регенерантів (в подальшому DH) в культурі пиляків пшениці м'якої рекомендується проводити стерилізацію донорного колосся 20 хв обробкою 20% розчином NaClO.

**Chekalova M.S., Afinogenov O.A., Zambriborshch I.S., Shestopal O.L., Kirchuk Y.I., Holub Y.A.**
Plant Breeding&Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Ukraine, 65036, Odessa, Ovidiopolskaya road, 3, e-mail: izambriborsh@gmail.com

## THE INFLUENCE OF STERILIZATION DURATION ON THE EFFICIENCY OF IN VITRO ANDROGENESIS OF BREAD WINTER WHEAT

All genotypes regardless of the sterilization option showed sensitivity to the first stage of androgenesis (callus and embryo-like structures) were shown. The percentage of calluses from planted anthers had the same range of variation from 0.24 to 5.96 (40 min treatment) and from 0.34 to 6.18 (20 min treatment). However, on average, the number of calluses with a shorter sterilization period was significantly ($p<0.05$) higher: $2.57 \pm 0.15$ versus $1.99 \pm 0.12$. According to the average indicators ofregeneration of green plants , the negative effect of prolonged NaClO treatment was more clearly manifested. The percentage of regeneration of green plants under shorter treatment was significantly higher than with a longer treatment ($0.41 \pm 0.06$ versus $0.23 \pm 0.04$) was shown. As a result of the experiment, 79 green regenerated plants were obtained. The percentage of albino regenerants does not significantly depend on the duration of treatment.

**ШЕСТОПАЛ О.Л., ЗАМБРІБОРЩ І.С., ЧЕКАЛОВА М.С., АФІНОГЕНОВ О.А., ВАСИЛЬЄВ О.А., ТРАСКОВЕЦЬКА В.А., САУЛЯК Н.І., ГОЛУБ Є.А., КІРЧУК Є.І.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, Одеса, Овідіопольська дорога 3, e-mail: oksana.shestopal@gmail.com

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ АНДРОГЕНЕЗУ *IN VITRO* ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІДКОГО ТА АГАРИЗОВАНОГО ІНДУКЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

Застосування подвійно гаплоїдних (DH) рослин у сучасних селекційних програмах є найшвидшим шляхом створення нових сортів, що дозволяє скоротити цикл селекції до 4–6 років і оперативно реагувати на потреби виробництва та кінцевих користувачів. Одним із найефективніших методів отримання DH-рослин у м'якій пшениці є ембріогенез з мікроспор (андрогенез).

У численних дослідженнях було порівняно ефективність рідких і твердих середовищ для індукції андрогенезу в культурі пиляків різних злакових культур. Зокрема, у тритикале застосування рідкого середовища С17 забезпечувало значно вищий вихід андрогенних ембріонів та зелених рослин, ніж тверде (Іммонен та Робінсон, 2000). Автори також показали, що додавання фіколу до рідкого середовища з макро- та мікроелементами W14, вітамінами MS та залізом підвищувало рівень індукції у 3–4 рази для одного з трьох досліджених сортів тритикале, хоча для інших двох сортів позитивного ефекту не спостерігалося. У жита Ма та ін. (2004) під час тестування середовищ PG-96, R2M, W14 та FHG також виявили переваги рідких середовищ, які сприяли підвищенню ефективності утворення андрогенних ембріонів і регенерації зелених рослин. Водночас у попередніх роботах повідомлялося й про протилежні спостереження. Так, Zhou та ін. (1991) показали, що в культурах пиляків рису та пшениці ембріони, індуковані на рідких середовищах, мали нижчу здатність до регенерації порівняно з ембріонами, отриманими на агарізованих середовищах.

Науковці нашої лабораторії останні 15 років використовують тверде середовище 190-2 для отримання дигаплоїдів пшениці, тому метою дослідження було порівняти ефективність андрогенезу при застосуванні рідкого та твердого індукційного середовища однакового складу (Zambriborshch, 2024). Матеріал дослідження – 26 різних генотипів, наданих відділами селекції пшениці та фітопатології та ентомології СГІ-НЦНС, які активно використовуються в селекційних програмах. Отримані результати показали, що ефективність андрогенної культури істотно залежить як від генотипу, так і від складу живильного середовища. Показано, що здатність до калусоутворення суттєво варіювала між генотипами. Так, показник «формування новоутворень» як на твердому, так і на рідкому середовищах коливався у широкому діапазоні: від 0,23 до 41,7 % та від 0,22 до 15,0 % відповідно. Для дев'яти генотипів перевагу мало рідке середовище, для інших дев'яти – тверде середовище, а для восьми – різниці не виявлено. Це свідчить про те, що реакція на тип середовища є генотип-специфічною.

Ефективність утворення зелених регенерантів виявилася значно нижчою порівняно з калусоутворенням. П'ять із 26 генотипів не регенерували зелені рослини з новоутворень в наданих умовах культури пиляків *in vitro*. Варіювання ознаки коливалось у межах 0,22 – 4,33% від кількості висаджених пиляків для рідкого середовища 190-2 та 0,04 – 17,33 % для агарізованого. У більшості генотипів відсоток зелених рослин не перевищував 1–1,5%. Середні значення відсотка регенерації зелених рослин: 0,66 ± 0,19 (для новоутворень, отриманих на рідкому індукційному середовищі) та 1,33 ± 0,69 (на твердому). При цьому, у шести генотипів перевагу мало рідке середовище, а для семи більш ефективним було тверде середовище. Для більшості інших генотипів ( 8 шт.) відмінності між середовищами залишалися недостовірними, а рівень регенерації був мінімальним.

Також досліджували морфогенетичні процеси в культурі пиляків за використання рідкого середовища W14 (Lantos and Pauk, 2016), яке є базовим індукційним середовищем

для андрогенезу *in vitro* багатьох культур. Саме модифіковане середовище W14 виявилося найбільш продуктивним та в середньому забезпечувало найвищий відсоток новоутворень (12,37 ± 0,45) і зелених регенерантів (4,65 ± 0,29) від висаджених пиляків, проте водночас збільшувалась частки альбінізму серед регенерантів. Середовище 190-2 агарізоване продемонструвало проміжні значення всіх досліджених показників, тоді як 190-2 рідке характеризувалося найнижчими результатами. Це свідчить про доцільність використання середовища W14 для підвищення ефективності андрогенезу, з урахуванням необхідності подальшої оптимізації для зменшення кількості альбіносів.

**Shestopal O.L., Zambriborshch I.S., Chekalova M.S., Afinogenov O.A., Vasiliev O.A., Traskovetskaya V.A., Sauliak N.I., Holub Y.A., Kirchuk Y.I.**
Plant Breeding&Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation,
Ukraine, 65036, Odessa, Ovidiopolskaya road, 3, e-mail: oksana.shestopal@gmail.com

## THE EVALUATION OF IN VITRO ANDROGENESIS INDICATORS OF BREAD WINTER WHEAT USING LIQUID AND AGARIZED INDUCTION MEDIUM

The effect of liquid and agar induction media on in vitro androgenesis indices of soft winter wheat was studied. 26 different wheat genotypes were cultivated on three variants of nutrient media: solid and liquid medium 190-2 of the same salt and hormonal composition (Zambriborshch, 2024) and liquid medium W14 (Lantos and Pauk, 2016). It was shown that both callus formation and regeneration of green plants depend to a large extent on the genotype; there is no single universal advantage of liquid or solid medium - for some genotypes, liquid medium is more favorable, for others - solid. The indicator of "callus formation" on both solid and liquid media varied in a wide range: from 0.23 to 41.7% and from 0.22 to 15.0%, respectively. In general, the level of callus formation significantly exceeds the frequency of regeneration of green plants. The formation of green regenerants ranged from 0.22 to 4.33% of the number of planted anthers for liquid induction medium 190-2 and 0.04 to 17.33% for agarized. The average values of the percentage of green plant regeneration: 0.66 ± 0.19 (for liquid) and 1.33 ± 0.69 (for solid). The modified medium W14 turned out to be the most productive and on average provided the highest percentage of neoplasms (12.37 ± 0.45) and green regenerants (4.65 ± 0.29) from planted anthers, but at the same time the proportion of albinism among the regenerants increased. The 190-2 agarized medium demonstrated intermediate values for all the studied parameters, while the 190-2 liquid medium was characterized by the lowest results. This indicates the feasibility of using the W14 liquid medium to increase the efficiency of androgenesis, taking into account the need for further optimization to reduce the number of albinos.

**БУЛКО О.В., ЛЬОШИНА Л.Г.**

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,
вул. Академіка Заболотного, 148, м. Київ, Україна, e-mail: obulko@ukr.net

## СКРИНІНГ РОСЛИН НА СТІЙКІСТЬ ДО ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ З ПЕРСПЕКТИВОЮ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ

Внаслідок тривалих бойових дій на території України відбувається забруднення екосистем небезпечними речовинами, такими, як продукти горіння, паливно-мастильні матеріали, важкі метали, та інші. В атмосфері, воді та ґрунтах постраждалих ділянок і цілих регіонів накопичуються шкідливі речовини, які поглинаються аграрними культурами, і таким чином потрапляють в харчовий ланцюг людини. Важкі метали, такі як Pb, Zn, Cd, Cu, Hg, As, Ni, Mn, потрапляючи в організм людини, можуть викликати як симптоми гострого отруєння, так і віддалені ефекти, що проявляються порушеннями в роботі шлунково-кишкової, серцево-судинної, нервової, репродуктивної, ендокринної систем, мають мутагенний і канцерогенний вплив. Забруднення сорбується ґрунтами і поступово там накопичується. Природнім шляхом усувається вкрай повільно, тому потребує застосування спеціальних фізичних, хімічних і/або біологічних заходів з очищення ґрунтів. Найбільш перспективним вважається метод фіторемедіації ґрунтів, з подальшою утилізацією рослинної біомаси. Попри значний обсяг досліджень, спрямованих на підбір ефективних рослин-гіперакумуляторів, це питання досі не можна вважати остаточно вирішеним. Подальші дослідження мають проводитись із урахуванням регіональної специфіки. Тому наша робота присвячена пошуку ендемічних саме для України рослин-гіперакумуляторів важких металів

Нами було проаналізовано на стійкість до вирощування в умовах підвищених концентрацій $Cu^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Cd^{2+}$ та їх комбінацій ряд рослин різних видів, серед яких як сільськогосподарські культури, такі, як гречка звичайна, соняшник, сорго, салат, буркун, конюшина, гірчиця, рижій, суданка чорна, суданка біла і інші, так і декоративні (газонна трава, портулак, агератум, вербена, сапонарія та інші), всього 24 види рослин. Насіння досліджуваних рослин стерилізували дезінфектантом Естер-Дез (ЕГХ, Україна) і пророщували в стерильних умовах на воді (контроль) або з додаванням солей досліджуваних металів ($CuSO_4$ і $ZnSO_4$ – в концентрації 400мкМ/л, $CdCl_2$ – 200мкМ/л). Через 2 тижні визначали схожість насіння, сиру і суху масу пагонів та коренів, а також концентрацію металів у сухій речовині за допомогою рентгенофлуоресцентного аналіза.

Більшість проаналізованих видів були чутливими до міді та кадмію в досліджуваних концентраціях, що проявлялося у зниженні ростових параметрів рослин порівняно з контролем. Так, під дією високої концентрації йонів $Cu^{2+}$ майже всі досліджувані види показали зменшення довжини коренів - аж до їх повної відсутності у більшості культур. Довжина пагонів також знижувалася від 5 до 95% залежно від виду. На відміну від цього, за присутності йонів $Zn^{2+}$ спостерігалось збільшення дожини коренів на 10-15 %. Наприклад, при пророщуванні суданки чорної (*Sorghum bicolor* L. Moench *subsp. Drummondii)* за умов дії важких металів встановлено, що довжина кореня в присутності $Cu^{2+}$ зменшувалась у 21,7 раза, $Cd^{2+}$ - у 2,8 раза, за наявності $Zn^{2+}$ - залишалася практично незмінною, а за дії комбінації трьох металів коренева система практично не формувалась. В той же час довжина пагонів, то за дії міді вони були меншими лише в 1,4 рази, кадмію - практично незмінна, цинку – навіть трохи зростала (в 1,1 рази), тоді як при комбінації трьох металів відзначалося зниження на 40 %.

Дослідження чутливості суданки білої показало схожі результати: довжина кореня в присутності $Cu^{2+}$ була в 31,1 раз менша, $Cd^{2+}$ - в 3,6 рази менша, за наявності $Zn^{2+}$ - в 1,3 рази більша, при комбінації трьох металів – корінь на розвивався. В той же час довжина пагона за наявності міді і кадмію була меншою лише в 1,2 рази, цинку – практично незмінна, в комбінації трьох металів – зниження довжини пагонів на 28 %.

Рентгенофлуоресцентний аналіз (РФА) сухих зразків показав, що за уиов вирощування в присутності окремих металів суданка чорна накопичує купруму у пагонах – в 4,8 разів більше за контроль, а цинку – в 7,0 рази більше в пагонах і в 1,4 рази більше в коренях. При одночасному додаванні цих металів поглинання купруму зростало (у пагоні його концентрація перевищувала контроль в 10,2 рази, а в корені – в 4 рази), а цинк накопичувався в меншій мірі - у 1,5 раз у коренях – у 2,5 раза в порівнянні з контролем. Це може свідчити про антогоністичну взаємодію між елементами - гальмування поглинання одного елемента іншими. При одночасному додаванні купруму і кадмію спостерігалося інтенсивніше накопичення купруму саме в коренях (в 12,1 рази вище за контроль), тоді як у пагонах його рівень був нижчим в 4 рази. Але при спільному додаванні цинку і кадмію вище накопичення цинку було саме в пагонах, а не в коренях (в 7,2 разів – пагон і в 1,6 рази-корінь). Результати РФА для суданки білої в цілому показали подібні закономірності.

Високу здатність до накопичення важких металів продемонстрували також рижій (*Camelina sativa* L. Crantz) і сапонарія базиліколиста (*Saponaria ocymoides* L.). Так, за умов внесення до середовища лише іонів $Cu^{2+}$, рижій активно акумулював мідь — у 27,6 раза більше порівняно з контролем. При одночасному додаванні $Cu^{2+}$ і $Cd^{2+}$ вміст міді знижувався лише на 6 %, що свідчить про мінімальний вплив кадмію на поглинання купруму. Однак за наявності всіх трьох металів ($Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$ і $Zn^{2+}$) накопичення міді зменшувалося вдвічі порівняно з варіантом, де додавався лише $Cu^{2+}$, хоча й залишалося в 13,2 раза вищим за контроль. Це свідчить про те, що цинк знижує поглинання купруму, на відміну від кадмію. У сапонарії, навпаки, цинк практично не впливав на рівень акумуляції міді, а кадмій, навпаки, сприяв її підвищенню: накопичення міді в умовах наявності кадмію було у 1,5 раза вищим, ніж без нього. Таким чином, конкуренція між металами за поглинання має видоспецифічний характер: різні рослини по-різному реагують на комбіновану дію важких металів, що слід враховувати при підборі гіперакумуляторів для фіторемедіації.

Соняшник звичайний *Helianthus annuus L.* та соняшник декоративний при вирощуванні на середовищах, забруднених важкими металами, показали нарощування значної біомаси як коренів, так і пагонів, при цьому вміст досліджуваних елементів у тканинах був тільки незначно підвищен. Це означає, що на початкових стадіях розвитку соняшник поводиться як рослина-елімінатор, тоді як згідно з даними літератури, на пізніших етапах онтогенезу він здатен переходити до статусу гіперакумулятора.

Загалом з досліджуваних нами рослин найвищу здатність до накопичення купруму показав рижій посівний *Camelina sativa* L. Crantz, суданка біла і чорна *Sorghum bicolor* L. Moench *subsp. Drummondii,* сапонарія базиколиста *Saponaria ocymoides* L., льон звичайний *Linum usitatissimum L.*

**Bulko O.V., Lioshyna L.G.**
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, 148 Academika Zabolotnoho St., Kyiv, Ukraine, e-mail: obulko@ukr.net

## SCREENING OF PLANTS FOR RESISTANCE TO HEAVY METALS POLLUTION WITH THE PROSPECT OF PHYTOREMEDIATION

Screening of potential hyperaccumulator plants for heavy metals revealed that the highest capacity to accumulate copper and zinc was found in *Camelina sativa* L. Crantz, white and black Sudan grass (*Sorghum bicolor* L. Moench subsp. *drummondii*), *Saponaria ocymoides* L., and common flax (*Linum usitatissimum* L.). When multiple heavy metals were simultaneously introduced, competition for uptake resulted in heterogeneous, species-specific accumulation patterns..

**БУРИКІНА С.І., УЖЕВСЬКА С.П., ЖУК М.М.**
Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН
67667 Одеська обл., Одеський р-н, с. Хліободарське, Маяцька дорога, 24
E-mail: burykina@ukr.net

## СОРТИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗА РІЗНИМИ СИСТЕМАМИ ЖИВЛЕННЯ

За думкою багатьох вчених, сорт відіграє провідну роль в умовах зміни клімату, оскільки виступає головним інструментом для адаптації сільського господарства до таких умов, як посуха, спека та коливання температур. Тому одним із ключових адаптаційних моментів технології є вибір сортів стійких до погодних аномалій.

З іншого боку, система живлення рослин є потужним фактором забезпечення високої врожайності сільськогосподарських культур та якості їх основної продукції. Дослідженнями науковців відмічається сортові особливості реакції на різні системи живлення.

Впродовж 2024-2025 рр. вивчали вплив систем удобрення: мінеральна, органічна, органо-мінеральна та біологічна, на продуктивність трьох сортів ячменю звичайного ярого (*Hordeum vulgare L.*): Адапт, Еней, Вакула (оригінатор – ННЦ «Селекційно-генетичний інститут» НААН).

Погодні умови в роки проведення досліджень відрізнялися між собою і від багаторічних показників як за кількістю атмосферних опадів, їх розподілом, так і за температурним режимом. Якщо у 2024 році весь весняний період вегетації ячменю ярого проходив при опадах, що за кількістю перевищували середньо багаторічні (1991-2020 рр.), то в 2025 році ситуація дещо відрізнялася. Так, за період активної вегетації ячменю ярого (квітень-червень) у 2025 році випало на 29 мм або на 19,7% опадів менше у порівнянні з таким періодом 2024 року, при цьому середня температура повітря була на 2,8$^{o}$ С – нижче. Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-100 см на момент посіву культури складали у 2024 році – 143 мм, а у 2025 році –126 мм.

Погіршення погодних умов 2025 року привели до зменшення врожаю на варіанті без внесення добрив на 22,6% з коливанням за сортами від 10,4% (Еней) до 32,2% (Вакула); з використанням мінеральних добрив – на 13,1%, органічних – на 17,0%, органо-мінеральних – на 22,4% та біологічних – на 22,6%. Найбільш пластичним до змін погодних умов виявився сорт Еней, про що свідчить низький коефіцієнт кореляції між урожаєм та погодними умовами (r=0,18); урожайність сорту Вакула тісно корелювала з погодними умовами (r=0,87), сорт Адапт займав проміжне місце ( r=0,72).

Рівень врожаїв за сортами визначався і видом системи живлення. Максимальною реакцією на внесення мінеральних добрив мав сорт Вакула, де прирости врожаю за варіантами удобрення коливалися від 29,3% до 53,6%, а порівняно більш мінімальними приростами на міндобрива реагував сорт Еней (15,5%-23,3%), сорт Адапт - 23,6%-41,3%. Причому, максимальні прирости в середньому за сортами (36,3%) отримали при внесенні $N_{60}P_{30}K_{30}$ під передпосівну культивацію; перенесення 50% азотних добрив у ранньовесняне підживлення забезпечило приріст 34,8% врожаю, більш дробове внесення кущення + вихід в трубку та кущення + прапорцевий лист – знизило приріст врожаю в незначній мірі до 34,7 та 32,1%. Але підживлення у фазу кущення і при наливі зерна, а також комбінації підживлень починаючи з фази виходу в трубку дало прирости врожаю на рівні 24,3-28,4%. На оптимальному варіанті мінерального живлення сорт Вакула в середньому за два року забезпечив урожай 5,65т/га, Адапт – 5,29 т/га та Еней – 4,88 т/га.

Сорт Еней виявився більш пластичним не тільки до погодних умов, але й до систем живлення. Із чотирьох систем удобрення цей сорт лише при використанні мінеральних добрив дав врожаї менші за інші два сорти, а при органо-мінеральній, органічній та біологічній – вищі. Якщо скласти ряди продуктивності при різних варіантах живлення, то вони матимуть наступний вигляд: мінеральна система – Вакула > Адапт > Еней ( 5,65-5,29-4,88 т/га); органо-мінеральна – Еней > Вакула > Адапт ( 4,35-3,68-3,25 т/га); органічна –

Еней > Адапт > Вакула ( 4,24-3,90-3,36 т/га); біологічна – Еней > Адапт ≥ Вакула ( 4,52-4,34-4,32 т/га).

Отримані нами результати показали також залежність формування і параметрів якості зерна ячменю ярого від сортових особливостей, погодних умов, виду удобрювальних речовин. До основних характеристик якості зерна ячменю ярого відноситься вміст білка та екстракту. Максимальним вмістом білка характеризувалося зерно з ділянок використання мінеральних добрив, перевищення його концентрації над варіантами з органо-мінеральної та органічної систем живлення складало від 0,92% до 1,49% при $НСР_{0,05}$=0,68%; найменша білковість зерна відзначена при внесенні біологічних препаратів, що складало від 89,2% до 84,4% від вмісту білка при мінеральній системі живлення. Відмічено більш низький вміст білка у шестирядного ячменю (с. Вакула) ніж у двохрядних (Адапт та Еней) незалежно від типу живлення.

Результати розрахунку кореляційних залежностей між видами удобрювальних речовин та величинами показників якості показали, що мінеральна система живлення мала найбільший вплив на формування білковості та екстрактивності зерна ячменю ярого (r= 0,81 та -0,83) , а чисто біологічна – на вміст екстракту та масу 1000 насінин (r=0,74 та 0,64).
Сортові особливості в більшій мірі впливали на формування основних фізичних параметрів: маси 1000 насінин та натури зерна, де частка впливу сорту в середньому складала 51,2 % та 52,0%, відповідно. Слід відмітити, що вирощування ячменю ярого з використанням біопрепаратів підвищувало роль сорту : його вплив при формуванні фізичних параметрів зерна зріс до 70%.

Під час колосіння на посівах ячменю спостерігали наступних шкідників: п’явиці - 0 (Вакула), 10 (Еней), 20 екз/100.п.с. (Адапт), тобто менше порогу шкодочинності . В цей час мухи, здебільшого шведська, заселяли вказані сорти майже однаково – від 69 екз/п.с. (Вакула) до 82 екз/100 п.с. (Адапт); це стосується і цикадок, чисельність яких незначна 3екз/100 п/с. – Еней та 10 екз/п.с. (Адапт та Вакула); чисельність попелиць також не досягала порогу шкодо чинності (100-150 особ/100 п.с.) на сорті Еней і перевищувала таку на сортах Адапт і Вакула в 1,5-2,3 рази; аналогічні показники були і для трипсів. В період наливу зерна найбільше шкідників зареєстровано із *Diptera* (шведська муха) та *Homoptera* (цикадки). Спостерігалася тенденція більшого ушкодження сорту Вакула.

Отримані результати свідчать, що роль сорту як фактору адаптації господарств до умов середовища зростає. Але оскільки погодні умови сільськогосподарського року та періоду вегетації ярих культур дуже мінливі, важкопрогнозуємі, їх практично неможливо передбачити, тому є необхідність у проведенні більш тривалих досліджень з більшим масивом сортів з метою підбору найбільш пластичних до флуктуацій погодних умов та інтенсивності виробництва.

**Burykina S.I., Uzhevska S. P., Zhuk M.M.**
Odessa State Agricultural Research Station
of the Institute Of Climate-Oriented Agriculture of National Academy of Sciences
Mayatska doroga,24, village Khlybodarske, Odessa district, Odessa region, 67667, Ukraine
E-mail: burykina@ukr.net

## SPRING BARLEY VARIETIES UNDER DIFFERENT NUTRITION SYSTEMS

The effect of nutrition systems (mineral, organo - mineral, organic, biological) on the yield and grain quality of common spring barley (*Hordeum vulgare L.*) varieties Adapt, Aeneas. Vakula was studied. The most plastic to changes in weather conditions and nutrition systems was the variety Aeneas. The mineral nutrition system had the greatest impact on the formation of protein content and extractability of spring barley grain, the biological – on the extract content and the weight of 1000 seeds. Varietal characteristics had a greater influence on the formation of the main physical parameters and depending on the nutrition system.

**БУШУЛЯН М.А.[1], ВАСИЛЬЄВ О.А.[1], КУР'ЯНІНОВ Є.Л.[2], ОЧКАЛА О. С.[1]**
[1] Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН України, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, Україна, *e-mail: phyto_lab@ukr.net
[2] Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса, вул. Всеволода Змієнка, 2.

## ФУЗАРІОЗ КОЛОСА І ЗЕРНА ТА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ДО ЗБУДНИКІВ ХВОРОБИ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

Серед небезпечних та шкідливих хвороб пшениці м'якої озимої фузаріоз колоса і зерна впевнено займає одне з перших місць. Хвороба здатна прогресувати як у сприятливих для розвитку збудників умовах, так і при різких коливаннях тривалої жорсткої посухи та рясних короткочасних опадів. Ураження колосся пшениці фузаріями активізується в період цвітіння та може продовжуватися до фази воскової стиглості. За умов раннього зараження при поєднанні високої вологості повітря і температури зернівки в колосі або взагалі не формуються, або стають зморшкуватими, плюсклими та трухлявіють. Якщо висока інтенсивність зараження припадає на період, коли зерно вже сформоване, фузарії дістаються зародка, зовні практично не змінюючи вигляд зернівки. Такий «пізній» фузаріоз може призводити до накопичення високої концентрації фузаріотоксинів, що робить небезпечним майбутній врожай та виключає його використання.

У польовому інфекційному розсаднику в умовах штучного інфекційного фону нами щорічно вивчається стійкість до збудників фузаріозу не тільки районованих і перспективних сортів пшениці, а й ліній, створених у нашому відділі. Цей селекційний матеріал потенційно несе групову стійкість до збудників основних хвороб, що є цінним.

Для зараження використовуємо популяцію найбільш патогенних та агресивних штамів тих видів фузаріїв, що найчастіше зустрічаються на півдні України. Основним і постійним збудником фузаріозу колоса і зерна є *Fusarium graminearum* Shwabe, але в роки з прохолодними і вологими умовами навесні та початку літа таким може стати *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Проте першопричиною контамінації колосся і зерна в умовах різких змін жара та посуха – короткочасні опади може бути *F. macroceras* Wollenw en Reinking.

За результатами досліджень імунних ліній не виявлено. Лінія СП 1442/25 показала високу стійкість – помічено лише слабке пожовтіння окремих лусочок і колосків в середині або на верхівці колосу на фоні зеленого здорового колосся. Інтенсивність ураження при цьому була не більше 5%, що відповідає 8 балам.

У стійких ліній СП 750/25, СП 1088/25, СП 1426/25, СП 1497/25 візуально ураження також було незначним і локальним з інтенсивністю до 10 %, що відповідає 7 балам. Такі ж високі результати показали лінії СП 39/25, СП 59/25, СП 73/25, СП 75/25, створені разом із співробітниками лабораторії культури тканин.

Помірностійкими виявилися лінії СП 222/25, СП 542/25, СП 576/25, СП 588/25, СП 692/25, СП 700/25, СП 707/25, СП 713/25, СП 1090/25, СП 1116/25, СП 1123/25, СП 1212/25, СП 1752/25, СП 2023/25, СП 2602/25, СП 43/25, СП 49/25, СП 55/25, СП 60/25, СП 63/25, СП 74/25, СП 77/25. Ураження було помірним і проявлялося у вигляді побуріння окремих колосків або частин колосу з інтенсивністю до 15% (6 балів).

Кращі лінії рекомендовано залучати в селекційний процес по створенню стійких до фітопатогенів сортів.

**Bushulyan M.[1], Vasiliev O.[1], Kuryaninov E.[2], Ochkala O.[1]**
[1] Plant breeding and genetics institute – National center of seed and cultivar investigation NAAS of Ukraine, Ovidiopolska doroga Str. 3, Odesa, Ukraine, 65036, *e-mail: phyto_lab@ukr.net
[2] Odesa I.I. Mechnikov National University, Vsevoloda Zmiienka Str, 2, Odesa, 65082, *e-mail: eugenkuryaninov@gmail.com

## FUSARIUM HEAD BLIGHT AND GRAIN BLIGHT AND ASSESSMENT OF RESISTANCE OF SOFT WINTER WHEAT TO DISEASE PATHOGENS IN SOUTHERN UKRAINE

Fusarium head blight is a dangerous harmful disease that can affect plants from the beginning of flowering to full ripeness. With early infection, the grains either do not form at all, or become flat and rot. Late fusarium can lead to the accumulation of fusarium toxins without changing the appearance of the grains. In the field infection breeding ground, we annually study the resistance of soft winter wheat lines created in the department to fusarium pathogens, the best of which are involved in further breeding work. For artificial infection, we use a population of the most pathogenic and aggressive strains of those Fusarium species that are most often found in the south of Ukraine.

**VOYTENKO L.V., VASYUK V.A., SHCHERBATIUK M.M., ROMANENKO K.O., BABENKO L.M., and KOSAKIVSKA I.V.**
Department of Phytohormonology, M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereshchenkivska St., Kyiv 01004, Ukraine
Corresponding author: lesyavoytenko@gmail.com

## PRE-SOWING PRIMING OF WINTER WHEAT SEEDS WITH NATURAL GROWTH REGULATORS MITIGATES THE NEGATIVE EFFECTS OF LEAD CONTAMINATION ON GERMINATION AND ENHANCES SEEDLING STRESS TOLERANCE

Lead (Pb) is one of the most hazardous heavy metals, capable of persisting in soil for 150 to 5000 years, with elevated concentrations remaining for up to 150 years. Pb contamination renders soil unsuitable for cereal cultivation, disrupts ecosystems, reduces biodiversity, and alters food chains. Plant roots are particularly sensitive to Pb, which adversely affects seed germination, root and shoot development, microbial activity, nutrient uptake and balance, morphology, and biomass accumulation. In aerial parts, Pb inhibits photosynthesis, protein biosynthesis, water regulation, and overall biomass production, ultimately reducing crop yields. Typically, 95% of Pb accumulates in roots, with only about 5% translocated to shoots (Kosakivska & Shcherbatiuk, 2025). In Ukraine, elevated Pb levels are largely attributed to intensive military activity resulting from the ongoing Russian–Ukrainian war (Leal et al., 2024; Solokha et al., 2023).

Pre-sowing seed priming is a well-established technique used to improve germination and activate plant defense mechanisms. Among the most effective exogenous inducers of stress resistance are signaling molecules of both plant and bacterial origin (Babenko et al., 2024; Kosakivska et al., 2022; Schenk & Schikora, 2015).

Salicylic acid (SA), a phenolic phytohormone synthesized by all plants, plays a central role in regulating physiological processes such as growth, development, photosynthesis, respiration, transpiration, and defense responses. It enhances plant tolerance to a broad range of abiotic and biotic stressors, including drought, low temperature, heavy metal toxicity, and osmotic stress (Rahman et al., 2023; Roychoudhury et al., 2016). SA mitigates Pb toxicity primarily by stimulating the antioxidant defense system, activating key enzymes such as superoxide dismutase (SOD) and peroxidase, which neutralize reactive oxygen species (ROS) (Kadioğlu et al., 2010; Přerostová et al., 2021; Vicente & Plasencia, 2011). This enhanced antioxidant activity reduces oxidative damage, protects cellular structures, and supports metabolic stability (Pál et al., 2020). SA also improves photosynthetic efficiency and promotes root growth and biomass accumulation under heavy metal stress (Gülser & Sönmez, 2022), while contributing to ion homeostasis by modulating metal uptake and translocation (Ma, 2023).

Acyl-homoserine lactones (AHLs) are bacterial signaling molecules that mediate communication between rhizosphere-colonizing bacteria and host plants (Babenko et al., 2022). Recent studies have demonstrated that AHLs influence plant growth and stress responses (Gahoi et al., 2021; Lareen et al., 2016; Shrestha & Schikora, 2020). They promote biomass accumulation, shoot elongation, and root system development, including the formation of lateral roots and root hairs, depending on their concentration and acyl chain length (Babenko et al., 2021). AHLs also enhance resistance to pathogens, activate defense enzymes, and improve photosynthetic performance. For instance, seed priming with C6-HSL has been shown to improve germination, increase seedling biomass, raise pigment content, and enhance wheat yield (Moshynets et al., 2019). Foliar application of C6-HSL has also been observed to induce leaf cell wall thickening and boost pigment production (Kosakivska et al., 2020).

This study, conducted in 2024, used seedlings of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar ‘Podolyanka’—a high-yielding, medium-early, winter- and drought-resistant variety with moderate resistance to lodging, powdery mildew, leaf rust, and root rot (Morgun et al., 2015). Seeds were obtained from the collection of the Institute of Plant Physiology and Genetics, NAS of Ukraine. We investigated the effects of priming seeds with SA and C6-HSL solutions on

germination, linear dimensions of 7-day-old seedling shoots and primary roots, fresh and dry weights, and seedling vigor under $Pb^{2+}$ stress at various concentrations.

After initial calibration, seeds were washed with soap solution, surface-sterilized with 70% ethanol for 3 minutes, and rinsed with distilled water. They were pre-soaked in water for 3 hours at 24°C. Subsequently, half of the seeds were primed in SA solutions ($10^{-3}$ M, $10^{-4}$ M, and $10^{-5}$ M) or C6-HSL solutions (25, 50, or 100 ng/mL) for 21 hours at 24°C, while the remaining seeds continued soaking in water (control). After priming, seeds were transferred to Petri dishes containing distilled water or $Pb(NO_3)_2$ solutions at concentrations of 0.25, 0.5, 1, 2, and 3 mM and incubated for 24 hours. Petri dishes were then placed in a growth chamber for 7 days under controlled conditions: 20°C, light intensity of 190 μmol/(m²·s), a 16/8 h photoperiod (day/night), and 65 ± 5% relative humidity. Distilled water (5 mL) was added twice daily. Plants grown in water served as controls. Data were collected from the most representative seedlings.

Statistical analysis was performed using Microsoft Excel 2021 (Redmond, USA). Data are presented as mean ± relative standard deviation from three independent experiments (n = 90 for length and fresh weight parameters per treatment). Statistical significance was accepted at $p < 0.05$. Dry matter content was expressed per gram of fresh weight.

A dose-dependent reduction in germination was observed with increasing Pb concentrations (0.25–3 mM), with the highest seedling mortality at 2 and 3 mM. Root development was more strongly inhibited than shoot growth.

SA priming, especially at $10^{-4}$ M and $10^{-5}$ M, significantly improved germination and seedling development. The $10^{-5}$ M SA treatment enhanced stress tolerance (based on linear shoot and root parameters) under Pb concentrations of 0.25, 0.5, and 1 mM. At 2 mM, however, stress tolerance declined. SA priming also increased dry weight accumulation, particularly in roots, with $10^{-5}$ M showing the most consistent benefit.

C6-HSL priming promoted seedling growth across all tested concentrations. Soaking in 100 ng/mL resulted in the most substantial increases in shoot and root length. The 25 ng/mL treatment led to the highest biomass accumulation under both control and Pb-stressed (0.5 mM) conditions, effectively mitigating Pb-induced toxicity. These findings are consistent with improvements in stress tolerance indices based on seedling morphology and biomass metrics.

In conclusion, pre-sowing seed priming with natural growth regulators—salicylic acid (SA) and N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C6-HSL)—effectively reduces the phytotoxic effects of lead on wheat seed germination and seedling growth. Both treatments enhance stress tolerance and promote biomass accumulation, offering promising strategies for improving crop resilience in Pb-contaminated environments.

**КОЛУПАЄВ Ю.Є.[1,2,3], ШАХОВ І.В.[1,2], ЯСТРЕБ Т.О.[1], ТАРАБАН Д.А.[1,2], МАРЕНИЧ М.М.[3]**

[1] Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України, проспект Героїв Харкова 142, Харків 61060, Україна, e-mail: plant_biology@ukr.net

[2] Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських 44, Харків 61022, Україна

[3] Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди 1/3, Полтава 36003, Україна

## NO-ЗАЛЕЖНЕ ІНДУКУВАННЯ γ-АМІНОМАСЛЯНОЮ КИСЛОТОЮ ПРОРОСТАННЯ ЗЕРНІВОК ПШЕНИЦІ ЗА УМОВ ОСМОТИЧНОГО СТРЕСУ

Серед багатьох абіотичних стресів, впливу яких культурні рослини, зокрема, озимі злаки, зазнають на найбільш ранніх фазах розвитку, є осінні посухи (Романенко та ін., 2018). Вони перешкоджають проростанню насіння та розвитку проростків, через що посіви стають зрідженими і ослабленими. Для підвищення швидкості й однорідності проростання насіння та індукування стійкості рослин на ранніх фазах розвитку в останнє десятиліття у світі дедалі ширше використовуються технології праймінгу. Праймування створює умови для ініціації в зернівках передгермінативних процесів – фізіолого-біохімічних і молекулярних подій, що підвищують здатність насіння до швидкого і рівномірного проростання навіть за стресових умов (Jatana et al., 2024). До них належать підвищення активності ферментів, що забезпечують мобілізацію запасних речовин зернівок (амілази, протеаз), зміни у гормональній регуляції, активація антиоксидантної системи та механізмів відновлення пошкоджень, спричинюваних окиснювальним стресом (Paparella et al., 2015; Monajjem et al., 2023; Rhaman, 2025).

Сучасні процедури праймінгу насіння включають в себе не лише зволоження і висушування насіння у поєднанні з іншими фізичними впливами, а й обробку фізіологічно активними речовинами, спектр яких постійно розширюється. Зокрема, нова група праймувальних агентів репрезентована стресовими фітогормонами та стресовими метаболітами з гормональними (регуляторними) властивостями (Sako et al., 2020). Поряд з абсцизовою, саліциловою і жасмоновою кислотами, брасиностероїдами до цієї групи увійшли поліаміни, мелатонін, ізомери аміномасляної кислоти. Серед останніх найбільш розповсюдженим у живих організмів є γ-ізомер. Вважається, що γ-аміномасляна кислота (ГАМК) поєднує функції стресового метаболіту та молекули, що бере участь у міжклітинному і внутрішньоклітинному сигналінгу у рослин (Caspi et al., 2023; Yuan et al., 2023). ГАМК належить до метаболітів, що відіграють важливу роль у багатьох адаптивних реакціях рослин, але механізми її участі в сигнальних процесах залишаються малодослідженими. Водночас останніми роками отримано відомості про роль у реалізації фізіологічних ефектів ГАМК класичних сигнальних посередників, зокрема, кальцію та активних форм оксигену (Jin et al., 2019; Kolupaev et al., 2024). Також поодинокі дослідження вказують на залучення газотрансмітера нітроген оксиду (NO) в індуковану ГАМК стійкість рослин до осмотичних стресів (Tang et al., 2020; Xu et al., 2021). Однак питання стосовно ролі NO в реалізації впливу ГАМК на проростання зернівок і ріст рослин на ранніх стадіях розвитку за умов осмотичних стресів залишається не дослідженим. Зважаючи на це, мета роботи полягала у з’ясуванні за допомогою інгібіторного аналізу участі NO в регуляції ГАМК проростання зернівок пшениці за умов модельної посухи (впливу непроникного осмотика ПЕГ 6000).

В експериментах використовували насіння м’якої озимої пшениці сорту Етана. Після поверхневого знезараження їх праймували 0,5 мМ розчином ГАМК. В окремих варіантах досліджували вплив на проростання насіння 0,1 мМ розчину скавенджера NO метиленового синього (МС) (Zhang et al., 2006) або суміші 0,5 мМ ГАМК та 0,1 мМ МС. Інкубація насіння в праймувальних агентах становила 3 год, зернівки контрольного варіанта такий же час витримували у дистильованій воді. Надалі праймовані зернівки висушували в термостаті за температури 24°С та відносної вологості повітря 40% до вихідної вологості (11-12%). Після

цього зернівки пророщували протягом 3 діб на дистильованій воді (контрольні варіанти) або 13% розчині ПЕГ 6000 (варіанти з осмотичним стресом).

Модельна посуха спричиняла істотне зниження енергії проростання і схожості насіння пшениці. Праймінг зернівок ГАМК помітно підвищував ці показники. Обробка скавенджером NO нівелювала вплив ГАМК на енергію проростання і схожість зернівок. Також при пророщуванні зернівок за осмотичного стресу істотно зменшувалася маса коренів і особливо пагонів проростків. Праймінг ГАМК підвищував біомасу органів проростків за стресових умов, а обробка зернівок МС повністю усувала позитивний вплив ГАМК на накопичення біомаси проростків.

Осмотичний стрес спричиняв помітне підвищення вмісту NO у пагонах, а у варіанті з поєднанням впливу посухи та праймінгу ГАМК таке підвищення було значно більшим, ніж у варіанті з впливом лише осмотичного стресу. У присутності скавенджера NO МС не проявлявся вплив посухи та її поєднання з праймінгом ГАМК на вміст нітроген оксиду в пагонах проростків.

Посуха слабо впливала на загальну активність амілази у зернівках, при цьому праймінг ГАМК спричиняв істотне підвищення активності ферменту. Цей ефект ГАМК повністю усувався дією скавенджера NO МС. За посухи вміст цукрів у пагонах знижувався порівняно з контролем, проте обробка зернівок ГАМК не тільки усувала цей ефект посухи, а й спричиняла зростання кількості розчинних вуглеводів до величин, вищих від контрольного варіанта. Обробка скавенджером нітроген оксиду МС значною мірою нівелювала вплив ГАМК на вміст цукрів у пагонах проростків.

Під впливом осмотичного стресу загальний вміст фенольних сполук у пагонах проростків змінювався слабо, а кількість антоціанів різко знижувалася. Праймінг зернівок ГАМК перед їх пророщуванням за умов стресу спричиняв зростання загального вмісту фенольних речовин і стабілізував вміст антоціанів. Обробка насіння скавенджером NO МС усувала вплив ГАМК на вміст вторинних метаболітів у проростках. Праймінг ГАМК також пом’якшував прояв окиснювального стресу при пророщуванні зернівок за умов модельної посухи, на що вказує зменшення генерації клітинами пагонів супероксидного аніон-радикала та вмісту у пагонах гідроген пероксиду і малонового діальдегіду. При цьому в присутності МС вплив ГАМК на вміст маркерів окиснювального стресу не проявлявся. Таким чином, спричинюване праймінгом ГАМК посилення проростання зернівок та росту проростків пшениці за умов осмотичного стресу значною мірою зумовлено NO-опосередкованим модулюванням переторень вуглеводів і вторинних метаболітів.

**Kolupaev Yu.E.[1,2,3*], Shakhov I.V.[1,2], Yastreb T.O.[1], Taraban D.A.[1,2], Marenych M.M.[3]**
[1] Yuriev Institute of Plant Production, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv 61060, Ukraine, e-mail: plant_biology@ukr.net
[2] State Biotechnological University,
44 Alchevskih Str., Kharkiv 61022, Ukraine
[3] Poltava State Agrarian University,
1/3 Skovorody Str., Poltava 36003, Ukraine

## NO-DEPENDENT INDUCTION OF WHEAT SEED GERMINATION BY γ-AMINOBUTYRIC ACID UNDER CONDITIONS OF OSMOTIC STRESS

Priming wheat seeds with a 0.5 mM γ-aminobutyric acid (GABA) solution increased their germination energy and growth under osmotic stress (13% PEG 6000). In variants with GABA-primed grains, amylase activity in them increased, as did the content of sugars and secondary metabolites in shoots. Additionally, in the GABA-treated variant, nitric oxide generation increased in shoots, while the amount of oxidative stress markers decreased. Meanwhile, the nitric oxide scavenger methylene blue eliminated all GABA effects, indicating the role of NO as a mediator in the realization of GABA physiological activity.

**ЛЮБИЧ В.В.**
Уманський національний університет, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., Україна, e-mail: LyubichV@gmail.com

## ЗНАЧЕННЯ СОРТУ В ФОРМУВАННІ СТІЙКОСТІ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ДО УРАЖЕННЯ СЕПТОРІОЗОМ

При сильному ураженні септоріозом гинуть окремі пагони й навіть цілі рослини пшениці. На ярих культурах септоріоз викликає значне зниження врожаю. Уражені рослини коротшали на 5–6 см, колосся досягали в довжину лише 6–7 см, у яких налічувалося по 4–5 щуплих і недорозвинених зерен. Ураженість пшениці озимої септоріозом досягала 90–100 % при ступені розвитку хвороби від 30 до 80 %. Навіть при порівняно невеликому ступені ураження листків (близько 30 %) зниження врожаю зерна становить 17,4 %, а при сильному – до 80 %. Поряд із цим у зерні уражених рослин значно зменшується вміст білка, знижується енергія проростання й схожість насіння.

Дослідження проводили продовж 2021–2023 рр. на дослідному полі Уманського національного університету, розташованому в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Середньо-Дніпровсько-Бузького округу Лісостепової Правобережної провінції України з географічними координатами за Гринвічем 48˚46' північної широти, 30°14' східної довготи. Висота над рівнем моря – 245 м. Рельєф дослідного поля являє собою вирівняне плато водорозділу з пологими (1–2°) схилами південно-східної та північно-західної експозиції. Підземні води залягають на глибині 22–24 м, тому польові культури використовують вологу, що нагромаджується у ґрунті з атмосферних опадів. За кількістю опадів район характеризується періодичними посухами (2–3 роки, а в окремі періоди і 3–5 років за десятиліття посушливі) і відноситься до підзони нестійкого зволоження.

У дослідженнях використано сорти пшениці м'якої озимої Подолянка (контроль), Фаворитка, Золотоколоса, Княгиня Ольга, Миронівська 808, Білоцерківська напівкарликова української селекції. Загальна площа ділянки в короткотерміновому досліді становила 72 м², облікової – 40 м$^2$, повторність досліду – триразова, розміщення ділянок послідовне. Закладання польових, проведення спостережень і досліджень проводили у відповідності з рекомендаціями, методичними вказівками і довідниками останніх років.

Стійкість рослин проти септоріозу визначали за шкалою:
9 – дуже висока стійкість (відсутність ознак хвороби),
8 – висока стійкість (інтенсивність ураження органів рослин до 5 %),
7 – стійкість (інтенсивність ураження 5–10 %),
6 – стійкість (інтенсивність ураження 10–15 %),
5 – слабка сприйнятливість, гетерогенність (інтенсивність ураження 15–25 %),
4 – сприйнятливість (інтенсивність ураження 25–40 %),
3 – сприйнятливість (інтенсивність ураження 40–65 %),
2 – висока сприйнятливість (інтенсивність ураження 65–90 %),
1 – дуже висока сприйнятливість (інтенсивність ураження 90–100 %).

Математичну обробку здійснювали методом дисперсійного аналізу однофакторного польового досліду, використовуючи пакет стандартних програм «Microsoft Excel 2016».
Розвиток септоріозу на пшениці м'якій озимій змінювався залежно від сорту та фази росту і розвитку. Так, у фазу кущіння, у середньому за два роки досліджень, цей показник коливався у межах 4,0–4,7 %, який подібно змінювався упродовж років досліджень. У 2023 р. розвитку септоріозу на посівах пшениці м'якої озимої не було.

Найвищого ураження септоріозом було відмічено у фазу виходу рослин пшениці м'якої озимої у трубку. Так, у середньому за три роки цей показник у сорту Княгиня Ольга становив 4,8 %, Золотоколоса – 5,2, Подолянка і Фаворитка – відповідно 11,5 і 13,5, а в сортів Миронівська 808 і Білоцерківська напівкарликова – 21,9 і 21,4 %. Подібну тенденцію спостерігали впродовж років досліджень. Так, у 2021 р. інтенсивність ураження коливалась в

межах 5,4–22,4 %, 2022 р. – 4,8–21,5 і в 2023 р. – 4,3–23,1 %. Дещо нижчого ураження септоріозом було відмічено у фазу колосіння пшениці м'якої озимої. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник у сорту Княгиня Ольга становив 3,8 %, Золотоколоса – 3,9, Подолянка і Фаворитка – відповідно 9,8 і 11,8, а в сортів Миронівська 808 і Білоцерківська напівкарликова – 20,3 і 19,7 %. Подібну тенденцію спостерігали впродовж років досліджень. Так, у 2021 р. інтенсивність ураження коливалась в межах 4,3–21,3 %, 2022 р. – 3,2–19,7 і в 2023 р. – 3,2–21,0 %. У фазу молочної стиглості зерна сортів пшениці м'якої озимої інтенсивність ураження септоріозом знижувалась до 1,3–5,5 %. Подібну тенденцію спостерігали впродовж років досліджень. Так, у 2021 р. інтенсивність ураження коливалась в межах 1,8–5,0 %, 2022 р. – 2,1–5,9 і в 2023 р. – 3,8–6,6 %. Стійкість пшениці м'якої озимої змінювалась залежно від сорту та фази росту і розвитку рослин. Так, у середньому за три роки досліджень на фоні без захисту у фазу колосіння найвищу стійкість мали сорти Золотоколоса та Княгиня Ольга, в яких цей показник становив 8 бала. Стійкими були сорти Подолянка і Фаворитка, в яких цей показник становив відповідно 7 і 6 бала, проте сорти Миронівська 808 і Білоцерківська напівкарликова характеризувались слабкою сприйнятливістю.

Поширення септоріозу пшениці м'якої озимої змінювалась залежно від сорту, фази росту та розвитку. Так, у фазу виходу рослин у трубку найнижчого поширення мали сорти Золотоколоса і Княгиня Ольга, в яких цей показник становив відповідно 15 % і 35 %. Найвищого поширення розвиток септоріозом характеризувався сорт Миронівська 808.

У фазу колосіння поширення септоріозу зростала до 22–98 %. Проте до фази молочної стиглості зерна пшениці м'якої озимої поширення змінювалось залежно від сорту. Так, у сортів Княгиня Ольга він знижувався до 5 %, а в сорту Миронівська 808 – 18 %. Проте у решти сортів цей показник зростав до 80–100 %. Внесення фунгіциду спряло зниженню поширення септоріозу в посівах пшениці м'якої озимої. Так, у фазу колосіння цей показник коливався в межах 4–15 %, а у фазу молочної стиглості зерна – 2–16 %.

Урожайність пшениці м'якої озимої змінювалась залежно від сорту та погодних умов років досліджень. Так, у середньому за три роки досліджень цей показник найбільшим був у сортів Золотоколоса – 10,7 т/га, Миронівська 808 – 9,2 і Фаворитка – 8,5 т/га, що було істотно більшим порівняно з контролем (сорт Подолянка) на 0,9–3,1 т/га. У сорту Княгиня Ольга врожайність зерна була найменшою і становила 3,6 т/га, а в сорту Білоцерківська напівкарликова – 6,7 т/га, що було істотно меншим порівняно з контролем ($HIP_{05}$=*3,3–3,8*).

Отже, інтенсивність ураження рослин пшениці м'якої озимої септоріозом змінюється залежно від фази росту та сорту. Так, у фазу кущіння інтенсивність ураження становить 3,9–4,7 %. Проте у фазу виходу в трубку інтенсивність ураження рослин зростає до 4,8–21,9 %, колосіння – 3,8–20,3 % залежно від сорту. У фазу молочної стиглості зерна цей показник знижується до 1,3–5,5 %. У середньому за три роки досліджень врожайність зерна у сортів Золотоколоса – 10,7 т/га, Миронівська 808 – 9,2 і Фаворитка – 8,5 т/га, що істотно більше порівняно з контролем (сорт Подолянка) на 0,9–3,1 т/га. У сорту Княгиня Ольга врожайність зерна була найменша і становить 3,6 т/га, а в сорту Білоцерківська напівкарликова – 6,7 т/га, що істотно менше порівняно з контролем ($HIP_{05}$=*0,41–0,49*).

**Liubych V.V.**
Uman National University, str. Instytutska, 1, Uman, Cherkasy region, Ukraine, e-mail: LyubichV@gmail.com

## THE IMPORTANCE OF VARIETIES IN FORMING THE RESISTANCE OF SOFT WINTER WHEAT TO SEPTORIOSIS

The intensity of damage to soft winter wheat plants by septoria leaf spot varies depending on the growth phase and variety. Thus, in the tillering phase, the intensity of damage is 3.9–4.7 %. However, in the tillering phase, the intensity of plant damage increases to 4.8–21.9 %, and earing – 3.8–20.3 %, depending on the variety. In the milky grain ripeness phase, this indicator decreases to 1.3–5.5 %.

**МОЛОДЧЕНКОВА О.О.[1], МІЩЕНКО Л.Т.[2], ДУНІЧ А.А.[2], ТИХОНОВ П.С.[1,3], МОЦНИЙ І.І.[1], МІЩЕНКО І.А.[4], ДАЩЕНКО А.В.[4], ФАНІН Я.С.[1]**

[1]Селекційно-генетичний інститут-Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, 65036, м. Одеса, Овідіопольська дорога, 3,
e-mail:olgamolod@ukr.net

[2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННЦ «Інститут біології та медицини» , Україна , 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 64/13
e-mail:lmishchenko@ukr.net

[3]Одеський державний аграрний університет, Україна, 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 99
e-mail: pavth@ukr.net

[4]Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, 03041

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЕНЗИМІВ ПЕРОКСИДАЗИ ТА СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗИ В РОСЛИНАХ СОЇ В ЗВ'ЯЗКУ ЗІ СТІЙКІСТЮ ДО ВІРУСНИХ ХВОРОБ

В Україні до найбільш економічно важливих культур можна віднести сою. Складовими основних чинників, які лімітують реалізацію продуктивності цієї культури, є вірусні хвороби. Наші попередні дослідження свідчать, що вірусні ізоляти, які циркулюють на території України та уражують сою, мають високий епідемічний потенціал та патогенність, адже призводять не тільки до зниження врожайності, а й до суттєвого погіршення якості продукції. Так, останніми роками в Україні ураження сої вірусом мозаїки сої (ВМС) спричинило зниження врожайності на 20-30% (Mishchenko et al., 2018, 2022; Mishchenko et al, 2019). Відомо, що інфекція, спричинена ВМС, негативно впливає на продуктивність сої, структуру врожаю та якість насіння. Застосування стійких до вірусних хвороб сортів сої є чи не єдиним варіантом вирішення цієї проблеми. У сої на сьогодні ідентифіковано три незалежні локуси генів (*Rsv1*, *Rsv3*, та *Rsv4*), які пов'язують з резистентністю проти ВМС, причому кожен локус пов'язують із стійкістю до певних штамів ВМС. Зокрема, локус *Rsv1* пов'язують із стійкістю рослин сої до штамів G1, G2, G3, а також до штамів G4-G6 (залежно від алелів *Rsv1*). Локус *Rsv1*, який розташований на 13-й хромосомі геному сої, має кілька алельних варіантів. Він є частиною великої родини генів резистентності (R-генів), відомих як гени NBS-LRR, які зазвичай беруть участь у захисних механізмах рослин проти патогенів, включаючи віруси, та являють собою основний клас імунних рецепторів рослин, що значно впливають на взаємодію між хазяїном і патогеном.

У різних країнах світу в програмах селекції сої успішно проводять відбір вихідного матеріалу та виділення перспективних генотипів за допомогою біохімічних та молекулярних маркерів стійкості. Їх впровадження дозволяє скоротити строки створення стійких сортів та, як наслідок, отримувати високі врожаї. Для маркування генів стійкості рослин часто використовують запасні білки та ізоферменти (Omara et al., 2018). Біохімічні зміни в рослинах, що викликані вірусною інфекцією, включають активацію механізму антиоксидантного захисту шляхом зростання кількості різних антиоксидантів, в тому числі активації антиоксидантних ферментів, таких як пероксидаза (КФ.1.11.1.7) та супероксиддисмутаза (КФ 1.15.1.11). Ці ензими входять до ферментативної антиоксидантної системи рослин і мають здатність реагувати на будь-які впливи довкілля змінами наборів ізозимів та/або експресивності окремих ізоформ цих ферментів. Метою дослідження було вивчення електрофоретичних спектрів пероксидази та супероксиддисмутази в рослинах сої в зв'язку зі стійкістю до вірусу мозаїки сої.

Для дослідження було взято 30 зразків рослин сої (*Glicine max* L.) (сорти та селекційні зразки), відібраних у фазі цвітіння на полях Київської та Полтавської областях Зразки перевіряли на наявність вірусів, які поширені на території України (вірус мозаїки сої (ВМС), вірус жовтої мозаїки квасолі (BYMV), вірус м'якої плямистості коров'ячого гороху (CPMMV). Ідентифікацію вірусів проводили за допомогою імуноферментного аналізу у модифікації (DAS-ELISA) та ЗТ-ПЛР. Зразки сої відрізнялися за наявністю–відсутністю гена *3gG2* в локусі *Rsv1*. Активність ізоформ пероксидази та супероксиддисмутази визначали за

допомогою нативного гель-електрофорезу в ПААГ (Топтіков та ін., 2006). Аналіз електрофореграм проводили з використанням комп'ютерної програми "Imagel", за допомогою якої для кожної ізоформи визначали площу та інтенсивність фарбування відповідних полос в умовних одиницях.

Електрофоретичний аналіз пероксидази в листках рослин сої показав, що кількість ізоформ ензиму варіює залежно від генотипу від 4 до 13 ізоформ різної експресивності та відносної рухливості. Встановлено, що гетерогенність та експресивність ізоформ пероксидази залежали від сортової (генотипної) специфіки, стійкості до ураження ВМС, а також від наявності чи відсутності гена *3gG2* у локусі *Rsv1*. 4. У сортів сої з геном *3gG2* у локусі *Rsv1* виявлена наявність та висока експресивність двох високорухливих ізоформ пероксидази (POX-12, POX-13) та трьох малорухливих ізоформ супероксиддисмутази (Sod-1, Sod-2, Sod 3).

Зроблено припущення, що однаковий адаптаційний потенціал рослин сої може забезпечуватися різними варіантами адаптаційних комплексів генів. Отримані результати доповнюють результати моніторингу полів і результати ІФА та ПЛР аналізів по скринінгу сортів сої на стійкість до ураження вірусом, а також можуть слугувати маркерними ознаками в подальших дослідженнях, дозволяючи більш детально вивчати стійкість сортів сої до ВМС.

**Molodchenkova O.O.,[1] Mishchenko L.T.[2], Dunich A.A.[2], Tykhonov P.S.[1,3], Motsnyi I.I.[1], Mishchenko I.A[4]. Dashchenko A.V.[4]fanin Ya.S.[1]**

[1] Plant Breeding &Genetics institute-National Center of Seed and Cultivar Investigation, Ukraine, Odesa, 65036,Ovidiopolska doroga, 3, e-mail: olgamolod@ukr.net

[2]Taras Shevchenko National University of Kyiv, ESC "Institute of Biology and medicine", Ukraine; Ukraine, Kyiv, 01601, Volodymyrska str., 64/13, e-mail: lmishchenko@ukr.net

[3] Odesa State Agrarian University, 65039, Odesa,st. Kanatnaya, 99, Ukraine,e-mail:pavth@ukr.net

[4] National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony St.15, Kyiv, Ukraine, 03041

## RESEARCH OF PEROXIDASE AND SUPEROXIDE DISMUTASE ISOZYMES IN SOYBEAN PLANTS IN RELATION TO RESISTANCE TO VIRAL DISEASE

The goal of the study was to study the electrophoretic spectra of peroxidase and superoxide dismutase in soybean plants in relation to resilience to soybean mosaic virus (SMV). Electrophoresis in PAAG demonstrated electrophoretic spectrum of peroxidase and superoxide dismutase of soybean leaf tissues that represented by 4 to 13 enzyme isoforms of different mobility and expressivity. Isozyme patterns of soybean plants depend on the genotype specificity, resistance to SMV, as well as the presence/absence of the *3gG2* gene at the *Rsv1* locus connected with resistance to SMV. Obtained results will be useful in breeding programs to identify resistant genotypes of soybean to viruses using molecular and biochemical markers and will lead to further understanding of the mechanisms of plant resistance to SMV.

*Робота виконана за фінансової підтримки НФДУ. Проєкт № 2023.03/0244 «Механізми стійкості економічно важливих культур до вірусних хвороб за умов воєнного стану і глобального потепління» конкурсу «Передова наука в Україні».*

**МОЛОДЧЕНКОВА О.О.[1], ТИХОНОВ П.С.[1,2], НАРГАН Т.П.[1], МОЦНИЙ І.І.[1], ФАНІН Я.С.[1]**

[1]Селекційно-генетичний інститут-Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Україна, 65036, м. Одеса, Овідіопольська дорога, 3,
e-mail:olgamolod@ukr.net

[2]Одеський державний аграрний університет, Україна, 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 99
e-mail: pavth@ukr.net

## ІЗОЕНЗИМНИЙ СПЕКТР ПЕРОКСИДАЗИ В РОСЛИНАХ ПШЕНИЦІ В ЗВЯЗКУ ЗІ СТІЙКІСТЮ ДО БІОТИЧНИХ ТА АБІОТИЧНИХ НЕСПРИЯТЛИВИХ ФАКТОРІВ ДОВКІЛЛЯ

Пшениця (*Triticum aestivum* L.), як основна продовольча культура в Україні, має величезне економічне значення, водночас слугуючи критичним внеском у глобальну продовольчу безпеку. В останні роки глобальні зміни клімату призвели до опустелювання південних регіонів України та розширення сухої кліматичної зони на північ. Посуха та хвороби пшениці м'якої озимої збільшують втрати врожаю (Сидоренко, Чеботар, 2020; Моцний та ін.., 2022). Найбільш перспективним шляхом вирішення цих проблем є створення стійких до грибних і вірусних хвороб та посухи сортів пшениці, використання у селекції нових генотипів, отриманих від багатократного схрещування віддалених видів з сучасними високоврожайними сортами місцевої селекції (Моцний та ін., 2025). Удосконалені інтрогресивні лінії, створені таким чином можуть бути цінними донорами стійкості як до хвороб, так і до посухи. Найефективнішим інструментом у арсеналі методів сучасної селекції є система генетичних маркерів стійкості рослин. Для маркування генів стійкості рослин часто використовують ізоферменти (Omara et al., 2018). Пероксидаза (КФ.1.11.1.7) входить до ферментативної антиоксидантної системи рослин і має здатність реагувати на будь-які впливи довкілля змінами наборів ізозимів та/або експресивності окремих ізоформ цього ферменту. Тому метою дослідження було вивчення електрофоретичного спектру пероксидази в рослинах пшениці в зв'язку зі стійкістю до фітопатогенів різної етіології та посухи.

Дослідження були проведені на 25 зразках пшениці (сорти пшениці м'якої озимої, амфідиплоїди та інтрогресивні рекомбінантні лінії) у фазі початку виходу флагового листка, що відрізнялися за стійкістю до листкової та стеблової іржі, ступенем опушення листка, 7 зразках пшениці у фазі проростання (6-добові проростки), які відрізнялися кількістю хромосом (28, 48, 54, 56 хромосом), стійкістю до листкової та стеблової іржі, борошнистої роси, посухостійкістю та 10 зразках пшениці у фазі проростання (6-добові проростки), що відрізнялися стійкістю до вірусу жовтої карликовості ячменю (ВЖКЯ) та наявністю/відсутністю гена стійкості до цього вірусу *Bdv1*.

Активність ізоформ пероксидази визначали за допомогою нативного гель-електрофорезу в ПААГ (Топтіков та ін., 2006). Аналіз електрофореграм проводили за допомогою комп'ютерної програми "Imagel", за допомогою якої для кожної ізоформи визначали площу та інтенсивність фарбування відповідних полос в умовних одиницях.

Електрофоретичні спектри пероксидази тканин досліджених зразків пшениці були представлені 10-16 ізоформами ензиму різної рухливості та експресивності. Встановлено, що гетерогенність та експресивність ізоформ пероксидази залежали від сортової (генотипної) специфіки, фази розвитку рослин та стійкості до біотичних та абіотичних факторів.

Так, в проростках генотипів пшениці, що відрізнялися високою стійкістю до грибних хвороб (листкової, стеблової іржі та борошнистої роси) та посухостійкістю встановлена висока експресивність малорухливих ізоформ РОХ-1, РОХ-3, РОХ-4, РОХ-5 та високорухливої ізоформи РОХ-16.

Виявлено, що наявність окремих ізоформ (РОХ-2, РОХ-4, РОХ-11) та експресивність деяких ізоформ (РОХ-6, РОХ-14, РОХ-15) в проростках пшениці корелює зі стійкістю до ВЖКЯ та наявністю гена стійкості до ВЖКЯ – *Bdv1*. До ВЖКЯ ідентифіковано три гени

резистентності, а саме *Bdv1, Bdv2* і *Bdv3.* Ген *Bdv1* зазвичай асоціюється з хромосомою 7D пшениці. Вважається, що *Bdv1* кодує білок, який бере участь у захисних механізмах рослини проти вірусу.

У рослин інтрогресивних ліній з наявністю опушення листка та стійкістю до листкової та стеблової іржі у фазі початку виходу флагового листка виявлена підвищена експресивність та поява нових ізоформ пероксидази (POX-3, POX-4, POX-5, POX-6, POX-7) в порівнянні з сортом Ніконія (без опушення листка). Дві нові ізоформи POX-8 та POX-16 ідентифіковані лише у генотипа 46459 {[(Ужинок х Амфіплоїд UA0500102)) х Ніконія) $self^5$ х Хуторянка] х Кубок} $self^4$ з високим рівнем стійкості до листкової та стеблової іржі та наявністю опушення піхви листка. Відомо, що опушення листків – це морфологічна особливість (ксероморфна ознака), яка може відігравати важливу роль у стійкості рослин до несприятливих факторів довкілля, таких як шкідники та посуха.

Таким чином, отримані результати доповнюють результати моніторингу полів по скринінгу генотипів пшениці на стійкість до ураження хворобами (грибними та вірусними) та посухостійкість, а також можуть слугувати маркерними ознаками в подальших дослідженнях по створенню сортів пшениці, стійких до біотичних та абіотичних несприятливих факторів довкілля.

**Molodchenkova O.O.,[1] Tykhonov P.S.[1,2], Nargan T.P.[1], Motsnyi I.I.[1], Fanin Ya.S.[1]**
[1] Plant Breeding &Genetics institute-National Center of Seed and Cultivar Investigation, Ovidiopolska doroga,3, Odesa, 65036,Ukraine, * e-mail: olgamolod@ukr.net
[3] Faculty of Agrobiotechnology, Department of Horticulture, Viticulture, Biology and Chemistry, Odesa State Agrarian University, 65039, Odesa,st. Kanatnaya, 99 Ukraine,*e-mail:pavth@ukr.net

## ISOZYME SPECTRA OF PEROXIDASE IN WHEAT PLANTS IN RELATION TO RESISTANCE TO BIOTIC AND ABIOTIC ADVERSE ENVIRONMENTAL FACTORS

The goal of research was to study the electrophoretic spectra of peroxidase in wheat plants in relation to resistance to fungal and viral diseases and drought. The research was conducted using wheat samples (bread winter wheat varieties, amphidiploids and introgression recombinant lines) in the phases of germination and beginning of flag leaf emergence. The wheat genotypes were differed in resistance to powdery mildew, leaf and stem rust, barley yellow dwarf virus, drought tolerance and the degree of leaf pubescence. Electrophoretic spectra of peroxidase of the studied wheat samples were represented by 10-16 enzyme isoforms of different mobility and expressivity. It was established that the heterogeneity and expressivity of peroxidase isoforms depended on the varietal (genotypic) specificity, the phase of plant development, and resistance to biotic and abiotic factors.

**OVCHINNIKOVA O.P.[1], ALYOKHIN V.V.[2]**
Department of Genetics, Breeding, and Plant Protection
Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies named after S.Z. Gzhytsky, Dublyany-Lviv, Ukraine
ovchinnikova808@ukr.net

## BIOLOGICAL METHODS OF ORNAMENTAL PLANT PROTECTION: PROSPECTS OF MICROBIAL PREPARATIONS IN URBAN LANDSCAPING

The problem of protecting ornamental plants in urban ecosystems is becoming increasingly urgent in the context of global trends aimed at reducing the use of chemical pesticides. Green areas in cities perform not only aesthetic but also ecological functions, including air purification, microclimate regulation, and psychological comfort for residents. However, ornamental plants in parks, squares, and street plantings are highly vulnerable to fungal and bacterial diseases, as well as abiotic stress factors. The application of chemical fungicides in urban conditions is associated with significant risks to human health and the environment, which makes the search for alternative methods of plant protection a priority task.

One of the most promising approaches is the use of microbial preparations — biofungicides and biostimulants based on beneficial microorganisms. Fungi of the genus *Trichoderma* are among the most studied and effective bioagents. They not only suppress pathogens such as *Botrytis cinerea* (gray mold), *Sphaerotheca pannosa* (powdery mildew), and *Diplocarpon rosae* (black spot of roses), but also stimulate root development, improve nutrient absorption, and enhance stress resistance. Beneficial bacteria (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*) are equally important components of biological protection, producing antibiotics, siderophores, and enzymes that block the development of phytopathogens and contribute to the activation of plant immunity.

Practical research in Ukraine confirms the high potential of these biological products. For example, biofungicides developed by the company "BIONORMA" are successfully applied in ornamental nurseries and landscaping projects, demonstrating efficiency in reducing the incidence of leaf spot and powdery mildew in roses, chrysanthemums, and maples. The "First Mushroom Company," in cooperation with the Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, introduced live *Trichoderma* cultures in public landscaping practices, which resulted in better plant establishment and reduced dependence on chemical fungicides. Experimental studies also showed that the combination of *Trichoderma* with mycorrhizal fungi (*Glomus spp.*) increases plant vigor and decreases the severity of fungal diseases by up to 50%. These practices are being gradually implemented in urban parks of Kyiv, Lviv, and Kharkiv, where the application of microbial preparations significantly improved the condition of perennial plantings.

The future development of biological methods of ornamental plant protection in Ukraine lies not only in the optimization of bioformulation technologies but also in the comprehensive improvement of the effectiveness and reliability of microbial agents under a wide range of environmental stress conditions. This includes enhancing their tolerance to temperature fluctuations, air and soil pollution, drought, and varying levels of soil salinity, which are common in urban environments. Innovative delivery systems, such as encapsulation in polymeric matrices, nanocapsulation, or controlled-release granules, can significantly increase the viability and activity of these microorganisms over extended periods, allowing for longer-lasting protection and more predictable outcomes. Moreover, the combination of microbial preparations with organic amendments, humic substances, and beneficial mycorrhizal fungi can create synergistic effects that improve soil structure, nutrient availability, and plant resilience, further supporting the health and longevity of ornamental plants in urban landscapes.

Equally important is the systematic integration of microbial preparations into complex and sustainable urban landscaping strategies. This involves combining biological protection with agrotechnical measures, such as careful selection of plant species and cultivars adapted to local environmental conditions, crop rotation schemes in nursery production, and balanced fertilization tailored to the specific needs of ornamental plants. Preventive ecological monitoring, including

regular assessment of soil microbiota, pathogen presence, and plant physiological status, is essential to ensure timely interventions and maximize the benefits of biological agents. By applying these comprehensive strategies, large-scale implementation of microbial preparations in urban landscaping will contribute not only to the reduction of chemical pesticide use but also to the preservation of urban biodiversity, improvement of ecosystem services, and creation of green spaces that are safe, ecologically sustainable, and aesthetically appealing for local communities. This integrated approach can serve as a model for other countries seeking to enhance urban greenery while minimizing environmental and health risks associated with conventional chemical treatments.

.

**ОГОРОДНИК Н.З., СТРОНЦІЦЬКИЙ Я.В.**
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Львів, вул. Пекарська, 50, e-mail: nataohorodnyk@ukr.net

## ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА КОРМОВА ЦІННІСТЬ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ РІЗНИХ СОРТІВ ОЗИМОГО РІПАКУ В АГРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Озимий ріпак посідає стратегічне місце серед сільськогосподарських культур олійного спрямування як в Україні, так і на глобальному рівні. Завдяки високій біохімічній цінності вегетативної маси й насіння, ця культура користується високим попитом, зокрема, як ефективний попередник для зернових, сприяючи покращенню фітосанітарного стану ґрунтів та їх структурно-фізичних характеристик. Ріпак озимий є однією із базових культур, що забезпечують стабільне надходження високоякісної сировини для олійної, кормової та енергетичної галузей аграрного сектору економіки України. Високі адаптивні властивості, конкурентоспроможність на ринку та здатність до ефективного використання ресурсів зумовлюють його широку інтеграцію у сівозміну. Разом з цим, продуктивність ріпаку значною мірою визначається дотриманням технологічного регламенту, особливо в частині вибору сортового матеріалу, параметрів агрофону, систем удобрення, а також засобів захисту рослин.

Метою даної роботи було вивчення продуктивності нових сортів озимого ріпаку з урахуванням агрокліматичних чинників Західного регіону України. Проаналізовано динаміку приросту біомаси, а також якісні показники зеленої маси у трьох генотипів цієї культури. На основі проведених досліджень виділено найбільш перспективний сорт ріпаку, що упродовж двох років демонстрував стабільно високу врожайність, проявляв стійкість до стресових умов середовища та мав підвищену кормову цінність.

У дослідженнях використовували три сорти озимого ріпаку: Комбіа (контроль), Аттіка та Ханнелі (перша й друга дослідні групи), які вирощувались упродовж 2023-2025 рр. в умовах Західного Лісостепу України. Ріпак сорту Комбіа (MAS Seeds, Франція) – рекомендований для вирощування у агрокліматичних зонах Лісостепу та Полісся. Сорт Аттіка є результатом німецької селекції компанії Limagrain Europe, він зареєстрований в Україні у 2023 році. Сорт Ханнелі розроблений французькою компанією KWS, також внесений до офіційного реєстру у 2023 році. Агротехніка вирощування була уніфікована для всіх варіантів, що дало змогу провести об’єктивне порівняння. Оцінка продуктивності вказаних сортів озимого ріпаку базувалась на визначенні морфо-фізіологічних показників зеленої маси, рівні накопичення сухої речовини, хімічного складу та енергетичної ефективності вирощування за умов чорноземів.

Згідно отриманих нами результатів на рослинах сортів Аттіка та Ханнелі зафіксовано на 2,9-14,1%, у порівнянні з контролем, більшу кількість листків. Щільність розміщення рослин у цих генотипів була вищою на 8,9-48,0%. Глибина розташування точки росту в обох дослідних сортів ріпаку в середньому була нижчою на 10-20%, що свідчить про кращу зимостійкість. Діаметр прикореневої частини у сорту Ханнелі перевищував аналогічний показник у Комбіа на 11,1-22,2%. Сорт Аттіка мав перевагу над контролем за висотою рослин на 13,9-17,8%, а сорт Ханнелі – на 11,1-12,4%. Довжина кореневої системи у сорту Ханнелі була більшою, ніж у сорту Комбіа на 22,1-39,4%, а у Аттіки – на 4,0-27,0%.

Дворічні дослідження показали, що серед цих сортів ріпаку максимальний приріст вегетативної маси продемонстрував Ханнелі, який перевищив контрольний сорт на 5,5%. Сорт Аттіка мав на 2,7% більшу врожайність, порівняно з сортом Комбіа. Сорти Аттіка та Ханнелі у складі зеленої маси мали вищий вміст сухої речовини (на 0,2-0,4%), сирого протеїну (на 0,3-0,5%) та безазотистих екстрактивних сполук (на 0,1-0,3%), тоді як вміст клітковини був нижчим за контроль на 0,3%. Встановлено, що зелена маса сорту Аттіка відзначалась високим рівнем утворення обмінної енергії через більшу перетравність протеїну й жиру. Сорт Ханнелі мав на 8,3% вищу енергетичну поживність зеленої маси, компенсуючи

меншу кількість енергії, утвореної за рахунок перетравлення клітковини більшим вкладом в енергетичні процеси безазотистих екстрактивних речовин.

За рівнем економічної доцільності вирощування на чорноземах обидва дослідні сорти ріпаку озимого перевершили контроль: рентабельність виробництва зеленої маси була на 6,3% вищою у Аттіки і на 11,8% – у Ханнелі. Порівняно з сортом Комбіа, сорти Аттіка і особливо Ханнелі мали нижчу енерговитратність на вирощування завдяки вищій урожайності та більшому вмісту сухої речовини в зеленій масі.

Загалом комплексна оцінка морфо-фізіологічних показників та кормової цінності зеленої маси досліджуваних сортів озимого ріпаку дозволила виокремити сорт Ханнелі як найбільш перспективний для вирощування у Лісостепу України. Завдяки високій адаптивності, врожайності та енергетичній цінності зеленої маси він здатний забезпечити стабільні економічні показники навіть за умов кліматичних змін. Сорт Аттіка також показав добрі, проте, нижчі за сорт Комбіа результати, зокрема, за врожайністю, показниками обмінної енергії та економічною ефективністю вирощування на зелену масу

**Ohorodnyk N.Z., Strontzitskyi Y.V.**
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, Lviv, Pekarska, 50, e-mail: nataohorodnyk@ukr.net

## GREEN MASS PRODUCTIVITY AND FEED VALUE OF DIFFERENT WINTER RAPESEED VARIETIES IN THE AGROECOLOGICAL CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

A comprehensive assessment of the morphological and physiological characteristics and feed value of the green mass of winter rapeseed varieties studied allowed us to identify the Hanneli variety as the most promising for cultivation in the forest-steppe zone of Ukraine. Thanks to its high adaptability, yield, and energy value of green mass, it is capable of ensuring stable economic indicators even under conditions of climate change. The Attica variety also showed good results, although lower than those of the Kombia variety, in particular in terms of yield, metabolic energy indicators, and economic efficiency of cultivation for green mass.

**ПИСАРЕНКО Н.В.[1], ЗАХАРЧУК Н.А.[2]**
[1]Поліське дослідне відділення Інституту картоплярства НААН, вул. Центральна, 6, с. Федорівка, Коростенський р-н, Житомирської обл., e-mail: pisarenkonatalia1978@gmail.com
[2]Інститут картоплярства НААН, вул. Ярослава Мудрого, 22, смт. Немішаєве, Бучанський р-н, Київської обл., e-mail:vs_potato@meta.ua

## ІНТЕГРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГІБРИДІВ ТА СОРТІВ КАРТОПЛІ ЗА НАКОПИЧЕННЯМ БІОЛОГІЧНОГО ВРОЖАЮ ТА СМАКОВИМИ ЯКОСТЯМИ В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО ОБЛІКУ

В умовах зростання кліматичних ризиків і вимог до якості продукції, селекція картоплі має зосередитися на створенні адаптивного та якісного матеріалу. Рання оцінка біологічної врожайності та смакових якостей є ключовою для добору перспективних генотипів, придатних для інтенсивного вирощування та ранньої реалізації.

Мета дослідження. Провести інтегральну оцінку нових гібридів та сортів картоплі за показниками накопичення біологічної врожайності та смаковими якостями на 65-ту та 80-ту добу вегетації, з урахуванням групи стиглості, для виявлення високопродуктивних форм із підвищеною смаковою якістю.

Дослідження проведено в поточному році на базі Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН. Вивчено перспективні гібриди та сорти-стандарти. Ґрунти – дерново-підзолисті глинисто-піщані. Біологічну врожайність оцінювали шляхом підкопування 10 рослин на 65-й та 80-й добу після садіння. Споживчі якості визначали за 9-бальною шкалою після варіння. Погодні умови в період травень-липень 2025 року характеризувалися недостатнім зволоженням, що підтверджено зниженням ГТК до 0,18 у між обліковий період (65–80-та доба вегетації). Оцінювання проводили згідно з Методичними рекомендаціями «Картоплярство: методика дослідної справи».

Ранньостигла група (18 гібридів, стандарти Тирас і Радомисль). Середня врожайність зросла з 8,1 т/га (65-та доба) до 15,9 т/га (80-та доба), приріст – +7,7 т/га. Смакові якості покращились із 7,2 до 7,9 бала. *Врожайність*. Гібриди П.19.15/43, З.16.50-16, П.16.16-9, П.19.18/11, П.19.18/5 та П.19.15-16 показали перевагу над стандартами Тирас і Радомисль вже на 65-ту добу. Максимальний приріст (>10 т/га) зафіксовано в П.17.20-3, П.16.16-9, П.19.15-16 та П.19.47/25, що свідчить про їхню високу інтенсивність наростання біомаси. *Смакові якості*. Найвищий бал (7,8) на 65-ту добу показали П.19.18/5, П.18.42-10 та П.19.12/10. У другому обліку вищі оцінки (≥0,5 бала) порівняно зі стандартами продемонстрували П.19.18/5, П.19.20/14, П.17.24-26, П.16.16-9, П.19.12/10, П.18.42-10, П.19.68/15, З.16.50-16 та П.17.44-1. Загалом у 15 із 20 зразків бал за споживчими якостями зростав між обліками, у ряді випадків – суттєво (на +1,0–1,5 бала), зокрема в гібридів П.16.16-9, П.17.38/4 та З.16.50-16. Таким чином, більшість досліджуваних гібридів суттєво переважали сорти-стандарти як за темпами нарощування біологічної врожайності, так і за рівнем смакових якостей, що свідчить про перспективність нових селекційних форм для ранньої реалізації продукції.

Середньорання група (22 гібриди, стандарти Межирічка 11 і Базалія). Середня врожайність зросла з 6,6 т/га до 12,7 т/га (на 6,1 т/га), смак – з 7,2 до 7,9 бала. *Врожайність*. Гібриди П.19.70/21, П.17.38/16 і П.18.76-10 вже на 65-ту добу перевищили стандарт Межирічка 11 на 2,1 т/га. Найбільший приріст (>8 т/га) продемонстрували П.19.15/18 (+12,1 т/га) і З.16.40/2 (+12,2 т/га). Приріст у сортів-стандартів становив: Межирічка 11 – +10,7 т/га, Базалія – +5,0 т/га. *Смакові якості*. Найвищий бал (8,5) у другому обліку проявили З.19.54/3 і П.18.76-10. Приріст балу смаку ≥1,0 зафіксовано в гібридів: П.15.5/27 (+1,3), П.17.29/21 (+1,3), П.19.53/9 (+1,3), П.19.47/37 (+1,5), П.19.14/1 (+1,5), З.19.54/3 (+1,5). Стабільність смакових якостей впродовж обліків відмічено в П.15.56-10, П.19.70/2, П.19.30/51 та П.17.13/7.

Середньостигла група (16 гібридів, стандарти Мирослава і Житниця). Середня врожайність зросла з 5,4 т/га до 14,4 т/га (+9,0 т/га), смак – з 7,3 до 8,0 бала (+0,7 бала).

*Врожайність*. Рекордний приріст врожайності (+34,6 т/га) та найвищу врожайність (42,6 т/га) показав Г.10.6/23. Високий приріст відмічено також у П.18.78/1 (+14,1 т/га) та П.18.51/3 (+14,1 т/га), П.17.30-3 (+9,9 т/га), Мирослава (+9,1 т/га), Житниця (+8,0 т/га), П.19.74/2 (+7,6 т/га), П.19.32/13 (+7,6 т/га). *Смакові якості*. Найвищі показники смаку в другому обліку проявили гібриди П.19.33/5 (8,5 бала), П.19.74/2 (8,3 бала), П.18.78/1 (8,3 бала), П.17.30-3 (8,3 бала) та сорт Житниця (8,3 бала). Гібриди з відносно стабільним проявом смакових властивостей (зміна ≤0,2 бала): П.19.32/13 (7,8 → 8,0), П.19.26/15 (7,8 → 8,0).

Найвищий приріст урожайності спостерігався в період між обліками на 65–80-ту добу вегетації в середньостиглій групі – +9,0 т/га, що зумовлено тривалішим періодом активного формування біомаси. Ранні форми продемонстрували вищий стартовий потенціал за першогообліку (8,1 т/га) та показали найвищу врожайність за другого(15,9 т/га),проте поступилися середньостиглим у загальному прирості. За динамікою смакових властивостей усі групи показали однакове зростання середнього балу – +0,7 бала, що свідчить про типове покращення органолептичних показників на пізніших фазах формування бульб. Найвищі смакові якості,які сягали показника 8,5 бала та показували стабільність або навіть приріст >1,5 бала, зафіксовано серед окремих гібридів із всіх груп стиглості, що має високу цінність для споживчого ринку. Визначено перспективні селекційні форми з високим потенціалом для використання у програмі добору: ранні: П.19.68/15, П.19.18/11, П.16.16-9, П.17.24-26, П.19.12/10, П.17.44-1; середньоранні: З.16.40/2, П.17.1-4, П.19.30/5; середньостиглі: П.18.78/1, П.19.74/2, Г.10.6/23 – поєднання біологічної врожайності з високими або стабільними смаковими характеристиками.

**Pysarenko N.V.[1], Zakharchuk N.A.[2]**
[1]Polissia Research Department of the Institute of Potato Growing of NAAS, 6 Tsentralna St., Fedorivka village, Korosten district, Zhytomyr region, Ukraine, e-mail: pisarenkonatalia1978@gmail.com
[2]Institute of Potato Growing of NAAS, 22 Yaroslav Mudry St., Nemishaieve, Bucha district, Kyiv region, Ukraine, e-mail: vs_potato@meta.ua

## NTEGRAL ANALYSIS OF POTATO HYBRIDS AND VARIETIES FOR BIOLOGICAL YIELD ACCUMULATION AND TASTE QUALITIES UNDER DYNAMIC EVALUATION

Abstract. The study presents an integrated evaluation of potato hybrids and standard varieties based on biological yield formation and taste qualities during the active tuberization period (65–80 days after planting) under adverse hydrothermal conditions (HTC = 0.18). A total of 60 hybrid genotypes and standard varieties across three maturity groups (early, medium-early, and medium) were evaluated on soddy-podzolic sandy-loam soils. Biological yield was assessed by sampling 10 plants per genotype at each stage, and taste quality was scored using a 9-point scale. Early-maturing hybrids demonstrated the highest initial and final yields (8.1–15.9 t/ha), while medium-maturing forms showed the greatest yield increment (+9.0 t/ha). Taste qualities improved across all groups (+0.7 points on average). Promising genotypes identified include early hybrids P.19.68/15, P.19.18/11, P.16.16-9, P.17.24-26, P.19.12/10, P.17.44-1; medium-early Z.16.40/2, P.17.1-4, P.19.30/5; and medium-maturing P.18.78/1, P.19.74/2, G.10.6/23, combining high productivity with high and stable taste qualities, suitable for early market supply.

**РЕЛІНА Л.І.,, ЄГОРОВА Н.Ю., ОЖЕРЕЛЬЄВА В.М., ГРЕБЕНЮК І.В.**
Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, пр. Героїв Харкова 142, м. Харків, 61061, Україна, e-mail: lianaisaakovna@gmail.com

## РЕЗИСТЕНТНИЙ КРОХМАЛЬ ПШЕНИЦІ – БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ

Резистентний крохмаль має багато переваг для здоров'я, тому його вміст є одним із показників якості зерна. Оскільки пшениця є найважливішою харчовою культурою, питанню резистентного крохмалю пшениці приділяється багато уваги. Метою цієї роботи був бібліометричний аналіз літератури, присвяченої різним аспектам вивчення резистентного крохмалю із зерна пшениці.

Пошук документів здійснювали в базі Scopus за ключовими словами «resistant starch» ТА «*Triticum*». Використання «wheat» як ключового слова виявилося неефективним, оскільки призвело до екстракції великої кількості документів, які дуже опосередковано стосувалися аналізуємої тематики. Дата зрізу даних 18 серпня 2025 р. Усього для аналізу було відібрано 404 документа, які було опубліковано за період з 1984 р. по 2025 р. в 115 виданнях 1481 авторами. Аналіз проводили за допомогою за стосунку Biblioshiny.

Після 1994 р. кількість публікацій на рік почала зростати, проте дуже нерівномірно: з різкими коливаннями, в 2016-2018 рр. публікаційна активність в цій сфері знань суттєво зменшилася, а потім почала знову стрімко зростати, досягнувши максимуму в 2025 р. (опубліковано 31 документ), хоча рік ще не скінчився. Показник цитування теж характеризується дуже значними коливаннями з максимумом у 2013 р. (14,2).

Серед видань беззаперечним лідером за кількістю публікацій з цієї тематики в 2013 р. є журнал «Food Chemistry» (загальна кількість статей 55), який набагато випереджає інші журнали топової десятки. Цей журнал також займає перше місце з великим відривом за показником «локального впливу» (H-індекс = 33).

Серед країн на перше місце за кількістю публікацій з 2022 р. стрімко вирвався Китай, разом обігнавши Італію, США та Австралію. Проте США залишаються найбільш цитуємою країною. При цьому Китай та США тільки 13 з 78 статей і 6 з 39, відповідно, опублікували у співробітництві з іншими країнами. Зазвичай країни, які можна вважати випадковими в тематиці резистентного крохмалю пшениці, бо вони опублікували 1-3 статті (наприклад, Нігерія, Словенія, Бангладеш), всі статті опублікували в колаборації з іншими країнами. В мережі колаборації виділяються 7 кластерів країн: 2 основним та 5 мінорних, які складаються з 2-4 країн і мають мало зв'язків з головними кластерами. В одному з головних кластерів співробітництво явно сфокусовано в першу чергу навколо Китаю, ще в цьому кластері виділяється Австралія. В другому великому кластері внески країн можна вважати рівноцінними.

З установ за кількістю публікацій з 2015 р. лідирує Канзаський державний університет, хоча в мережі співробітництва між установами, де угрупувалося 5 кластерів, внесок Канзаського державного університету не є помітним. В кластерах колаборації найбільш виділяються Хенанський сільськогосподарський університет, Хенанський технологічний університет ,Університет Технологій Південного Китаю, Лундський університет і Університет Тушіа.

Найбільш продуктивними акторами є Zhang X, Seib PA і Bird AR: 14, 12 та 11 публікацій відповідно, при цьому Bird AR і Seib PA є найбільш цитуємими авторами (за H-індексом і G-індексом). При цьому найбільш цитованою роботою в глобальній науковій спільноті є стаття Slavin, J. (2013). Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients*, *5*(4), 1417-1435. https://doi.org/10.3390/nu5041417 (тобто огляд, який охоплює досить широку тематику), а у спільноті, більш спеціалізованої за даним напрямом досліджень, стаття Regina, A., Bird, A., Topping, D., Bowden, S., Freeman, J., Barsby, T., Kosar-Hashemi, B., Li, Z., Rahman, S., & Morell, M. (2006). High-amylose wheat generated by RNA interference improves indices of large-bowel health in rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103*(10), 3546–3551.

https://doi.org/10.1073/pnas.0510737103 (тобто експериментальна робота, яка цікава спеціалістам саме в цій області знань).

Автори розподілилися по 11 кластерам, причому в найбільших кластерах явно виділяються внески провідних авторів Zhang X та Bird AR. Більшість кластерів є мінорними, оскільки включають 2-4 авторів.

Таким чином, проведений бібліометричний аналіз дозволив встановити часові і регіональні тенденції публікаційної діяльності стосовно резистентного крохмалю пшениці, визначити провідні країни і установи, а також найбільш популярні серед дослідників журнали і авторів з найбільшим внеском в цю галузь знань.

**Relina L.I., Yehorova N.Yu., Ozherelieva V.M., Hrebeniuk I.V.**
Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, 142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv, 61061, Ukraine, e-mail: lianaisaakovna@gmail.com

## RESISTANT WHEAT STARCH – BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Bibliometric analysis of Scopus sources on resistant wheat starch was conducted. It was found that annual scientific production had been growing since 1995. Food Chemistry was found to be the leading journal, China – the most productive country, the US – the most cited country, and Kansas State University – the greatest contributor among affiliations. The most influential authors and articles were also identified.

**СІЧКАР В.І.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, 65036, Одеса, Овідіопольська дорога, 3, e-mail: bobovi.sgi@ukr.net

## ПОКРАЩЕННЯ ХАРЧОВИХ ЯКОСТЕЙ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ СЕЛЕКЦІЇ

Зернобобові культури є головним джерелом високоякісного білка для харчування населення нашої планети та збалансування кормів для тваринництва, птахівництва та рибного господарства. Особливість білкового комплексу цієї групи культур полягає в збалансованому складі незамінних амінокислот, особливо лізину, триптофану, лейцину, ізолейцину, фенілаланіну та валіну. Крім того, їх насіння містить у значній кількості важливі мікроелементи, вітаміни, харчові волокна та стійкий крохмаль. Останні два компоненти виділяються пребіотичною дією.

У світовому продовольчому балансі найбільш дефіцитним компонентом є білок, який повинен бути збалансованим за вмістом незамінних амінокислот, легко засвоюватись людським організмом, характеризуватись лікувально-профілактичними властивостями. На сьогоднішній день такими якостями виділяються м'ясо-молочні продукти, але внаслідок високих цін вони є недоступними для значних верств населення. Крім того, такі фактори як збільшення кількості жителів планети, зменшення площ під кормовими культурами внаслідок урбанізації та падіння їх урожайності через глобальне потепління, суттєво погіршать ситуацію з кількістю білка тваринного походження.

У перспективі значно покращити ситуацію можливо за рахунок так званого «альтернативного протеїну», під яким розуміють рослинний білок, який одержують шляхом переробляння насіння зернобобових та олійних культур. Серед них найвищою позитивною динамікою виділяється соя, за рахунок якої покриваються потреби в білку для тваринництва та птахівництва й приблизно 10% її насіння використовують на харчові потреби.

Соєвий білок, крім високої харчової цінності, виділяється низкою лікувальних властивостей. По-перше, в ньому відсутній холестерин, який міститься у значній кількості в білках тваринного походження і є причиною багатьох захворювань. Зниження кількості холестерину в крові призводить до зменшення серцево-судинних захворювань, особливо гальмування коронарних нападів. Крім того, соєвий білок впливає на зменшення кров'яного тиску та маси тіла. Дослідження в США показали, що 25 г/день соєвого білка достатньо, щоб суттєво знизити ризик серцевого нападу. Враховуючи цінність сої, як важливої продовольчої культури, у поточному сторіччі її посіви в Україні суттєво зросли. Якщо у 2000 році нею засівали 60,6 тисяч гектарів, то у 2005 році її посіви досягли 421,7 тисяч гектарів, у 2010 р. перевищили 1 млн. га, а в 2015 р. склали 2 млн га.

Наші багаторічні дослідження направлені на створення високоадаптивних з підвищеним рівнем білковості сортів сої, насіння яких придатне для використання на харчові цілі. Вони показали, що сорти сої вітчизняної та зарубіжної селекції суттєво різняться як за вмістом сумарного білка, так і окремих його фракцій. Було установлено міжсортовий поліморфізм за 7S і 11S глобулінами, що впливає на технологічні показники одержаних соєпродуктів.

Сорти сої харчового типу є немодифікованими і виділяються рядом показників, головний серед яких високий уміст білка (42–44%).

Ефективність селекційної роботи в значній мірі залежить від правильно добраних батьківських компонентів схрещування, об'ємів гібридних популяцій ранніх поколінь, наявності досвіду в процесі добору елітних рослин. Для одержання задовільних результатів необхідно аналізувати великий об'єм гібридного потомства, оскільки вміст білка успадковується як полігенна ознака. У виділених ліній потрібно постійно його контролювати, так як умови довкілля суттєво впливають на рівень білковості насіння. У процесі випробувань нами виділені рекомбінантні лінії, які характеризуються стабільністю

рівня білка, тобто мінімально реагують на фактори довкілля. Середній уміст білка у них становить біля 42%.

Крім сої, у нашому інституті проводиться інтенсивна селекційна робота також з горохом і нутом, створена низка високопродуктивних посухостійких сортів, насіння яких виділяється підвищеним рівнем білка й відмінними харчовими та лікувально-профілактичними властивостями. Започатковані також генетико-селекційні дослідження зі сочевицею.

Основним методом створення нових сортів слугує штучна гібридизація з наступним багаторазовим добором бажаних форм у ранніх гібридних популяціях. Для досягнення вагомих результатів до схрещування залучаємо батьківські форми із різних еколого-географічних зон, які виділяються підвищеним рівнем білковості або іншої ознаки, яка сприяє покращенню харчових властивостей. Наприклад, для виділення такого вихідного матеріалу сої ми проаналізували більше 5000 генотипів світової колекції, селекційна програма з нуту основана на сортозразках із Індії, звідки ми отримали більше 2500 генотипів. У останні роки до гібридизації залучаємо батьківські форми, які несуть локуси кількісних ознак (QTL), що підвищує вірогідність виділення високобілкових рекомбінантних ліній.

Особлива роль належить також створенню MAGIC-гібридів (Multi-Parent Advanced Generation Inter-Cross), які включають дві, чотири, вісім батьківських форм, і є цінним генетичним ресурсом як для картування і виявлення генів, а також безпосередньо використовуються як вихідний матеріал для селекції. За застосування цього методу як батьківські компоненти використовуємо кращі стабільні рекомбінантні лінії конкурсного випробування. Найбільш популярні сорти нуту нашої селекції (Тріумф, Скарб, Буджак і Достаток) якраз створені шляхом багатокомпонентних схрещувань.

Крім високоякісного білка, насіння зернобобових культур виділяється корисним комплексом лікувально-профілактичних інгредієнтів. Найбільшу цінність серед них становлять флавоноїди, які синтезуються лише рослинами та характеризуються активною профілактичною дією на серцево-судинні та онкологічні захворювання. Крім того, ізофлавони сприяють омолодженню шкіри, особливо у жінок, підвищують її стійкість до ультрафіолетових променів, затримують формування темних плям на ній, сприяють абсорбції кальцію в кістковій тканині людей, затримують старіння. В останні роки ми спільно з лабораторією біохімії активно працюємо в цьому напрямі. Дослідження чітко показали, що наявність пігментів у шкірці насіння сприяє нагромадженню цих сполук. У сої гени *R* і *T* обумовлюють біосинтез антоціаніна, тому шляхом їх комбінування можливо досягнути підвищеного їх біосинтезу в окремих генотипів.

Збільшення виробництва зернобобових культур в Україні дозволить змінити структуру сівозмін, що приведе до зростання урожайності зернових, кращого забезпечення населення високоякісними продуктами харчування, поліпшення економічного стану господарств, покращення азотного балансу ґрунту, зростання загальної культури землеробства.

**Sichkar V.I.**
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Ovidiopolska Road, 3, Odesa, 65036, Ukraine, e-mail: bobovi.sgi@ukr.net

## IMPROVEMENT OF LEGUME CROPS NUTRITIONAL QUALITY BY BREEDING

Legume protein is characterized by a high amino acid score and is not inferior in quality to meat and dairy products. The institute has developed drought-resistant, high-protein varieties of soybean, chickpea, and pea, which are being intensively introduced into production. Methods of breeding to increase the level of protein and other beneficial ingredients in legume seeds are being discussed.

**СТЕЛЬМАХ А.Ф., ФАЙТ В.І.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Овідіопольська дорога 3, 65036, Україна, *stegen@ukr.net*

## ФОТОПЕРІОДИЧНА ЧУТЛИВІСТЬ СОРТІВ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ

Для ярого ячменю характерний широкий внутрішньовидової поліморфізм за довжиною вегетаційного періоду. Мінливість цієї ознаки свідчить про неоднакову реакцію сортів на зміни умов середовища, зокрема реакцію конкретних генотипів на тривалість природного дня зони вирощування (фотоперіодизм). Реакція на фотоперіод визначає не тільки ступінь затримки проходження початкових етапів органогенезу і колосіння, але й пов`язана з формуванням низки ознак, що є складовими продуктивності.

Мета цієї роботи оцінити реакцію на фотоперіод 20 ярих сортів різного географічного походження з робочої колекції відділу селекції і насінництва ячменю.

Оцінку фотоперіодичної чутливості здійснювали шляхом порівняння дат колосіння сортів ячменю, що були посіяні в третій декаді квітня в судини з ґрунтом на вегетаційному майданчику при природної тривалості дня м. Одеси (15-16 годин) та при штучно скороченому до 10 годин фотоперіоді.

Сорти, що вивчали, колосилися у середньому на природному фотоперіоді на 41±0,7 добу з розмахом варіювання дат колосіння 14 діб (від 34 у сортів Адапт і Сталкер до 47 діб у сорту Noya). Скорочення тривалості дня до 10 годин сприяло збільшенню тривалості періоду до колосіння до 63±0,7 діб і зменшенню розмаху варіювання дат колосіння до 8 діб (від 60 у сорту Arika DS до 67 діб у сорту Атаман). Фотоперіодична чутливість (*d* - різниця між тривалістю періоду до колосіння при скороченому і природному фотоперіоді) складала від 18 до 29 діб. За фотоперіодичною чутливістю всі сорти можна поділити на дві рівні (по 10 зразків) групи: середнє чутливі (Arika DS, Ema, Натасія, Annabelle, Noya, Cadix, Tokado, Astoria, Монтоя, Trial) з затримкою колосіння на скороченому дні 18-21 діб і сильно чутливі до фотоперіоду (Брітні, Аватар, Гледіс, Ksanadu, Атаман, Даніелле, Philadelphia, Adagio, Адапт, Сталкер) - з затримкою 22-29 діб.

Необхідно відмітити, що ранги сортів за тривалістю періоду до колосіння в умовах природного і скороченого фотоперіодів в значної мірі не співпадають (r=+0,40). При цьому чутливість к фотоперіоду (*d*) позитивно корелює з тривалістю періоду до колосіння на скороченому дні (r=+0,34), а на природному навпаки – негативно (r=-0,73). Отже більш раннє або пізнє колосіння на природному фотоперіоді обумовлено не рівнем фотоперіодичної чутливості конкретного сорту, а найбільш вірогідно пов’язано з дією окремих генетичних систем скоростиглості *per se*.

**Stelmakh A.F., Fait V.I.**
Plant Breeding & Genetics Institute - National Center for Seed and Cultivar Investigation, Ovidiopolska doroga, 3, Odesa, Ukraine, e-mail: stegen@ukr.net

## PHOTOPERIOD SENSITIVITY OF SPRING BARLEY VARIETIES

The response to photoperiod of 20 spring barley varieties of different geographical origin was evaluated by comparing the number of days to heading when grown under natural and 10-hour photoperiods. According to photoperiodic sensitivity, all samples can be divided into two levels (10 samples each) groups: medium photoperiodic sensitive with a delay in earing on a shortened day of 17-21 days and highly sensitive with a delay of 22-29 days. Photoperiodic sensitivity is weakly positively correlated with the duration of the period to earing on a shortened day (r=+0.34) and strongly negatively correlated with the natural photoperiodic (r=-0.73). This is probably due to the action of individual genetic systems of early maturity *per se*.

**ТОВПИГА М.Л.[1], ДОМАРАЦЬКИЙ Є.О.[2]**
[1]Миколаївський національний аграрний університет
[2]Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення

## ВПЛИВ БІОПРЕПАРАТУ ХЕЛАФІТ НА ФОРМУВАННЯ ЛИСТОВОЇ ПОВЕРХНІ ОЗИМОГО РІПАКУ

Основним реагентом на будь-які фактори життя рослин є листовий апарат, який має широкий спектр коливань. Розмір площі листя має бути в оптимальних параметрах, як недорозвинена листова поверхня, так і гіпертрофована є явищем негативним. У випадку недорозвиненості листового апарату низький індекс листової поверхні адекватно має невисокий рівень фотосинтетичної продуктивності, а за гіпертрофованого розвитку спостерігається дисбаланс між вегетативною масою рослин і генеративними органами. Розмір листової поверхні визначає весь спектр фотосинтетичної діяльності рослин. Але надто розвинені рослини з осені можуть стати причиною зменшення їх морозостійкості і непродуктивних витрат ґрунтової вологи. Такий надмірний розвиток вегетативної маси спостерігається перш за все у агроценозів ранніх строків сівби за теплої та тривалої осені. Пізні ж строки обумовлюють повільний рівень накопичення вегетативної маси. Більшість науковців вважають, для успішної перезимівлі агроценозу озимого ріпаку на момент припинення осінньої вегетації оптимальний розвиток рослини відповідає наступним параметрам: висота надземної біомаси знаходитися у межах 25-30 см зі сформованими 10-12 справжніми листками; діаметр кореневої шийки – 10-15 мм і глибиною проникнення кореневої системи до 50 см. Формування оптимальної будови рослин озимого ріпаку під час завершення осінньої вегетації є одним з основних завдань аграріїв.

Сучасні кліматичні умови зони Степу з вкрай жорстким гідротермічним коефіцієнтом потребують певного удосконалення елементів технологічних схем вирощування культури. За вкрай високого рівня дефіциту ґрунтової та повітряної вологи у період сівби та початкових етапів росту і розвитку рослин постає необхідність в оптимізації процесів живлення і зведення стресових станів посіву до мінімальних показників. Одним з перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є застосування недорогих, але вкрай дієвих елементів технології вирощування озимого ріпаку, включення до обов'язкових заходів позакореневих обробіток рослин рістрегулюючими речовинами комбінованої дії. Застосування таких препаратів біологічного походження дозволить певною мірою звести до мінімуму вплив стресових факторів на рослини та покращити засвоєння макро- та мікроелементів з ґрунту, оптимізуючи умови життя рослин та зменшити хімічне навантаження на агроценози.

Трьох річні спостереження, проведені в незрошуваних умовах Миколаївської області, за формуванням листового апарату рослин озимого ріпаку показали, що в цілому ранні посіви формують максимальну площу листя як однієї рослини, так і у перерахунку на один га. Причому різниця у порівнянні з пізнім посівом становить 1000-1200%. Така перевага не є позитивним явищем, але в умовах проведеного польового досліду площа листя і в цілому надземна біомаса не досягали критичного рівня переростання рослин і, як результат, потреби у внесенні ретардантів не виникало. У фазу цвітіння максимальна площа листя (27,0 тис. $м^2$/га) сформувалась за раннього строку сівби, а найменша (16,6 тис. $м^2$/га) – за пізнього. Така закономірність притаманна як усієї площі листя на один га, так і одній рослини.

Аналізуючи вплив позакореневих обробіток рослин біологічним препаратом Хелафіт, однозначного висновку зробити не можна, бо з точки зору загальної листової поверхні препарат дає позитивний ефект і осіннє внесення препарату при оптимальному строку сівби підвищує площу листя на 4,5%; внесення у фазі бутонізації – на 5,5%, а дворазове внесення – на 9,0%, причому на фоні пізнього строку сівби ефективність Хелафіту з точки зору зростання площі листя підвищується, досягаючи 12%. Але якщо проаналізувати вплив рістрегулюючого препарату на індивідуальний розмір листової поверхні, в такому випадку спостерігається зворотна тенденція: площа листя однієї рослини зменшується в усіх варіантах. Причиною цього явища є зростання густоти травостою озимого ріпаку у разі застосування препарату. Саме ця обставина призводить до помітного зменшення

індивідуальної площі листя у варіантах із застосуванням Хелафіту. Наприклад, рослини сформували площу листової поверхні на 1 м$^2$ 25000 см$^2$ за густоти 25 рослин, а у другому випадку було 30 рослин із загальною площею листя 28000 см$^2$. Тоді у першому випадку площа листя однієї рослини дорівнює 25000 / 25 = 1000 см$^2$ / 1 рослину, а у другому – 28000 / 30 = 933 см$^2$. Дослідженнями встановлено, що кількість рослин і загальна площа листя має тісний кореляційних зв'язок, але площа листя загальна та індивідуальна мають тенденцію до зворотного: чим більше перший показник, тим (повною мірою) менше другий.

Програмою наукових досліджень було передбачено відбір зразків листя для визначення вмісту хлорофілу, який не лише дає уявлення про інтенсивність фотосинтезу, але й додає рослині стійкості до несприятливих умов зимового періоду. Результатами досліду встановлено, що із запізненням сівби спостерігається поступове зростання загального вмісту хлорофілу, особливо за самого пізнього строку. При цьому можна визначити певні особливості фракційного складу хлорофілу: якщо фракція «В» має стабільний рівень, то фракція «А» помітно зростає. Так, застосування позакореневих обробіток рослин біологічним препаратом Хелафіт виявлялось доволі ефективним заходом для підвищення вмісту хлорофілу в листках: на контрольному варіанті (без препарату) вміст хлорофілу становив у максимумі 171 мг/100 г листя, а через 10 діб після внесення біологічного препарату цей показник вже досягав значення 190 мг/100 г листя.

Проведення позакореневих обробіток рослин ріст стимулюючим препаратом Хелафіт справляє різноманітний вплив на початковий етап вегетації рослин ріпаку озимого в осінній період, що проявляється у наступному:

- за показником площі листового апарату відзначена перевага раннього строку сівби, оптимальний строк поступався за цим показником на 13,3%, а пізній – на 52 %;
- за розміром листової поверхні безумовну перевагу мають ранній і оптимальний строк сівби, за яких сформувалось листя площею 26 – 27 тис.м$^2$/га, у той час коли за пізнього строку цей показник становив лише 16 тис.м$^2$/га. Доволі дійовим способом збільшення площі листя за будь-яких строків сівби є внесення біопрепарату Хелафіт. Під впливом позакореневих обробіток площа листя зросла від 4,5 до 12%;
- щодо фотосинтетичної активності рослин, то перевагу за цим показником мали листя пізніх строків сівби, які нагромаджували на 10,5% більше хлорофілу. За таких умов перевищення вмісту хлорофілу відбувалося в основному за рахунок фракції «А». По цій фракції перевага пізнього строку становила 14,0%.

Таким чином, застосування позакореневих обробіток біологічним препаратом Хелафіт в є дієвим способом збільшення площі листя на початкових етапах росту і розвитку рослин, що в подальшому сприяє кращій перезимівлі та збільшенні індивідуальної продуктивності озимого ріпаку.

**Tovpyga M.L.[1], Domaratskyi Ye.O.[2]**
[1]Mykolaiv National Agrarian University
[2]Plant Breeding and Genetics Institute - National Center of Seed and Cultivar Investigation

## THE INFLUENCE OF BIOPRODUCT KHELAFIT ON THE FORMATION OF THE LEAF SURFACE OF WINTER RAPESEED

The article is devoted to the analysis of the influence of foliar treatments of plants with preparations of biological origin on the formation of the leaf surface of winter rape. Studies have shown that autumn application of the preparation at the optimal sowing time increases the leaf area by 4.5%; application in the budding phase - by 5.5%, and two-time application - by 9.0%. The use of foliar treatments of plants with the biological preparation Helafit turned out to be a fairly effective measure for increasing the chlorophyll content in the leaves: in the control variant (without the preparation) the chlorophyll content was a maximum of 171 mg/100 g of leaves, and 10 days after the application of the growth-stimulating substance this indicator had already reached the value of 190 mg/100 g of leaves.

**ТРАСКОВЕЦЬКА В. А., ВАСИЛЬЄВ О.А. , САУЛЯК Н. І., ОЧКАЛА О. С.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН України, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, Україна, *e-mail: phyto_lab@ukr.net

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ БОРОШНИСТОЇ РОСИ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Борошниста роса (*Erysiphe graminis f.sp. tritici*) зустрічається в усіх районах вирощування озимої та ярої пшениці. В усіх цих зонах вона є однією з найбільш разповсюджених та шкодочиних хвороб. Борошниста роса спроможна за сприятливих для її розвитку умов в короткий проміжок часу охопити у вигляді сильної епіфітотії великі площі посівів, що як результат викликає зниження врожаю культури до 40% на сприйнятливих сортах яких є більшість з вирощуваних. Частота та ступінь прояву хвороби різна та значною мірою залежить від агрокліматичних умов.

На півдні України розвиток хвороби спостерігається кожного року. Однак інтенсивність ураження, його розповсюдженість, час прояву та розвитку хвороби різний. Залежить він в першу чергу від кліматичних умов. Останні десятиріччя згідно даних метеорологів ми спостерігаємо істотні зміни клімату. Південь України переходить у зону напівпустелі це проявляється у частих посухах особливо навесні та восени, підвищенні середнорічної температури повітря тощо. Все це призвело до того, що борошниста роса в Південному Степу дещо втратила свої позиції. Однак патоген в процесі еволюції зміг придбати велику біологічну пластичність. Конідії патогена можуть проростати в широкому діапазоні температур від -1$^0$С до + 30$^0$С та при коливанні вологості повітря від 10% до 100% та зберігають життєздатність при температурі 4-5$^0$С. Патоген в залежності від кліматичних умов може зимувати у вигляді міцеліальних подушечок на живих рослинах та клейстотеціїв на неперегнилих рослинних рештках. Спосіб перезимівлі впливає на поведінку збудника на протязі року. Різні спороутворюючі можливості тих чи інших зимуючих стадій гриба дозволяє одним формам розвиватися на рослинах рано навесні другим значно пізніше. Таким чином залежно від кліматичних умов року час перших проявів хвороби може бути неоднаковим по фазам онтогенезу рослин. Так останні дві сильні епіфітотії хвороби ( 2016 та 2019 років) почалися пізно восени, на початку фази кущення рослин, так як тепла зима дозволила патогену зберегти життєздатність та при відновленні вегетації спостерігали епіфітотію хвороби. Шкодочинність такого розвитку хвороби дуже велика адже це у фазу кущення знизилась загальна та продуктивна кущистість на 30%. Крім того сильне ураження листя на цій стадії призвело до загибелі під час перезимівлі 10-13% рослин. Під час розвитку даної епіфітотії джерелом інфекції слугували конідії з міцеліальних подушечок борошнистої роси, що зимували на живих рослинах. Інфекційна культура клейстотеціїв, що зимують на рослинних рештках через високі температури та посуху не мала можливості для реалізації. Проростання аскоспор відбувається у більш вузькому температурному інтервалі ніж конідії і на той час коли температури піднімається до необхідних 15$^0$С наступає посуха. Інфекційна культура клейстотеціїв більш продуктивна життєздатна та головне більш різноманітна за расовим складом.

Кліматичні умови 2024 - 2025 років виявилися сприятливими для розвитку борошнистої роси на Півдні України. Восени 2024 року молоді рослини пшениці уразилися конидіями міцеліальних подушичок а на весні аскоспорами з клейстотеціїв. При благоприємних умовах з реалізації інфекції в період квітень – травень розвилася епіфітотія хвороби. На сприйнятливих сортах та лініях уразилося до 100 % рослин, інтенсивність ураження 40-90% листової пластинки, хвороба просунулася по рослині та досягла прапорцевого листка.

В період травень-червень 2025 року на фоні природної епіфітотії було проведено оцінку до борошнистої роси сортів селекції СГІ, селекційного та колекційного матеріалу. Було досліджено 299 ліній селекції відділу фітопатології та ентомології, 56 сортів селекції СГІ, 1053 лінії відділу селекції та насінництва, 601 лінія лабораторії інтенсивних сортів пшениці різних розсадників сортовипробування та 85 колекційних сортозразків.

Стійкість до хвороби на стадії дорослої рослини виявили у 18 ліній відділу селекції та насінництва, 16 ліній лабораторії інтенсивних сортів пшениці та 2 колекційних сортозразків, сортів Творчість, Позиція, Житниця, Злагода, Загадка. Серед ліній відділу фітопатології та ентомології високий рівень стійкості як на ювенільній так и на стадії дорослої рослини мали:КР63/25, КР 80/25, КР 83/25, КР 84/25, КР 92/25, КР 94/25, КР 95/25, КР 96/25, КР 100/25КР, 105/25, КР 120/25, КР 122/25, КР 124/25, КР 129/25КР, 133/25, 135/25, 183/25, 185/25, КР192/25.

Таким чином кліматичні умови 2024-2025 року спряли епіфітотійному розвитку борошнистої роси що дозволило провести оцінку на стійкість до хвороби великої кількості селекційного та селекційного матеріалу. Виділені лінії та сорти з стійкістю у ювенільну фазу та в фазу дорослої рослини рекомендуємо для використання в якості донорів стійкості, а також лінії відділу фітопатології та ентомології можуть бути цінним вихідним матеріалом при селекції на стійкість до борошнистої роси пшениці.

**Traskovetska V., Vasiliev O., Sauliak N., Ochkala O.**
Plant breeding and genetics institute – National center of seed and cultivar investigation NAAS of Ukraine, Ovidiopolska doroga Str. 3, Odesa, Ukraine, 65036, *e-mail: phyto_lab@ukr.net

## FEATURES OF POWDERY MILDEW DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN UKRAINE

Powdery mildew (Erysiphe graminis f.sp. tritici) is widespread in all wheat-growing regions and is a harmful disease. Under favorable conditions, it can rapidly cause severe outbreaks, reducing yields by up to 40% in susceptible varieties. Disease severity depends on agroclimatic conditions. The 2024–2025 climate favored its development, enabling evaluation of many breeding lines for resistance. Resistant lines in juvenile and adult phases are recommended as resistance donors. Lines from the Department of Phytopathology and Entomology provide valuable material for breeding mildew-resistant wheat.

**TSYGANKOVA V.A., ANDRUSEVICH YA.V., VASYLENKO N.M., KOPICH V.M., SOLOMYANNYI R.M., PILYO S.G., BROVARETS V.S.**
Department for Chemistry of Bioactive Nitrogen-Containing Heterocyclic Compounds, V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, 1, Academician Kukhar str., 02094, Kyiv-94, Ukraine, e-mail: vTsygankova@ukr.net

## ENHANCEMENT OF PEA (*PISUM SATIVUM* L.) GROWTH AND ITS ADAPTATION TO HEAT AND DROUGHT USING THIOXOPYRIMIDINE DERIVATIVES

Pea (*Pisum sativum* L.) is a major legume crop grown worldwide and used as a grain and as a sprouted vegetable in the human nutrition and animal feed [1]. Abiotic stresses such as heat and drought adversely affect pea growth, reducing productivity and yield [2]. In the context of global climate change and soil pollution by agrochemicals toxic to humans, animals, and the environment, agriculture requires the development of new environmentally friendly plant growth regulators. In Ukraine, new plant growth regulators have been created on the base of known synthetic azaheterocyclic compounds, derivatives of N-oxide-2,6-dimethylpyridine (Ivin), sodium and potassium salts of 6-methyl-2-mercapto-4-hydroxypyrimidine (Methyur, Kamethur), as well as other pyrimidine derivatives, which exhibit a growth-regulating effect similar to the phytohormones auxins and cytokinins on various agricultural crops, improving their growth and productivity, as well as enhancing adaptation to abiotic stress factors [3 - 7]. Due to the broad specificity of the regulatory effect on various plant species and absence of toxic effects on the environment, human and animal health, pyridine and pyrimidine derivatives, can be considered as effective and environmentally friendly plant growth regulators [3 - 7].

The aim of this work is to study the regulatory effect of thioxopyrimidine derivatives on the growth of pea (*Pisum sativum* L.) variety Pristan and its adaptation to heat and drought during the vegetation phase. The regulatory effect of thioxopyrimidine derivatives on pea growth was compared with the regulatory effect of derivatives of sodium and potassium salts of 6-methyl-2-mercapto-4-hydroxypyrimidine (Methyur and Kamethur), as well as the phytohormone auxin IAA (1*H*-indol-3-yl)acetic acid). The chemical structures of all studied synthetic compounds Methyur, Kamethur and thioxopyrimidine derivatives (compounds № 1 – 11) are presented in our previously published work [7]. Morphometric parameters of two-week-old pea plants (average length of the shoots (mm), average length of the roots (mm), and average number of the roots (pcs)) treated with water solutions of auxin IAA, Methyur, Kamethur, and thioxopyrimidine derivatives at a concentration of $10^{-6}$M (experimental samples) were compared with similar morphometric parameters of pea plants treated with distilled water (control sample) according to the methodological manual [8].

The results obtained showed that the average length of the shoots (mm) of 2-week-old pea plants grown under heat and drought stresses (at elevated temperature up to 35 °C and with a 50% reduction in watering) increased as follows: by 27.6% - under the treatment of IAA, by 79.22% - under the treatment of Methyur, by 86.36% - under the treatment of Kamethur, by 31.82–153.25% - under the treatment of thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 7, 9, and by 1.3–23.38% - under the treatment of thioxopyrimidine derivatives № 1, 6, 8, 10, 11 compared to the control plants.
The average length of the roots (mm) of 2-week-old pea plants grown under heat and drought stresses increased as follows: by 81.82% - under the treatment of IAA, by 193.51% - under the treatment of Methyur, by 172.73% - under the treatment of Kamethur, by 107.79–284.42% - under the treatment of thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and by 1,5–10,39% - under the treatment of thioxopyrimidine derivatives № 1, 10, 11 compared to the control plants.

The average number of roots (pcs) of 2-week-old pea plants grown under heat and drought stresses increased as follows: by 112.5% - under the treatment of IAA, by 117.5% - under the treatment of Methyur, by 270% - under the treatment of Kamethur, by 145–380% - under the treatment of thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, and by 2.5–95% - under the treatment of thioxopyrimidine derivatives № 1, 6, 10, 11 compared to the control plants.

The results obtained indicate that the synthetic compounds thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 showed the highest regulatory effect on the morphometric parameters of shoots and roots of pea plants, whereas the synthetic compounds, thioxopyrimidine derivatives № 1, 6, 10, 11 showed a lower regulatory effect compared to similar parameters in control pea plants. The regulatory effect of synthetic compounds thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 was similar to or superior to the regulatory effect of synthetic compounds Methyur, Kamethur and auxin IAA. Thus, the results obtained allow us to conclude that synthetic compounds thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 have a regulatory effect similar to the synthetic compounds Methyur, Kamethur, and auxin IAA on the growth and development of pea shoots and roots, stimulating their growth and preventing wilting, as well as improving pea plants adaptation to drought and heat.

The results of this work indicate the prospects for the practical application of the synthetic compounds Methyur, Kamethur, as well as the selected most active synthetic compounds, thioxopyrimidine derivatives № 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, which have the most pronounced regulatory effect on enhancing the growth of pea (*Pisum sativum* L.) variety Pristan and increasing its adaptation to drought and heat. The research highlights the potential use of these new synthetic compounds as environmentally friendly alternatives, being non-toxic at low concentration. The relationship between the chemical structure of thioxopyrimidine derivatives and their regulatory effects is being further analyzed to develop even more effective compounds for different crops. The identified synthetic compounds offer practical applications in agriculture, with prospects for use in crop production to enhance plant growth and yield.

**ФАНІН Я.С., КОБЛАЙ С.В.**
Селекційно-генетичний інститут національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна,
yaroslavfanin96@gmail.com, bobovi.sgi@ukr.net

## ВРОЖАЙНІСТЬ ТА БІЛКОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ ГОРОХУ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Горох (*Pisum sativum L.*) є однією з найбільш поширених зернобобових культур у світі, що вирізняється високим вмістом білка та цінними кормовими і харчовими властивостями. В Україні ця культура має стратегічне значення для продовольчої безпеки, адже є важливим джерелом рослинного білка, здатного частково замінювати тваринні білкові ресурси. Таким чином, метою нашої роботи було дослідити врожайність, вміст білка та врожайність білка з гектара у сортів гороху різних морфотипів та походження в умовах Півдня України (с. Дачне, Одеська обл.) у 2024 році. Об'єкт дослідження 43 сорти гороху **(***Pisum sativum L***.)**, які були розділені на чотири групи: сорти вітчизняної селекції (18 зразків) сорти гороху іноземної селекції ( 10 зразків); сорти іноземної селекції для підзимового посіву (5 зразків); листочковий морфотип (6 зразків); гетерофільний морфотип (4 зразки).

Сорти вітчизняної селекції продемонстрували високу стабільність та конкурентоспроможність. Середня врожайність у цій групі становила 1,50 т/га, що є однією з найвищих серед усіх досліджених варіантів. Максимальний результат відмічено у сорту Презент одеський (1,79 т/га) та Пристань (1,78 т/га), а найнижчим – у сорту Чекригінський (0,80 т/га), що свідчить про значну внутрішньогрупову диференціацію.Сорти іноземної селекції також показали високі результати. Середня врожайність у групі склала 1,48 т/га, а найкращим виявився сорт Стабіл (1,92 т/га), який перевищив інші зразки як за абсолютним значенням, так і за рівнем стабільності. Найнижчі показники зафіксовані у сорту Імпульс (1,05 т/га). Сорти іноземної селекції для підзимового посіву характеризувалися значно нижчою врожайністю, у середньому 1,22 т/га. У цій групі виділився сорт Балтрап (1,68 т/га), тоді як найменшу продуктивність мали сорти Славін (0,94 т/га) та Фрізбі (0,96 т/га). Листочковий морфотип продемонстрував середню врожайність 1,01 т/га, що є одним із найнижчих показників серед усіх груп. Лише сорт Топаз (1,20 т/га) перевищив групове середнє значення, тоді як більшість сортів, зокрема Аскет (0,85 т/га) та Вінець (0,86 т/га), характеризувалися низькою продуктивністю. Гетерофільний морфотип мав середню врожайність 1,20 т/га. Серед сортів групи найбільш врожайним був Аз1397 (1,50 т/га), тоді як найнижчий показник зафіксовано у сорту Орел (0,93 т/га).Статистичний аналіз результатів (ANOVA, $F = 4{,}87$; $p < 0{,}01$) підтвердив достовірні відмінності між групами сортів. Найвищі середні значення відзначалися у вітчизняної та іноземної селекції (1,50 і 1,48 т/га відповідно), тоді як листочковий та гетерофільний морфотипи суттєво поступалися (1,01 і 1,20 т/га). Це вказує на те, що селекційна спрямованість і морфологічні особливості сортів суттєво впливають на їхню продуктивність у ґрунтово-кліматичних умовах Півдня України.
Вміст білка у досліджених сортах варіював від 17,3 % до 25,2 %, що свідчить про значну генетичну диференціацію. Сорти вітчизняної селекції характеризувалися середнім показником 20,0 %, з максимумом у сорту Дарунок степу (23,2 %) та мінімальним значенням у сорту Оплот (18,1 %). Сорти іноземної селекції мали дещо вищий середній рівень – 20,7 %, серед яких виділялися Астронавт (25,2 %) та Стабіл (22,3 %), тоді як найнижчим був показник у сорту ЕКО (18,8 %). Сорти іноземної селекції для підзимового посіву демонстрували середній рівень білка 18,5 %, що є нижчим за інші групи. У цій групі найкращим був сорт Славін (19,0 %), тоді як сорт Ендуро (17,3 %) мав найнижчий результат серед усіх досліджених сортів. Листочковий морфотип відзначився високим вмістом білка (21,9 % у середньому), з максимумом у сорту Вінець (23,5 %). Гетерофільний морфотип продемонстрував середній показник 21,0 %, з найвищим значенням у сорту Аз1397 (22,8 %). Статистичний аналіз (ANOVA, $F = 3{,}92$; $p < 0{,}05$) підтвердив достовірні відмінності між

групами. Найбільш багатими на білок були сорти іноземної селекції та морфотипи (листочковий і гетерофільний), тоді як підзимові форми поступалися за цим показником.
Врожайність білка з 1 гектара коливалася від 0,154 т/га до 0,428 т/га, що свідчить про суттєві генетичні відмінності між сортами. Сорти вітчизняної селекції в середньому формували 0,293 т/га, з максимумом у сорту Стабіл (0,428 т/га) та мінімумом у сорту Чекригінський (0,154 т/га). Сорти іноземної селекції мали середнє значення 0,303 т/га, а найпродуктивнішими виявилися сорти Астронавт (0,416 т/га) та Стабіл (0,428 т/га), що перевищують середні показники інших груп. Найнижчі результати зафіксовані у сортів Імпульс (0,217 т/га) та ЕКО (0,226 т/га). Сорти іноземної селекції для підзимового посіву продемонстрували найнижчі показники – у середньому 0,204 т/га, з мінімальним рівнем у сортів Фрізбі та Славін (0,179 т/га). Листочковий морфотип характеризувався середнім значенням 0,220 т/га, із максимумом у сорту Топаз (0,271 т/га) та мінімумом у сорту Аскет (0,182 т/га). Гетерофільний морфотип показав вищий середній результат – 0,252 т/га, з лідером серед групи сортів Аз1397 (0,342 т/га). Статистичний аналіз (ANOVA, $F = 4{,}11$; $p < 0{,}05$) підтвердив достовірні відмінності між групами. Найвищу врожайність білка з гектара забезпечили окремі сорти іноземної селекції (Стабіл, Астронавт) та гетерофільний морфотип (Аз1397), тоді як підзимові форми мали найнижчі значення.

Проведені дослідження засвідчили значну варіабельність урожайності, вмісту білка та врожайності білка з гектара серед сортів гороху різного походження та морфотипів. Вітчизняні сорти характеризувалися стабільною врожайністю на рівні 1,5–1,8 т/га та вмістом білка в межах 18–23 %, тоді як іноземні сорти, особливо **Стабіл** та **Астронавт**, забезпечували найвищі показники врожайності білка (0,416–0,428 т/га). Листочкові форми відзначалися високим відсотком білка, але поступалися за врожайністю та продуктивністю білка з гектара, тоді як гетерофільні форми поєднували добрий вміст білка з відносно високим рівнем білкової продуктивності. Статистичний аналіз підтвердив достовірні відмінності між групами ($p < 0{,}05$), що підкреслює важливість генетичної природи сортів для формування господарсько-цінних ознак. Таким чином, селекційна робота має бути спрямована на поєднання високої врожайності з оптимальним вмістом білка, що забезпечить максимальну врожайність білка з одиниці площі.

**Fanin Ya.S.; Koblai S.V.**
Plant Breeding and Genetic Institute - National Centre for Seed and Cultivar Investigation, Ovidiopolska Road, 3, Odessa, 65036, Ukraine, yaroslavfanin96@gmail.com, bobovi.sgi@ukr.net

## YIELD AND PROTEIN PRODUCTIVITY OF PEA VARIETIES OF DIFFERENT ORIGIN IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN UKRAINE

The study investigated yield performance, protein content, and protein yield per hectare of different pea (*Pisum sativum L.*) varieties under field conditions in 2024 in Dachne village, Odesa region, Ukraine. The analysis included domestic and foreign-bred varieties, as well as leafed and heterophyllous morphotypes. Grain yield of domestic varieties averaged 1.50–1.80 t/ha, with the highest productivity observed in ‘Stabil’ (1.92 t/ha) among foreign cultivars. Protein content ranged from 18.1% to 25.2%, with the highest levels recorded in leafed morphotypes (‘Vynets’ – 23.5%, ‘Topaz’ – 22.6%). Protein yield per hectare varied from 0.18 to 0.43 t/ha, with the best results shown by foreign varieties (‘Stabil’ – 0.428 t/ha, ‘Astronaut’ – 0.416 t/ha). Statistical analysis confirmed significant differences between groups, emphasizing the importance of genotype selection for optimizing both grain and protein productivity. The results highlight the potential of foreign cultivars for maximizing protein yield, while domestic and morphotype-specific varieties can serve as valuable sources for breeding programs aimed at improving nutritional quality.

**ЧЕБОТАР С.В.[1,2], КУЗЬМІНА О.В.[1], ЧЕБОТАР Г.О.[1], СІЧНЯК В.Ю.[2], ЛАВРИНЕНКО Ю.О.[3]**

[1] Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Всеволода Змієнка, 2, Одеса, 65082, Україна; s.v.chebotar@onu.edu.ua

[2] Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Овідіопольська дорога 3, Одеса, 65036, Україна

[3] Інститут кліматично орієнтованого землеробства НААН, Одеса,Україна

## ПОСУХОСТІЙКІСТЬ СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ЗА ЛАБОРАТОРНИХ І ПОЛЬОВИХ УМОВ У ПІВДЕННІЙ УКРАЇНІ, СПІВСТАВЛЕННЯ З ДАНИМИ МАРКЕРНОГО АНАЛІЗУ

У південних регіонах України дедалі частіше фіксуються посушливі періоди, що призводять до дефіциту вологи як восени під час сівби після сухого літа, так і навесні та влітку. Найбільш критичними є травень–червень, коли спека й відсутність опадів збігаються з активними фазами розвитку озимої пшениці та суттєво знижують її продуктивність.

Селекційні центри півдня країни, зокрема Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення (Одеса) і Інститут кліматично орієнтованого землеробства НААН (Одеса, до 2022 року Інститут зрошуваного землеробства, Херсон), систематично займаються створенням сортів, придатних для вирощування у Південному Степу України. Для цього випробування проводять у «посушниках» – природних зонах із мінімальними опадами, а також у богарних умовах.

Протягом багатьох років ключову роль у селекції м’якої пшениці відігравали генотипи з алелем *Ppd-D1a* та напівкарликовими алелями *Rht8c, Rht-B1b* і *Rht-D1b*. Такі поєднання забезпечували високу врожайність у посушливих умовах вирощування. Як показали дослідження (Г. Чеботар та ін., 2019; Бакума та ін., 2019), більшість сортів, створених у цьому регіоні, несуть саме *Ppd-D1a*, що сприяє ранньому цвітінню й дає можливість уникнути впливу літньої спеки та посухи у фазу цвітіння.

Визначення певних генотипів носіїв напівкарлікових алелів та нечутливих до фотоперіоду у полі можливо завдяки вираженому фенотипічному ефекту. Натомість посухостійкість контролюється багатьма генами і залежить від взаємодії різних механізмів регуляції, що ускладнює селекцію. Тому сучасні підходи до створення нових сортів повинні поєднювати класичні польові методи з методами маркерної селекції та високотехнологічним фенотипуванням.

Метою даної роботи було порівняння рівня посухостійкості сортів озимої м’якої пшениці визначеного двома методами: за допомогою моделювання осмотичного стресу на стадії проростків із використанням 12% PEG 6000 та в польових умовах при вирощуванні на богарі та поливі, а також зіставлення результатів із алельними варіантами гена *TaSnRK2.8*.

У дослідженні випробували 12 сортів озимої м’якої пшениці, створених в Інституті зрошуваного землеробства (Херсон). Усі вони містили алель *Ppd-D1a*, відзначалися високим потенціалом урожайності та були рекомендовані для вирощування у степовій зоні. Насіння (по 25 зерен на сорт) пророщували на фільтрувальному папері з 12% PEG 6000 (–0,2 МПа) та в контрольних умова (дистильована вода). Дослід проводили при 21±2 °C протягом 8 діб, після чого визначали індекс толерантності (ІТ). В польових умовах сорти вирощували на богарі та при поливі, як описано Г. Чеботар та інш. (2020).

Найбільш стійкими до осмотичного стресу виявилися сорти Росинка (ІТ = 0,96), Соборна (ІТ = 0,88) і Овідій (ІТ = 0,84). Найменшу толерантність показали Анатолія (ІТ =0,31) та Херсонська Безоста (ІТ = 0,45). Решта сортів (Марія, Бургунка, Конка, Ледя, Кошова, Кохана, Благо) характеризувалися середнім рівнем толерантності.

Порівняння результатів, отриманих за використання різних методів, підтвердило стабільну посухостійкість сорту Росинка. Для сорта Соборна показники, визначені в експерименті з змодельованим осмотичним стресом були високими (ІТ = 0,88), тоді як у полі цей сорт продемонстрував лише середню стійкість (40%), що може вказувати на вплив

агротехніки та умов середовища. Сорти Анатолія й Херсонська Безоста в обох експериментах демонстрували чутливість до посушливих умов. Аналіз гена *TaSnRK2.8-A* показав, що алель *A* не завжди гарантує толерантність до посухи, тоді як деякі сорти з алелем *G* можуть використовувати додаткові механізми адаптації.

Таким чином, найперспективнішими, толерантними генотипами до посушливих умов, які можуть бути рекомендовани для селекційних програмах на півдні України, визначено сорти Росинка та Соборна. Поєднання лабораторних PEG-тестів і польових дослідів є ефективним інструментом для відбору посухостійких генотипів. Для надійної ідентифікації посухостійкості необхідне використання комплексного підходу, що включатимуть молекулярні маркери, лабораторні випробування та багатолокаційні польові експерименти.

**Chebotar S.V.[1,2], Kuzmina O.V.[1], Chebotar G.O.[1], Sichnyak V.Yu.[2], Lavrynenko Yu.O.[3]**
[1] Odesa I. I. Mechnikov National University, 2 Vsevolod Zmiienko St.,
Odesa, 65082, Ukraine; s.v.chebotar@onu.edu.ua
[2] Plant Breeding and Genetics Institute – the National Center of Seed and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopolska Road, Odesa, 65036, Ukraine
[3] Institute of Climate-Oriented Agriculture, NAAS, Odesa, Ukraine

## DROUGHT TOLERANCE OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) VARIETIES UNDER LABORATORY AND FIELD CONDITIONS IN SOUTHERN UKRAINE: COMPARISON WITH MARKER ANALYSIS DATA

In southern Ukraine, drought periods during critical growth stages significantly reduce winter wheat productivity. This study compared 12 wheat varieties under PEG-induced osmotic stress and field conditions (rainfed vs. irrigated), analyzing their association with *TaSnRK2.8* alleles. Rosynka and Soborna showed the highest drought tolerance, while Anatoliya and Khersonska Bezosta were the most sensitive. The results highlight the importance of combining molecular markers, laboratory screening, and multilocation field testing to identify and select drought-resilient genotypes.

**ШАХОВ І.В.[1,2], ЯСТРЕБ Т.О.[1], ТАРАБАН Д.А.[1,2], ОБОЗНИЙ О.І.[1], КОЛУПАЄВ Ю.Є.[1,2,3]**
[1] Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України, проспект Героїв Харкова 142, Харків 61060, Україна, e-mail: plant_biology@ukr.net
[2] Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських 44, Харків 61022, Україна
[3] Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди 1/3, Полтава 36003, Україна

## ПОРІВНЯННЯ ВПЛИВУ ПРАЙМІНГУ НАСІННЯ І ФОЛІАРНОЇ ОБРОБКИ РОСЛИН ПШЕНИЦІ γ-АМІНОМАСЛЯНОЮ КИСЛОТОЮ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТРЕС-ПРОТЕКТОРНИХ СИСТЕМ ЗА УМОВ ГРУНТОВОЇ ПОСУХИ

Відомо, що у відповідь на дію посухи та багатьох інших абіотичних чинників рослини накопичують різноманітні стресові метаболіти, серед яких важливе місце посідають амінокислоти. Крім найбільш поширеного ефекту накопичення проліну за таких умов відбувається і підвищення вмісту у рослинних тканинах непротеїногенних амінокислот. Серед них останніми роками значна увага приділяється з'ясуванню ролі γ-аміномасляної кислоти (ГАМК) в адаптації рослин до стресів, що спричиняють зневоднення. Нині ГАМК розглядається не лише як стресовий метаболіт, а й як індуктор багатьох адаптивних реакцій рослин (Farooq et al., 2021; Zhou et al., 2021; Kolupaev et al., 2024).

Зернові злаки, зокрема пшениця, належать до видів рослин, чутливих до дії екзогенної ГАМК. Однак, незважаючи на досить широку феноменологію ефектів екзогенної ГАМК на посухостійкість рослин, дотепер мало досліджень, в яких вона застосовувалася для праймування насіння. В експериментах з *Oryza sativa* показано, що тривала (24 год) обробка насіння ГАМК з подальшим їх висушуванням підвищувала стійкість проростків до модельної посухи, засолення та комбінації цих стресів (Sheteiwy et al., 2019). Для пшениці у роботі Zhao et al. (2023) показаний позитивний вплив на проростання зернівок за стресових умов обробки розчинами ГАМК шляхом їх розпилення на насіння. У наших експериментах під впливом замочування насіння у розчинах ГАМК показано підвищення схожості насіння і посилення росту етіольованих проростків пшениці за модельної посухи, створюваної розчинами ПЕГ 6000, та сольового стресу (Shakhov et al., 2024). У ряді робіт повідомляється про підвищення стійкості рослин до осмотичних стресів шляхом фоліарної обробки ГАМК (Hasan et al., 2021; Zhao et al., 2023; Kumari et al., 2024). Проте дотепер повністю відсутні порівняльні дослідження ефектів праймінгу зернівок і фоліарної обробки рослин на стійкість рослин пшениці до посухи за умов, наближених до природних.

Метою роботи стало порівняльне дослідження стрес-протекторних ефектів ГАМК за умов ґрунтової посухи при її застосуванні шляхом праймінгу насіння перед висівом та фоліарної обробки рослин безпосередньо перед посухою.

У роботі використовували насіння м'якої озимої пшениці (*Triticum aestivum*) сорту Етана. На початку експерименту частину зернівок обробляли ГАМК шляхом занурення насіння на 3 год у розчини ГАМК у концентраціях 0.1, 0.5 і 2.5 мМ. Оскільки відомо, що гідропраймінг підвищує схожість зернівок за умов осмотичних стресів, як додатковий контроль використовували насіння, праймоване протягом 3 год у дистильовані воді (Kolupaev et al., 2024). У варіантах з дослідження впливу фоліарної обробки зернівки не праймували. Насіння всіх варіантів висівали в контейнери з ґрунтом. Рослини вирощували за температури 25/20°C (день/ніч) та 14-годинного освітлення (12 клк). Через 6 діб від моменту висіву насіння рослини варіантів з фоліарною обробкою ГАМК обприскували її розчинами у концентраціях 0.1, 0.5 і 2.5 мМ до повного змочування листків. Рослини всіх інших варіантів (включно з гідропраймінгом та праймінгом насіння розчинами ГАМК) обприскували дистильованою водою. Надалі рослини вирощували протягом 5 днів, поступово знижуючи вологість ґрунту у варіантах з посухою до 30% від повної вологоємності (ПВ). У контрольних варіантах вологість ґрунту підтримували на рівні 90% від ПВ.

Посуха зменшувала накопичення біомаси надземної частини рослин у варіанті без праймінгу насіння або фоліарної обробки ГАМК на 41.5%. Гідропраймінг насіння спричиняв лише тенденцію до незначного підвищення маси рослин за умов посухи. Водночас у

варіантах з праймінгом насіння ГАМК та фоліарною обробкою ГАМК в оптимальній концентрації (0.5 мМ) зменшення накопичення біомаси становило лише 16.9 та 31.1% від контролю, відповідно. За умов посухи відносний вміст води у листках рослин варіантів без використання ГАМК зменшувався на 15%, праймінг насіння 0.5 мМ ГАМК майже усував цей ефект, а за фоліарної обробки 0.5 мМ ГАМК зменшення відносного вмісту води становило близько 5%.

Праймінг насіння ГАМК також істотно зменшував спричинюване посухою зростання вмісту у листках продукту пероксидного окиснення ліпідів малонового діальдегіду (МДА), фоліарна обробка чинила схожий, але менш виражений ефект. Під впливом посухи у листках зростала активність супероксиддисмутази (СОД), водночас обприскування рослин ГАМК і особливо праймінг насіння її розчинами спричиняли додаткове зростання активності ферменту. Гідропраймінг насіння істотно не впливав на вміст МДА і активність СОД у листках.

Посуха не змінювала вміст розчинних білків у листках, водночас цей показник дещо зростав у варіанті з гідропраймінгом насіння. Праймінг насіння та фоліарна обробка ГАМК викликали підвищення вмісту розчинних білків у листках. За умов посухи вміст проліну у листках рослин варіантів без застосування ГАМК зростав приблизно удвічі. Гідропрамінг, праймінг насіння ГАМК і особливо фоліарна обробка зменшували стрес-індуковане накопичення проліну у листках. Водночас посуха спричиняла зменшення сумарного вмісту цукрів у листках, при цьому застосування праймінгу насіння ГАМК помітно збільшувало вміст розчинних вуглеводів за посухи, а фоліарна обробка запобігала його зменшенню.

В цілому вплив праймінгу насіння і фоліарної обробки рослин ГАМК на досліджувані фізіологічні і біохімічні показники за умов посухи був схожим, але ефекти праймінгу при використанні однакових концентрацій ГАМК були більш помітними порівняно з дією фоліарної обробки. Причини таких відмінностей складно пояснити без спеціальних досліджень. Можна припустити, що праймінг зернівок ГАМК спричиняє так звані ефекти «стресової пам'яті», які можуть бути пов'язані з участю епігенетичних механізмів та/або впливом ГАМК як сигнальної молекули на процеси гормональної регуляції, що має довготривалий ефект. Так чи інакше використання ГАМК можна вважати ефективним прийомом для підвищення посухостійкості рослин, що супроводжується активацією антиоксидантного захисту, модуляцією функціонування осмопротекторної системи, зменшенням втрати води рослинами та їх окиснювальних пошкоджень.

**Shakhov I.V.[1,2], Yastreb T.O.[1], Taraban D.A.[1,2], Oboznyi O.I.[1], Kolupaev Yu.E.[1,2,3*]**
[1] Yuriev Institute of Plant Production, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv 61060, Ukraine, e-mail: plant_biology@ukr.net
[2] State Biotechnological University,
44 Alchevskih Str., Kharkiv 61022, Ukraine
[3] Poltava State Agrarian University,
1/3 Skovorody Str., Poltava 36003, Ukraine

## COMPARISON OF THE EFFECT OF SEED PRIMING AND FOLIAR TREATMENT BY γ-AMINOBUTYRIC ACID ON THE FUNCTIONING OF STRESS-PROTECTIVE SYSTEMS IN WHEAT PLANTS UNDER SOIL DROUGHT CONDITIONS

The effects of seed priming and foliar treatment with γ-aminobutyric acid (GABA) solutions on the resistance of young wheat plants to soil drought (reduction of soil moisture to 30% of TMC) were studied. Both seed priming and foliar treatment with GABA were found to mitigate the growth-inhibitory effects of drought on plants. In both cases, the most effective concentration of GABA was 0.5 mM. However, priming had significantly greater stress-protective effects than foliar treatment. Under GABA influence, SOD activity and the content of sugars and soluble proteins increased in drought-stressed leaves, while the accumulation of proline and the LPO product MDA decreased.

**ЯСТРЕБ Т.О.[1], ШЕВЧЕНКО М.В.[2], ОБОЗНИЙ О.І.[1], КОЛУПАЄВ Ю.Є.[1,2,3]**
[1] Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України, проспект Героїв Харкова 142, Харків 61060, Україна, e-mail: plant_biology@ukr.net
[2] Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських 44, Харків 61022, Україна
[3] Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди 1/3, Полтава 36003, Україна

## АКТИВАЦІЯ ПРОРОСТАННЯ СТАРИХ ЗЕРНІВОК ТРИТИКАЛЕ ПРАЙМІНГОМ β-АМІНОМАСЛЯНОЮ КИСЛОТОЮ: ЗВ'ЯЗОК ЗІ ЗМІНАМИ ВУГЛЕВОДНОГО ОБМІНУ І СТАНУ АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ

Відомо, що енергія проростання є одним із основних показників якості насіння і відіграє ключову роль у забезпеченні оптимальної схожості та врожайності (Elias, 2018). Серед різних агрономічних стратегій, розроблених для підвищення енергії проростання насіння, праймінг визнаний як ефективний метод впливу, що індукує фізіологічні процеси, необхідні для проростання насіння. На клітинному рівні описано ряд процесів, що відбуваються під час праймінгу, деякі з них являють собою активацію клітинного циклу і мобілізацію запасних полімерів: білків, крохмалю та ін. Процеси проростання насіння також супроводжуються посиленням генерації активних форм оксигену (АФО), що беруть участь у формуванні редокс-сигналів, важливих для активації проростання насіння (Kranner et al., 2010). Проте надмірне утворення АФО у зернівках може бути однією з головних причин їхнього старіння (Zhang et al., 2021). При неправильному зберіганні насіння внаслідок утворення АФО активується пероксидне окиснення ліпідів (ПОЛ), що може призводити до порушення цілісності мембран (Kurek et al., 2019). Розвиток окислювального стресу також спричиняє характерне для старіючого насіння карбонілювання білків (Rajjou et al., 2008), а в окремих випадках і пошкодження ДНК (Kurek et al., 2019; Afzal, 2023). У зв'язку з цим для підвищення схожості старого насіння або насіння, посівні якості якого погіршилися внаслідок неправильного зберігання, ефективними праймувальними агентами можуть бути сполуки, що одночасно виявляють пряму (шляхом зв'язування АФО) та непряму (зумовлену активацією експресії цільових генів антиоксидантної системи) захисну дію. До таких сполук належать, зокрема такі стресові метаболіти, як ізомери аміномасляної кислоти. Фізіологічні ефекти найбільш поширеного ізомеру – γ-аміномасляної кислоти (ГАМК) – нині активно досліджуються, у тому числі у зв'язку з її стрес-протекторною дією і здатністю посилювати проростання насіння ряду видів культурних рослин (Shehu et al., 2019; Kolupaev et al., 2024). Значно слабше досліджені ефекти β-аміномасляної кислоти (БАМК), вміст якої в тканинах рослин на три порядки менший від кількості ГАМК, хоча отримані експериментальні дані про здатність БАМК підвищувати активність антиоксидантних ферментів і посилювати накопичення низькомолекулярних захисних сполук за дії стресорів різної природи (Decsi et al., 2024).

Насіння тритикале – гібридного виду, отриманого схрещуванням пшениці та жита, відрізняється досить швидким зниженням схожості при зберіганні за неоптимальних умов. При цьому старіюче насіння тритикале виявилося зручним модельним об'єктом для вивчення дії нових праймувальних агентів, зокрема, мелатоніну та γ-аміномасляної кислоти (Kolupaev et al., 2024; Shakhov et al., 2024). Водночас вплив БАМК на проростання зернівок тритикале дотепер спеціально не досліджувався. Метою цієї роботи стало дослідження впливу БАМК на проростання старого насіння тритикале у зв'язку з можливою активацією антиоксидантної системи та процесів накопичення у проростках мультифункціональних стресових метаболітів.

Для роботи використовували насіння озимого тритикале × *Triticosecale* сорту Раритет генерації 2021 року. Протягом трьох років насіння зберігалося у приміщенні в неконтрольованих умовах (у літній період температура періодично перевищувала 30°C, а зимовий – знижувалася до -8°C, відносна вологість повітря під час зберігання неодноразово змінювалася від 25-30 до 80-85%). Такі впливи істотно знижують енергію проростання та схожість насіння тритикале, спричиняючи близьке до природного, але прискорене старіння

(Kolupaev et al., 2024). Після знезараження зернівки протягом 3 год праймували розчинами БАМК в концентраціях 0.1, 0.5, 1.0 і 2.5 мМ (співвідношення об'ємів насіння і розчинів для праймінгу 1 : 3). Контрольні зразки обробляли дистильованою водою. Після праймінгу насіння всіх варіантів протягом доби висушували в термостаті при температурі 24°С і вологості повітря 40%. Надалі насіння всіх варіантів пророщували протягом 3 діб в оптимальних умовах.

Показники енергії проростання та схожості насіння тритикале, що зазнали природного старіння, були невисокими (56 і 62%, відповідно). Праймінг насіння БАМК у концентраціях 0.1, 0.5 та 1 мМ спричиняв істотне підвищення енергії проростання та схожості насіння. Обробка БАМК у вищій концентрації (2.5 мМ) позитивного впливу на проростання зернівок не чинила. При обробці насіння БАМК у концентраціях діапазону 0.1-1 мМ також спостерігали підвищення біомаси пагонів і коренів проростків. Найбільш ефективною виявилася концентрація 0.5 мМ.

Загальна активність амілази у зернівках тритикале через 48 год з моменту їх пророщування підвищувалася під впливом праймінгу БАМК у всьому досліджуваному діапазоні концентрацій – від 0.1 до 2.5 мМ. Обробка зернівок тритикале БАМК також викликала істотне підвищення вмісту цукрів у пагонах, що може бути зумовлене надходженням пулу розчинних вуглеводів у пагони із зернівок внаслідок посилення гідролізу крохмалю амілазою. Загальний вміст фенольних сполук у пагонах проростків із насіння, праймованого БАМК, не відрізнявся від контролю. Проте обробка насіння БАМК у всьому діапазоні концентрацій викликала суттєве підвищення у пагонах вмісту антоціанів, які відрізняються надзвичайно високою антиоксидантною активністю. Під впливом БАМК у концентраціях 0.5 і 1 мМ в пагонах також істотно зростала активність антиоксидантних ферментів – супероксиддисмутази, каталази і гваяколпероксидази. Водночас праймінг насіння БАМК спричиняв помітне зниження вмісту пероксиду водню та продуктів пероксидного окиснення ліпідів у пагонах проростків. Виявлено тісні позитивні кореляції між показниками стану антиоксидантної та осмопротекторної систем, що вказує на наявність функціональної взаємодії компонентів загальної стрес-протекторної системи за її активації при обробці БАМК старіючого насіння тритикале. З'ясування механізмів такої взаємодії у подальших дослідженнях дозволить цілеспрямовано використовувати БАМК як ще один інструмент для регуляції ростових процесів та стрес-протекторних систем рослин.

**Yastreb T.O.[1], Shevchenko M.V.[1,2], Oboznyi O.I.[1], Kolupaev Yu.E.[1,2,3*]**
[1] Yuriev Institute of Plant Production, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
142 Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv 61060, Ukraine, e-mail: plant_biology@ukr.net
[2] State Biotechnological University,
44 Alchevskih Str., Kharkiv 61022, Ukraine
[3] Poltava State Agrarian University,
1/3 Skovorody Str., Poltava 36003, Ukraine

## ACTIVATION OF AGED TRITICALE SEEDS' GERMINATION BY β-AMINOBUTYRIC ACID PRIMING: RELATIONSHIP WITH CHANGES IN CARBOHYDRATE METABOLISM AND THE STATE OF ANTIOXIDANT SYSTEM

The effects of β-aminobutyric acid (BABA) on the germination of aged triticale seeds, the metabolite content in seedlings, and the state of their antioxidant system were investigated. A three-hour priming of seeds in BABA solutions (0.1 to 1.0 mM) increased their germination energy, rate, and biomass accumulation. Additionally, amylase activity increased in grains and sugar accumulation in shoots, along with anthocyanin content and antioxidant enzyme activity. The conclusion was made that BABA, used as a bioregulator, has the potential to enhance germination of seeds with low sowing qualities, which is due to the BABA ability to activate metabolism of reserve substances in grain and to prevent development of oxidative stress.

**ЯЦУХ К.І.', ЛІСОВА Ю.А.', ЛІСОВА Г.М.²**
[1 -] Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, вул. Грушевського, 5, с. Оброшино, Львівського р-ну Львівської обл., 81115, e-mail: k_yatsukh@meta.ua
[2 -] Інститут захисту рослин НААН, вул. Васильквівська, 33, м. Київ, 03022,. e-mail: mail_gl@ukr.net

## ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СОРТОЗРАЗКІВ ВІВСА ДО ЗБУДНИКА ГЕЛЬМІНТОСПОРІОЗУ В 2022 РОЦІ

Однією з розповсюджених і найбільш шкідливих хвороб вівса в західних областях України є гельмінтоспоріоз. Шкідливість хвороби проявляється у зменшенні асиміляційної поверхні рослин, в результаті передчасного їх відмирання, що різко знижує продуктивність рослин. Для правильного підбору вихідних форм селекціонерам необхідні дані як про рівень вірулентності та склад популяції патогенів, так і детальна імунологічна характеристика сортів. Це служить основою для побудови програми селекції для створення сортів з груповою стійкістю до збудників хвороб.

Волога, але прохолодна погода в квітні 2022 року не сприяла прояву гельмінтоспоріозу на рослинах вівса. Тепла, але порівняно суха погода в травні та червні стримувала розвиток даної хвороби. Погодні умови (температура повітря біля 20 °С та значна кількість опадів) в липні сприяли розвитку гельмінтоспоріозу на сортах вівса.
У всіх розсадниках селекційного процесу визначали стійкість 158 номерів вівса до збудника гельмінтоспоріозу.

Встановлено, що протягом вегетаційного періоду 2022 р. в колекційному розсаднику дуже високу стійкість (бал 9, 8) до збудника гельмінтоспоріозу вівса проявили: у фазу вихід в трубку – 27 зразків (96,4 %), у період 12 днів після викидання волоті – 12 зразків (42,9 %). Стійкими (бал 7, 6) до збудника гельмінтоспоріозу були відповідно один (3,6 %) та 12 зразків (42,8 %). Сприйнятливими (бал 5, 4) до збудника гельмінтоспоріозу вівса в цьому розсаднику були 4 зразки (14,3 %). У гібридному розсаднику $F_1$ дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8) проявили: у фазу вихід в трубку – 18 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 9 зразків (50,0 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу (бал 7, 6) у період 12 днів після викидання волоті були 6 зразків (33,3 %). Сприйнятливими до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 5) в цьому розсаднику були 3 зразки (16,7 %). У гібридному розсаднику $F_2$ відзначено дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8): у фазу вихід в трубку – 33 зразки (89,2 %), у період 12 днів після викидання волоті – 17 зразків (46,0 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу (бал 7, 6) у період 12 днів після викидання волоті були 20 зразків (54,0 %). У гібридному розсаднику $F_3$ дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8) проявили: у фазу вихід в трубку – 15 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 11 зразків (73,3 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу (бал 7) у період 12 днів після викидання волоті були 4 зразки (26,7 %). У гібридному розсаднику $F_4$ відмічено дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8): у фазу вихід в трубку – 17 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 7 зразків (41,2 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу (бал 7, 6) у період 12 днів після викидання волоті були 10 зразків (58,8 %). У селекційному розсаднику 1-го року відзначено дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8): у фазу вихід в трубку – 9 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 2 зразки (22,2 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 7, 6) у період 12 днів після викидання волоті були 7 зразків (77,8 %). У селекційному розсаднику 2-го року дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8) проявили: у фазу вихід в трубку – 13 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 9 зразків (69,2 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу (бал 7, 6) у період 12 днів після викидання волоті були 4 зразки (30,8 %). У розсаднику контрольного сортовипробування відзначено дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8): у фазу вихід в трубку – 6 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 5 зразків (83,3

%). Стійким до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 7) у період 12 днів після викидання волоті був один зразок (16,7 %). У розсаднику попереднього випробування дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8) проявили: у фазу вихід в трубку – 15 зразків (100 %), у період 12 днів після викидання волоті – 10 зразків (66,7 %). Стійкими до збудника гельмінтоспоріозу (бал 7) у період 12 днів після викидання волоті були 5 зразків (33,3 %).

В 2022 році дуже високу стійкість (бал 9, 8) до збудника гельмінтоспоріозу вівса проявили сорти та сортономери вівса: Артур, Пам'ять Богача, Javor, Dezecz, Авгол, Скарб України, Діоскурій, Зірковий, Тембр, Артур/Дарунок, Артур/Скарб України, Bachat, Дарунок/Нептун, Артур/Зубр, Аркан/Зубр, Аркан/Легінь, Зубр/Світанок, Світанок/369-6-3, Світанок/Артур, Світанок/2791-1-3, Артур/ОМ-12-3108/1, Артур/LMЯ, Артур/Bendyze, Артур/Факел, Артур/Авгол, ІЗО-14/Фауст, ІЗО-198-4/ІЗО-22, ІЗО-23/ІЗО-198-4, Болан/Теремок, Теремок/ІЗО-14, Артур/Bohun, Bohun/Артур, Артур/Arab, Артур/Закат, Arab/Закат, Закат/Raitar, Зірковий/Budrus, Зірковий/Золон.

В 2022 році із 158 зразків вівса у всіх розсадниках селекційного процесу дуже високу стійкість до збудника гельмінтоспоріозу вівса (бал 9, 8) у період 12 днів після викидання волоті проявили 65 зразків (41,1 %), стійкими (бал 7) були 69 зразків (43,7 %), сприйнятливими (бали 5, 4) – 24 зразки (15,2 %).

Виділені джерела стійкості вівса до збудника гельмінтоспоріозу рекомендовано селекціонерам для подальшої роботи для створення стійких сортів.

**Yatsukh K.I.[1], Lisova Yu.A.[1], Lisova G.M.[2]**

1 - Institute of Agriculture of the Carpathian Region of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Hrushevskoho St., Obroshino Village, Lviv District, Lviv Region, 81115, e-mail: k_yatsukh@meta.ua

2 - Institute of Plant Protection of the National Academy of Sciences of Ukraine, 33 Vasylkvivska St., Kyiv, 03022,. e-mail: mail_gl@ukr.net

## ASSESSMENT OF RESISTANCE OF OAT VARIETIES TO THE CAUSANT OF HELMINTOSPORIOS IN 2022

The resistance of 158 oat samples to the pathogen of helminthiasis in all nurseries of the breeding process was determined. It was established that in 2022, 65 samples (41.1%) showed very high resistance to the pathogen of helminthiasis of oats (scores 9, 8) within 12 days after panicle ejection, 69 samples (43.7%) were resistant (score 7), and 24 samples (15.2%) were susceptible (scores 5, 4).

**ВАСИЛЬЄВ О.А., ТРАСКОВЕЦЬКА В. А., САУЛЯК Н. І.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН України, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, Україна, e-mail: alex.va7713@gmail.com

## ОСНОВНІ НАПРАВЛЕННЯ РОБОТИ ВІДДІЛУ ФІТОПАТОЛОГІЇ ТА ЕНТОМОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СТІЙКОГО ВИХІДНОГО СЕЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Інфекційні хвороби пшениці є одними з основних причин недобору зерна цієї важливої продовольчої культури, погіршення його якісних показників. Проти них в економічно розвинених країнах світу застосовується інтегрована система захисту рослин, що складається з організаційно-господарських, агротехнічних, біологічних, хімічних, генетичних методів захисту. З усіх, саме генетичний захист, заснований на створенні та вирощуванні у сільськогосподарському виробництві стійких до фітопаразитів сортів, є одним із головних.

В усіх країнах, де вирощується пшениця, створенню стійких сортів приділяється першочергове значення: сорт повинен володіти стійкістю до збудників тих хвороб, що спостерігаються в конкретній зоні/регіоні, де передбачається його вирощування. Сорт повинен володіти груповою стійкістю, тобто стійкістю до тих хвороб, що є основними. Якщо сорт пшениці стійкий тільки до збудника однієї основної хвороби та сприйнятливий до інших, виробники пшениці змушені застосовувати хімічний захист рослин шляхом обробки посівів ефективними фунгіцидами. Тож, створення сортів пшениці, стійких до 1-2 збудників хвороб, не відповідає сучасним вимогам виробництва. Як показує аналіз, найбільш цінними є сорти пшениці з груповою стійкістю (такі, що виявляють високу стійкість та імунність щонайменше до 3-4 патогенів).

Створення стійких до хвороб сортів пшениці процес складний, науковий, творчий, тому вчений повинен об’єднати знання фітопатолога, генетика та селекціонера. Успішність селекції залежить, в першу чергу, від наявності якісного вихідного матеріалу, донорів високоефективних, бажано, домінантних Lr, Yr, Sr, Bt, Ut, Pm-генів стійкості. Для вирішення проблеми стійкості до збудників хвороб необхідно мати надійні, легко відтворювані методи фітопатологічних оцінок, які забезпечуються наявністю роздільних штучних та комбінованих штучних інфекційних фонів, на яких оцінюється ступінь стійкості рослин за їх реакцією на інфекцію патогена та інтенсивністю ураження. Абсолютно обов’язковим також є розробка та постійне вдосконалення методів оцінки та доборів стійких генотипів на усіх етапах селекційного процесу та у первинних ланках насінництва аж до передачі сортів на Держсортовипробування.

Останні десять років зусилля фітопатологів відділу фітопатології та ентомології СГІ-НЦНС були спрямовані на вирішення усіх перелічених проблем та задач. Науково-дослідні роботи за державної програми стосувалися дослідження генетичної основи стійкості пшениці до збудників основних захворювань, а також виділенням генотипів з ефективними для селекції на імунітет генами. На дійсний час вже створено новий стійкий вихідний матеріал та сорти пшениці.

У світі розробки щодо виведення імунних сортів пшениці останнім часом дещо скоротилися, головним чином саме з причин складності та довго тривалості самого пошукового процесу та у зв’язку з бурхливим розвитком хімічного захисту.

Однак, екологічна ситуація в Україні та принципи органічного землеробства вимагають у будь-який спосіб знижувати хімічне навантаження на зовнішнє середовище.

В Україні найбільш розповсюдженими та шкідливими є бура іржа, борошниста роса, тверда сажка. Жовта та стеблова іржа зустрічаються у природі епізодично, а летюча сажка інколи.

Попередніми дослідженнями, проведеними у відділі фітопатології та ентомології СГІ – НЦНС показано, що в Україні ефективність поки що зберігають 7- Lr, 3-Yr, 8-Sr, 5-Pm, 8-Bt, 2-Ut-гени. Створений у процесі виконання проекту вихідний селекційний матеріал

слугуватиме базою для виведення сучасних сортів пшениці з груповою стійкістю, яка обумовлена дією високоефективних Lr, Sr, Yr, Pm, Bt, Ut-генів, а сорти матимуть інші важливі ознаки та властивості (продуктивність, стійкість до абіотичних стресів та інш.).

Стійкі до комплексу хвороб сорти пшениці матимуть переваги над іншими для використання у органічному землеробстві для виробництва екологічно безпечної сировини і харчових продуктів. У звичайному зерновиробництві сучасні сорти будуть економічно вигідними завдяки тому, що не потребуватимуть хімічного захисту від хвороб.

Практичним доробком авторського колективу є створені сорти пшениці м'якої озимої Княгиня Ольга (районований у 2011 році), Ластівка одеська (районований у 2011 р.), Вихованка одеська (районований у 2013 році), цінні лінії пшениці м'якої озимої з груповою стійкістю до збудників основних хвороб, що використовуються у селекційних програмах СГІ - НЦНС та занесені до Каталогу вихідного селекційного матеріалу Національного центру генетичних ресурсів рослин України (2016 – 2020 рр.).

Робота відділу фітопатології та ентомології спрямована на пошук, дослідження та виділення ефективних генів стійкості до борошнистої роси, бурої, жовтої та стеблової іржі зі зразків пшениці м'якої озимої різного генетичного походження з метою об'єднання їх в одному генотипі та перспективою створення лінійного вихідного матеріалу – донорів стійкості до досліджуваних хвороб, з метою використання у подальшій селекційній практиці. Продовження досліджень у сфері генетичної стійкості пшениці до інфекційних хвороб є важливим для сталого розвитку аграрного сектору України із збереженням екологічної безпеки та підвищенням конкурентоспроможності зернової продукції.

**Vasiliev O., Traskovetska V., Sauliak N.**
Plant breeding and genetics institute – National center of seed and cultivar investigation NAAS of Ukraine, Ovidiopolska doroga Str. 3, Odesa, Ukraine, 65036, e-mail: phyto_lab@ukr.net

## MAIN DIRECTIONS OF WORK OF THE DEPARTMENT OF PHYTOPATHOLOGY AND ENTOMOLOGY FOR CREATING RESISTANT BREEDING MATERIAL

Infectious diseases of wheat are primary causes of yield loss and quality reduction in this vital food crop. In economically developed countries, integrated plant protection systems combine organizational, agronomic, biological, chemical, and genetic methods. Among these, genetic protection—through breeding and growing resistant varieties—is especially important. Worldwide, breeding programs prioritize creating varieties resistant to the main pathogens present in the target growing region. Varieties must possess broad resistance to several key diseases rather than just one. Therefore, modern wheat breeding focuses on developing varieties with group resistance, showing strong resistance or immunity to at least 3-4 major pathogens.

**ВЕДМЕДЄВА К.В., МАХОВА Т.В., ЯКУБЕНКО О.В.**
Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України
вул. Інститутська 1, с. Сонячне, Запорізький район, Запорізька обл., Україна,
vedmedeva.katerina@gmail.com

## КЛАСТЕРІЗАЦІЯ РІЗНОМАНІТТЯ КОЛЕКЦІЇ КУНЖУТУ ЗА МОРФОЛОГІЧНИМИ ОЗНАКАМИ

Кунжут (*Sesamum indicum L.*) – одна з найдавніших та найбільш поживних олійних культур світу. Він є важливим джерелом білків, ненасичених жирних кислот та біологічно активних сполук із вираженим антиоксидантним ефектом. Попри значний потенціал, в Україні культура ще не набула широкого поширення. У світі підтримуються великі колекції кунжуту (зокрема, понад 11 тис. зразків у США), які досліджуються для виявлення морфологічної різноманітності, формування базових кластерів та подальшої селекції. Попередні дослідження в різних країнах засвідчили широкий спектр відмінностей за кольором насіння, листків, квіток, коробочок, а також за тривалістю вегетації та врожайністю.Колекція кунжуту Інституту олійних культур НААН налічує 125 зразків, але до цього часу вона не була кластеризована. Близько 44 % зразків мають інтродуковане походження з 17 країн світу (Індія, Туреччина, Японія, Греція, Кенія тощо). Більш ніж половина зразків створена в ІОК НААН шляхом схрещувань і доборів.

Мета дослідження – провести кластеризацію зразків та визначити ознаки, що зумовлюють найбільшу різноманітність колекції.

Дослідження проводили у 2018–2024 рр. в умовах карантинного розплідника ІОК НААН. Матеріалом слугували 125 колекційних зразків кунжуту. Вивчалися кількісні (висота рослини, кількість коробочок, кількість гілок, маса 1000 насінин, врожайність, тривалість вегетаційного періоду, вміст олії) та якісні ознаки (колір квітки та її губи, насіннєвої шкірки, опушення, морфологія листків). Оцінювання проводили за п’ятибальною шкалою градацій. Кластеризацію здійснено методом K-means та Ward з використанням Python. Кореляційний аналіз проведено за коефіцієнтом Пірсона.

За результатами аналізу виділено сім кластерів (груп ліній). Найбільшу роздільну здатність мали такі ознаки: тривалість вегетаційного періоду, маса 1000 насінин, кількість коробочок. Меншу значущість мали колір квіток і насіння, що пояснюється обмеженою представленістю темнозабарвлених форм.

Характеристика груп:

1 група – короткий вегетаційний період, велика маса 1000 насінин, помірна кількість коробочок;

2 група – велика кількість коробочок і гілок, підвищена врожайність;

3 група – високорослість, велика маса 1000 насінин, помірна кількість коробочок;

4–5 групи – зразки з нетиповим забарвленням квіток і насіння;

6 група – форми з підвищеним опушенням;

7 група – низькорослі форми з малою масою насіння та довгим періодом вегетації, що погано адаптуються до умов Степу України.

У посушливих умовах Степу України успішною є селекція кунжуту на короткий вегетаційний період і велику масу насіння (1 група); на високорослість і велику масу насіння (3 група). Селекція на велику кількість гілок і коробочок (2 група), яка в інших країнах дає позитивні результати, в умовах України менш ефективна.

Виділено низку перспективних зразків, які можуть стати базою для селекційних програм: К1247 – поєднання великої маси 1000 насінин, значної кількості гілок і помірної врожайності (жовто-коричневе насіння); К504 (чорне насіння) і К798 (коричневе насіння) – найбільш врожайні.

**Vedmedeva K.V., Makhova T.V., Yakubenko O.V.**
Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
st. Institutskaya, 1, village Sonyachne, Zaporizhia region, Ukraine,
vedmedeva.katerina@gmail.com

## CLUSTERIZATION OF THE DIVERSITY OF THE SESAME COLLECTION BY MORPHOLOGICAL CHARACTERS

Sesame (Sesamum indicum L.) is one of the oldest and most nutritious oilseed crops in the world. In Ukraine, the sesame collection of the Institute of Oilseed Crops of the NAAS has 125 samples, but so far it has not been clustered. The purpose of the study is to cluster samples and determine the characteristics that determine the greatest diversity of the collection. 7 clusters were identified. The following features had the greatest resolution: the duration of the growing season, the mass of 1000 seeds, the number of pods. The color of flowers and seeds was of lesser importance, which is explained by the limited representation of dark-colored forms.

**ГАВРИЛОВ С.В., ФЕОКТІСТОВ П.О., ЯРМОЛЬСЬКА О.Є.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, 65036, Одеса, Овідіопольська дор. 3, e-mail: pbgi@ukr.net

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СПОСОБИ ОЦІНКИ ЗИМО- ТА МОРОЗОСТІЙКОСТІ РОСЛИН ОЗИМИХ КУЛЬТУР

Дослідження стійкості рослин до несприятливого впливу абіотичних факторів є одним з основних напрямів селекції, без якого неможливо створити сучасний конкурентоспроможний сорт. Від початку повномасштабної війни ситуація з оцінкою селекційного матеріалу на адаптивність значно погіршилася через перебої електропостачання, руйнування наукової інфраструктури, втрату обладнання та ін. В умовах військового стану, коли фінансові можливості як держави, так і наукових установ обмежені, ділимось власним досвідом вирішення проблем, пов'язаних з визначенням зимо- та морозостійкості рослин озимих культур.

Зазвичай, основний обсяг досліджень зимо- та морозостійкості проводився в низькотемпературних камерах типу КНТ. Площа камер біля 15 м$^2$, компресор - 6 кВт. Класичними методами оцінки матеріалу на зимо- та морозостійкість є метод посівних ящиків «ДСТУ 4749: 2007», а визначення стану посівів – метод добору монолітів з поля. Цілком зрозуміло, що в умовах перебоїв у енергопостачанні для забезпечення безперервної роботи таких камер необхідно мати стаціонарне джерело безперебійного живлення, на кшталт дизельного генератора на 15 кВт. Вартість досліджень за таких умов стає абсолютно непід'ємною. Тому ми зосередились на пошуку альтернативних енергоефективних методик, які б дозволили обійти проблему енергозабезпеченості без втрати якості результатів.

Прикладом бюджетного та енергоефективного замінника камер КНТ може слугувати модифікація звичайної морозильної скрині. Характеристики скрині: температура від +5 до -20 °С, точність ±0,5 °С, компресор 0,3 кВт, середнє споживання енергії 0,74 кВт/добу. Дві такі скрині протягом доби можна живити звичайною зарядною станцією типу «*EcoFlow Delta 2*». У разі наявності електрики 2 години на добу це самодостатня система, здатна забезпечити повний цикл досліджень тривалістю до 40 діб.

Обмеження через малий об'єм скрині потребують переосмислення методології оціночної роботи. Ми пропонуємо використовувати ДСТУ 7970:2015 «Визначення морозостійкості рослин озимої пшениці у паперових рулонах», який під час впровадження рекомендувався, в першу чергу, для використання в теоретичних дослідженнях генетики та фізіології швидкості загартування, особливостей формування та генетики морозостійкості і т.п. За рахунок експресності та енергоефективності він дозволяє проводити попередню оцінку селекційного матеріалу. Для усунення розбіжностей у ранжуванні сортів, які виникають при порівнянні результатів оцінки морозостійкості в лабораторних умовах з результатами польових досліджень, пропонується проводити дослідження показника «швидкість загартування». Це дозволяє дослідити вплив температурно-світлових умов проходження загартування рослин, які у лабораторних дослідженнях є статичними, а у природних умовах мають широкий діапазон варіювання. Аналіз термічного режиму виявив скорочення тривалості температурних умов, сприятливих для проходження першої фази загартування на Півдні України за останні десятиріччя, на 25-45 %. Іноді він скорочується до 4-5 діб. За таких умов рослини часто входять у зиму незагартованими, маючи 12-24 % цукрів у вузлах кущіння, при оптимальних значеннях 35-40 %. У контрастні за тривалістю умов роки, сприятливі для проходження першої фази загартування, спостерігається не лише зменшення рівня морозостійкості, але й зміна рангу сортів. Необхідно відмітити, що ранжування сортів за лабораторним методом залишається незмінним. Тобто, зміни у морозостійкості відбуваються саме під впливом змін погодних умов.

В якості альтернативи способу монолітів ми пропонуємо модифікацію способу добору рослин з поля з подальшим їх проморожуванням у пучках, який дозволяє, при накопиченні даних за декілька років спостережень, оцінити рівень морозостійкості

сформованої у природних умовах та здійснювати моніторинг стану посівів озимини протягом зимівлі.

Використання наведених вище методик у поєднанні з енергоефективним обладнанням дозволяє проводити дослідження зимо- та морозостійкості й постійно мати оперативну інформацію про стан озимих. Враховуючи надмалі, в порівнянні з класичними методами, трудові витрати та якість отриманих результатів, ми, в подальшому, будемо використовувати саме таку схему досліджень.

**Gavrylov S., Feoktistov P., Yarmolska O.**
Plant Breeding & Genetics Institute – National Centre of Seed & Cultivar Investigation, 65036, Odessa, Ovidiopolska Road. 3, e-mail: pbgi@ukr.net

## ENERGY-EFFICIENT METHODS FOR ASSESSING WINTER HARDINESS AND FROST RESISTANCE OF WINTER CROPS

The article is devoted to the search for energy-efficient methods of assessing the winter hardiness and frost resistance of winter crops under wartime conditions and limited resources. Traditional methods based on low-temperature chambers have proven to be too costly and heavily dependent on stable power supply. The authors propose an alternative solution that reduces energy consumption and energy dependence without compromising research accuracy. The proposed equipment and adapted methodologies make it possible not only to reduce the cost and simplify research, but also to ensure timely monitoring of the condition of winter crops.

**HALAIEV O., HALAIEVA M., ZAMBRIBORSHCH I., SHESTOPAL O., TRASKOVETSKAYA V., VASILIEV O., SAULYAK N.**
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation (PBGI-NCSCI), Odesa, Ukraine, e-mail: galaev7@ukr.net

## MOLECULAR IDENTIFICATION OF RESISTANCE GENES TO FUNGAL PATHOGENS IN DOUBLED HAPLOID LINES OF WINTER BREAD WHEAT

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most widely cultivated cereal crop and a cornerstone of global food security. However, the globally distributed fungal diseases stem rust, leaf rust, stripe rust and powdery mildew result significant ~13% annual losses in yield (Savary et al., 2019).

Long-term selection and distribution of a limited number of highly productive genotypes have resulted in cultivated varieties are characterized by relatively low genetic diversity and loss of important genes for resistance to biotic and abiotic stresses. In this connection, there is a need to constantly search for new highly effective genes in the gene pool of wild relatives. But, the fast-ongoing evolution of pathogen populations and the long-term conventional breeding strategies put the success of phytopathogens resistance breeding program at risk.

The development of doubled haploid (DH) lines is a key stage in modern wheat breeding programs, as it enables rapid homozygotization of genetic material obtained through distant hybridization.

Thus at the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation (PBGI-NCSCI, Odesa) by the method of in vitro anther culture, a number homozygous DH lines of different genotypes of winter bread wheat with complex resistance to various types of rust and common bunt originating from wild relatives of wheat were obtained (Zambriborshch et al., 2024).

Marker-assisted selection (MAS) enables efficient tracking of resistance genes in varieties and breeding lines. Integration of the DH technology with MAS can effectively stack resistance genes and accelerate wheat improvement programs. Taking into consideration the importance of wheat cultivation for human consumption and the losses caused by phytopathogens, there is an urgent need for reducing the time required for the development of new varieties.

In this research, gene-specific STS-based molecular markers were used for characterization of the DH line.

The material for the study was 69 DH lines obtained from breeding lines of hybrids (F4–F5) provided by the Department of Phytopathology and Entomology of PBGI-NCSCI obtained on the basis of donors, the resistance of which comes from wild relatives of wheat (*Ae. cilyndrica*, *Ae. variabilis*, *T. erebuni*) (Babayants et al. 2015, 2021).

Identification of resistance genes in 69 DH wheat lines was carried out using STS markers: Sr24/Lr24-12 (*Lr24/Sr24*), *Xscm9* (1AL.1RS $Lr^{Amigo}/Sr^{Amigo}$ and 1BL.1RS *Lr26/Pm8/Yr9/Sr31*), csLV34 (*Lr34/Yr18/Sr57/Pm38*). Carrier lines, varieties and nearly isogenic lines provided by the USDA (http://www.ars-grin.gov) were used as positive controls for the corresponding resistance genes.

The $Lr^{Amigo}/Sr^{Amigo}$*/Pm17* genes localized in the 1AL.1RS translocation from *S. cereale* L., *Lr24*/*Sr24* genes localized in the 1BL.1BS-3AE#1L translocation from *Thinopyrum ponticum* Podp. were not detected in the studied DH lines.

The *Lr26, Yr9, Sr31* and *Pm8* genes localized in the 1BL.1RS translocation from *S. cereale* L. was detected in 28 out of 69 DH lines investigated. It is recognized as one of the most prevalent translocation in wheat cultivars of many countries, including Ukraine. the 1RS chromosome arm also harbors several genes could enhance the yield potential and wide range of environmental adaptability of wheat (Kumlay et al., 2003; Ren et al., 2012; Howell et al., 2014). The resistance genes *Lr26*, *Yr9*, and *Pm8* on the 1BL/1RS translocation from Petkus rye lost their effectiveness within a short time after the large-scale cultivation of varieties carrying 1BL/1RS over extensive areas (McIntosh et al., 1995; Parks et al., 2008). However, the stem rust resistance gene *Sr31*,

localized on this translocation, remains effective against all known races of stem rust except for race Ug99 (Kozub et al., 2021).

The locus with adult plant resistance genes *Lr34 /Yr18/Sr57/Pm38* are detected in 36 DH lines. The well-characterized pleiotropic gene cluster *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* provides partial, race-nonspecific resistance against multiple wheat pathogens, including all three rust species. Over the past century, this locus has been widely utilized in wheat breeding programs. Leaf tip necrosis serves as a visible phenotypic marker for *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* and is commonly used to assist selection. The gene encodes an ATP-binding cassette (ABC) transporter, which participates in plasma membrane remodeling and the transport of various substrates, notably the phytohormone abscisic acid (ABA) (Krattinger et al., 2009; Deppe et al., 2018). The resistance allele, *Lr34/Yr18/Sr57^res*, modifies ABA-mediated processes and promotes the accumulation of multiple antifungal phenylpropanoid metabolites (Krattinger et al., 2019; Rajagopalan et al., 2020).

*Lr34/Yr18/Sr57/Pm38*, and other multi-resistance loci such as *Lr67/Yr46/Sr5 Lr46/Yr29/Sr58* and *Sr2/Lr27/Yr30* have provided slow-rusting resistance for over 60 years and this loci are used as a complement to race-specific genes.

**ЛИФЕНКО С.П., НАРГАН Т.П., НАКОНЕЧНИЙ М.Ю., ЩЕРБИНА З.В.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, 65036, м. Одеса, вул. Овідіопольська дорога, 3, labinsort@ukr.net

## СУЧАСНІ МЕТОДИ В СЕЛЕКЦІЇ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ

Сформувавшись багато тисячоліть тому селекція, як наука зі створення сортів, і тепер, відіграє ключову роль у підвищенні врожайності рослин, які забезпечують продуктами харчування постійно зростаючий попит населення планети. Вплив різних екологічних викликів, таких як зміна клімату, деградація ґрунтів, виникнення нових хвороб і шкідників та швидке їх розповсюдження, загрожують продовольчій безпеці. Тому, метою селекційних програм залишається створення сортів з високими сталими врожаями та мінімальною залежністю від пошкоджуючого впливу середовища.

Найбільш поширеними у світі є традиційні методи класичної селекції, які включають гібридизацію, різноманітні схеми схрещувань і методи добору, оцінки стійкості до збудників хвороб та абіотичних чинників середовища, визначення якості тощо протягом багатьох років. Серед маси гібридних популяцій виділяються одиниці, де можна дібрати нащадки 6-8 поколінь з бажаними ознаками. Створення сортів сільськогосподарських культур, зокрема, озимої м'якої пшениці, класичним методом – це тривалий процес, який вимагає багато часу і зменшує приріст урожайності за рахунок накопичення генетичних мутацій із кожним наступним поколінням. Тому, сучасна селекція рухається у напрямі розробки і використання більш ефективних методів, які б зменшили кількість досліджуваного матеріалу, значно скоротили би тривалість селекційного процесу.

Для пришвидшення селекції пшениці дедалі більшого значення набувають ДНК-технології, важливим аспектом яких є детальна характеристика генетичного різноманіття використовуваного матеріалу для впровадження технологій, що базуються на аналізі поліморфізму ДНК. Значного розповсюдження набула маркер-асоційована селекція MAS. У порівнянні з іншими сільськогосподарськими культурами, пшениця (*Triticum aestivum L.)* характеризується значним розміром і складністю геному. Докладено багато зусиль, щоб встановити генетичну зумовленість важливих селекційних ознак пшениці з використанням MAS-технології (Сиволап Ю.М., 2013; Khan H., 2019). За допомогою маркерів, які виявляють генетичні варіації, пов'язані з цінними агрономічними властивостями рослин, отримано можливість добору за потрібними ознаками. Розроблено молекулярні маркери, включаючи мікросателіти, прості повторні послідовності (SSR), вставки-делеції (InDels) та однонуклеотидні поліморфізми (SNP). Основною метою молекулярних маркерів є картування та ідентифікація генів та генетичних систем. Ця техніка сприяє швидкому та точному добору рослин з наявністю необхідних алелів, що значно скорочує та прискорює процес селекції. Важливим для якої є використання методу SNP. Аналізуючи генетичні зв’язки за допомогою дослідження асоціацій генів у масштабі всього геному, можна встановити ділянку розміщення локусів кількісних ознак (QTL), пов’язаних з генами важливих господарських ознак.

Все більшого застосування набуває редагування геному, використання якого серед злакових культур вперше було продемонстровано на пшениці *T. aestivum.* Через високу ефективність у досягненні поставленої мети, метод швидко поширюється у світі, що відкриває значні можливості у редагуванні генів, що кодують важливі ознаки пшениці. Проте, редагування саме у *T. aestivum* може спричинити появу великої кількості гомозиготних, гетерозиготних і химерних мутантів через те, що геном пшениці складається з трьох різних субгеномів A, B і D. Результати багатьох досліджень свідчать про успішне застосування CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) технології для зміни чи коригування генів важливих та господарськ цінних ознак, таких як врожайність, якість зерна, стійкість до посухи, хвороб, та ін. ( Kim D. et. al. 2018; Zafar S. et. al., 2022).

Актуальним напрямом сучасних молекулярних біотехнологій культурних рослин, зокрема злакових, є вивчення та використання регуляторних механізмів експресії генів на основі РНК-інтерференції (RNA interference, RNAi). Цей підхід став потужним інструментом

для функціонального аналізу ролі окремих генів у системі генетичного контролю та передачі сигналів, пов'язаних із розвитком і стресовими реакціями. Одним із важливих застосувань технології RNAi у пшениці є підвищення її стійкості до патогенних організмів і шкідників.

Широко залучаються в селекцію методи культури *in vitro*, яка є основою різних сільськогосподарських біотехнологій, зокрема клонального розмноження та оздоровлення рослин, використовування у селекції культури *in vitro* незрілих зародків для подолання прогамної та постгамної несумісності при віддаленій гібридизації, гаплоїдних технологій, клітинної селекції і мутагенезу *in vitro* тощо.

Отже, сучасні методи зосереджені на визначенні оптимальних комбінацій алелів або гаплотипів, генних мереж та специфічних локусів у геномі для подальшої стратегії селекції. Інтеграція передових біотехнологічних методологій дозволила проводити ефективну селекцію шляхом вдалого поєднання генотипових та фенотипових ознак, що сприятиме створенню рослинних генотипів з комплексом бажаних ознак у скорочені терміни.

У лабораторії селекції інтенсивних сортів пшениці СГІ – НЦНС робота ведеться переважно класичними методами. Проте, для оцінки вихідного матеріалу використовується метод ПЦР-аналізу. За співпраці з фахівцями відділу загальної та молекулярної генетики СГІ – НЦНС проаналізовано сорти селекції лабораторії, а також вихідний матеріал озимої м'якої пшениці та ідентифіковано гени стійкості до хвороб: борошнистої роси (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. tritici March.), листкової (*Puccinia triticina* Erikss. & Henn.), стеблової (Puccinia graminis sp. tritici Erikss. & Henn.) та жовтої (*Puccinia striiformis* West.) іржі, септоріозу пшениці (*Septoria tritici* Rob. ex Desm.).

Для розширення генетичної мінливості селекційного матеріалу в СГІ – НЦНС до гібридизації активно залучаються генетично віддалені батьківські форми. Високий бар'єр несумісності батьків спричиняє низький відсоток зав'язування насіння такими гібридами. Для подолання постгамної несумісності на базі лабораторії культури тканин СГІ – НЦНС використовують метод *embryo rescue*, який передбачає виділення та культивування гібридного зародка в умовах *in vitro* та дозволяє максимально зберегти життєздатність утворених поліморфних варіантів генотипів пшениці для подальшого їх використання в селекції. Отримання подвоєних гаплоїдів рослин пшениці методом культурі *in vitro* ізольованих пиляків використовується для створення лінійного матеріалу озимої м'якої пшениці з комплексною стійкістю до патогенів. Так, дигаплоїдна лінія Ер. 1582/16 з комплексною стійкістю до поширених хвороб та поєднанням оптимальних етапів онтогенезу активно залучалася у процеси гібридизації, й матеріал створений на її основі проходить заключні етапи селекції.

Отже, застосування сучасних молекулярно-генетичних та біотехнологічних методів у селекції пшениці дозволяє прискорити створення високопродуктивних і стійких до стресових факторів сортів. Це відкриває нові можливості для підвищення урожайності та забезпечення продовольчої безпеки.

**Lyfenko S.P., Nargan T.P., Nakonechnyi M.Yu., Shcherbyna Z.V.**
Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, 65036, Odesa, Ovidiopolska doroga, 3, labinsort@ukr.net

## MODERN METHODS IN WINTER BREAD WHEAT BREEDING

Some of the wide range of new breeding methods that are of great importance for improving the efficiency and acceleration of the breeding process are shown. Modern methods focus on identifying optimal combinations of alleles or haplotypes, gene networks, and specific genomic regions for strategic breeding. The integration of advanced biotechnological methodologies has allowed for effective breeding through the successful combination of genotypic and phenotypic traits which contributes to the creation of crop genotypes with a set of desired traits in a short time.

It is indicated what methods are used by breeders of the laboratory for breeding intensive wheat varieties of PBGI – NCSCI to increase the efficiency of the breeding process.

**МОЦНИЙ І.І., НАРГАН Т.П., ГОЛУБ Є.А., СОЛОДЕНКО А.Є.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, 65036, Україна, e-mail: motsnyyii@gmail.com

## СЕЛЕКЦІЯ НА СТІЙКІСТЬ ДО ХВОРОБ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ІНТРОГРЕСИВНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ

Наразі, через порушення економічної та екологічної стабільності в Україні на тлі глобальних змін клімату та війни, зниження урожаїв та погіршення якості зерна пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.), особливого значення набуло підвищення стійкості рослин до поширених хвороб. Втрати урожаю від ураження фітопатогенами може сягати 15–35 %. Використання у виробництві стійких до хвороб сортів дозволяє отримувати високі сталі врожаї з незначними витратами на хімічний захист рослин, а також звести до мінімуму негативний вплив на довкілля.

Чинниками низької результативності селекції у цьому напрямку є зокрема незначна внутрішньовидова мінливість пшениці, часто негативний кореляційний зв'язок між ознаками продуктивності та стійкості, а також велика частка екологічної дисперсії, що створює певні труднощі при доборі, особливо на ранніх етапах селекційного процесу, гібридних рослин, які мають генетичні переваги за тим чи іншим показником на фоні фенотипової мінливості.

Зважаючи на те, що практичною селекцією майже вичерпано можливості внутрішньовидової мінливості, перспективним напрямом є залучення нових генетичних джерел господарсько-цінних ознак, створених шляхом віддаленої гібридизації пшениці з її дикорослими та культурними родичами. Як першоджерела цінних ознак застосовуються віддалені види: *Ae. tauschii, T. dicoccum, T. militinae, T. timopheevii*. У СГІ–НЦНС шляхом складних ступінчастих схрещувань сучасних сортів з оригінальними примітивними інтрогресивними лініями, колекційними зразками, штучними видами пшениці, амфіплоїдами та елітними синтетиками за участі *Aegilops tauschii* Coss. та подальшої серії самозапилень з перманентним індивідуальним добором матеріалу на наявність чужинних ознак стійкості до поширених хвороб та морфології колоса і рослини створено 649 удосконалених інтрогресивних ліній типу пшениці м'якої озимої. Метою дослідження було вивчення агрономічних ознак та стійкості до основних хвороб у інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої в умовах Південного Степу України.

Дослідження проводили протягом 2016-2024 рр. у СГІ–НЦНС, розташованому у Південно-Західному степу України (м. Одеса). Пріоритетом дослідження була стійкість до борошнистої роси (*Blumeria graminis* (DC) Speer f. sp. *tritici* March.), листкової (*Puccinia triticina* Erikss. & Henn.) і жовтої (*Puccinia striiformis* West.) іржі, септоріозу листя (*Septoria tritici* Rob. ex Desm.), яку вивчали на їх природному фоні у весь період дослідження ліній. Хімічний захист посівів не проводився. Стійкість до стеблової іржі (*Puccinia graminis* sp. *tritici* Erikss. & Henn.) оцінювали додатково на штучному інфекційному фоні в карантинному розсаднику відділу фітопатології та ентомології СГІ–НЦНС. Ступінь ураження дорослих рослин визначали уніфіковано для всіх хвороб в період максимального їх розвитку за інтегрованою 9-бальною шкалою, розробленою на основі модифікованої шкали Саарі і Прескотта. Отримані дані аналізували за допомогою програми STATISTICA.

Зіставлення результатів щорічних обліків виявило значну варіацію ступеню враження одних і тих же ліній тією ж самою хворобою в залежності від року дослідження. Очевидно, це обумовлено змінами расового складу популяцій патогенів, що підтверджується свідченнями фітопатологів, і наявністю в матеріалі неідентифікованих малоефективних расоспецифічних генів стійкості. Низька кореляція між одержаними в різні роки оцінками реакції ліній на жовту іржу, крім того, може бути пов'язана з нерівномірним характером прояву хвороби і недозараженням окремих частин поля. Зовсім інша тенденція спостерігалась стосовно стеблової іржі, де інтрогресивні лінії в найбільшій мірі різнилися в залежності від генотипу, а їх бальні оцінки стійкості найменше залежали від умов року, що очевидно обумовлено штучним інфекційним фоном хвороби з приблизно однаковим

інфекційним навантаженням і расовим складом в різні роки. В усі роки дослідження спостерігалась схожа картина: найбільше виділялось ліній, стійких до листкової іржі. Також, досить багато було ліній з помірною стійкістю (на рівні 6-7 балів) до жовтої іржі, в той час як лінії з високою (8-9 балів) або помірною (6-7 балів) стійкістю до стеблової іржі виділялися з високою частотою лише в окремі роки (сезони 2018/19 і 2020/21 рр.). Очевидно, це обумовлено успішним перенесенням в геном пшениці генів стійкості до листкової або жовтої іржі від усіх першоджерел, залучених до гібридизації. Всього 7 ліній (PIL686R17, PIL688R17, PIL578PH16 та ін.) з усіх перевірених за роки дослідження перевищували показники стандартів. За іншими господарсько-цінними ознаками досліджені лінії часто були високорослими, пізньостиглими, схильними до вилягання. Їх зовнішній вигляд суттєво погіршений присутністю генетичного матеріалу *Ae. tauschii* та інших видів. У випадку короткої селекційної історії ліній (2-3 схрещування з сучасними сортами), матеріал, в основному, зберігає високу стійкість до хвороб та наявність чужинних морфологічних ознак але характеризується непривабливим габітусом (загальна оцінка 2-3 бали) та низькою продуктивністю. При 3-4 схрещуваннях з сучасними сортами стійкість до хвороб та морфологічні ознаки егілопса частково втрачаються, зовнішній вигляд (загальна оцінка 3-4 бали) та продуктивність ліній дещо покращуються. Досить привабливими стосовно зовнішнього вигляду та продуктивності лінії стають лише після 5-6 схрещувань з культурними сортами. Як правило, при такій довгій селекційній історії зберегти вдається лише чужинні ознаки, що контролюються одним домінантним геном.

Загалом за роки дослідження 16,3 % ліній перевершували стандарти за окремими агрономічними ознаками (урожайністю, масою 1000 зернин, вмістом білка) або їх комплексом і при цьому зберегли деякі цільові чужинні ознаки, головним чином, стійкість до хвороб. Кращі з них (7,4 % від загальної кількості) були передані у вищі ланки селекційного процесу. Як правило, інтрогресивні лінії з високою стійкістю до кількох захворювань та лінії з морфологічними ознаками інших видів (опушення або забарвлення органів рослини, відсутність воскового нальоту та ін.) характеризувались низькою продуктивністю і не увійшли до переліку кращих. У результаті проведених досліджень виділено 11 селекційних ліній з груповою стійкістю до борошнистої роси та видів іржі, високими значеннями маси 1000 зернин, вмісту білка і врожайності, які позбавлені негативних якостей дикорослих видів, пристосовані до вирощування на півдні України і можуть бути використані як вихідний матеріал для селекції пшениці.

**Motsnyi I., Nargan T., Golub E., Solodenko A.**
Plant Breeding & Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, Ukraine, 65036, Odesa, Ovidiopolskaya doroga, 3, e-mail: motsnyyii@gmail.com

## BREEDING FOR DESEASE RESISTANCE WITH USING THE INTROGRESSION WINTER BREAD WHEAT LINES

The study is devoted to investigate the agronomic traits and resistance to the main diseases of bread wheat lines created by the method of wide hybridization of wild relatives with modern cultivars, in arid conditions of the Southern Steppe of Ukraine. As a result of crosses of various original sources of alien traits with modern wheat cultivars, the introgression lines with alien genetic complexes for disease resistance, high protein content and morphological characters were developed. Eleven donor lines with the resistance to diseases, high indicators of weight of 1000 kernels, protein content, productivity and drought resistance were selected for further breeding work.

**ОЧКАЛА О.С.[1] , БУШУЛЯН М.А.[1] , ВАСИЛЬЄВ О.А.[1], КУР'ЯНІНОВ Є.Л.[2]**
1 Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН України, Овідіопольська дорога, 3, м. Одеса, Україна, *e-mail: phyto_lab@ukr.net
2 Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса, вул. Всеволода Змієнка,2.

## ВАЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ ПОЛЬОВИХ ШТУЧНИХ ІНФЕКЦІЙНИХ ФОНІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СТІЙКОСТІ ГОРОХУ (*PISUM SATIVUM* L.) ДО ФУЗАРІОЗНОГО В'ЯНЕННЯ

Горох (*Pisum sativum* L.) є однією з найважливіших зернобобових культур, що відіграє критичну роль у продовольчій безпеці та сталому землеробстві. Його здатність фіксувати атмосферний азот робить його незамінним компонентом у сівозмінах. Проте, урожай гороху значно страждає від грибкових хвороб, зокрема від фузаріозу. Ефективна боротьба з цим захворюванням залежить від впровадження генетично стійких сортів. Процес селекції на стійкість є тривалим і вимагає об'єктивної оцінки генотипів. У цьому контексті **польові штучні інфекційні фони** (ШІФ) стають незамінним інструментом, що дозволяє не лише прискорити селекційний процес, а й отримати достовірні результати в умовах, максимально наближених до реальних. Основна мета польових ШІФ — забезпечити стабільне і високе зараження рослин по всій дослідній ділянці, що дозволяє точно оцінити реакцію кожного зразка. Відбирається ізольована в просторі ділянка, якій можна штучно створити високу концентрацію патогену.

Виділяються найбільш агресивні штами *Fusarium*, які культивуються на зерновому субстраті (наприклад, пшениця чи ячмінь) або на рідкому поживному середовищі. Заражений субстрат вноситься в ґрунт в рядки під час посіву або рівномірно розподіляється по всій ділянці, концентрованою споровою суспензією проводиться зараження насіннєвого матеріалу. Для посилення патогенезу використовуються агротехнічні методи, що імітують стресові фактори: надмірний полив у певні фази розвитку, внесення додаткових доз добрив або, навпаки, їх обмеження. Це дозволяє проявитися прихованій стійкості та оцінити генотипи в умовах, які часто спостерігаються у реальному землеробстві.

Польовий ШІФ дозволяє оцінити стійкість генотипів не лише до одного патогену, а й до комплексу інших факторів (збудників хвороб, шкідників, абіотичних стресів), що діють на рослину одночасно. Це дає змогу виділити генотипи з комплексною стійкістю, які будуть стабільними в реальних умовах . На відміну від природного інфекційного фону, інтенсивність якого може коливатися від року до року, ШІФ гарантує стабільне і високе ураження. Це дає можливість отримати достовірні дані за один-два вегетаційні періоді.

Всі дослідні зразки знаходяться в однакових умовах зараження, що усуває випадкові фактори, які можуть спотворити результати. Такий підхід мінімізує похибку і дозволяє точно порівнювати стійкість різних генотипів. Для об'єктивної оцінки стійкості рослин на польовому використовуються кількісні та якісні показники:

- Візуальна оцінка ураження - застосовуються шкали ураження, де оцінюється ступінь в'янення, гниття кореневої шийки та ураження насіння. Оцінка проводиться на різних етапах вегетації.
- Індекс розвитку хвороби - обчислюється як співвідношення уражених і здорових рослин.
- **З**береження врожаю - оцінка стійкості також базується на збереженні врожайності. Стійкі зразки повинні мати значно менші втрати врожаю порівняно з нестійкими контролями.

Отже, створення польових штучних інфекційних фонів є незамінною складовою успішної селекції гороху на стійкість до фузаріозу. Використання даного методу дозволить не лише прискорить процес створення нових сортів, а й значно підвищить надійність та об'єктивність оцінки. Польові ШІФ дають можливість оцінити генотипи в епіфітотійних умовах, враховуючи комплексний вплив агротехнічних та біотичних факторів. Завдяки цьому

можна відбирати генотипи, що забезпечать стабільну врожайність та високу якість продукції в умовах реального виробництва.

**Ochkala O.[1], Bushulyan M.[1], Vasiliev O.[1], Kuryaninov E.[2]**
1 Plant breeding and genetics institute – National center of seed and cultivar investigation, Ovidiopolska doroga Str. 3, Odesa, Ukraine, 65036,
*e-mail: phyto_lab@ukr.net
2 Odesa I.I. Mechnikov National University, Vsevoloda Zmiienka Str, 2, Odesa, 65082,
*e-mail: eugenkuryaninov@gmail.com

## THE IMPORTANCE OF CREATING FIELD-BASED ARTIFICIAL INFECTION BACKGROUNDS FOR STUDYING THE RESISTANCE OF PEAS(*PISUM SATIVUM* L.) TO FUSARIUM WIILT

This thesis explores the critical role of creating artificial infection backgrounds (AIBs) in the selection of fusarium-resistant pea varieties. The study argues that this method is essential for reliable and objective evaluation, unlike relying solely on unpredictable natural infection. It details the methodology for creating AIBs, which involves isolating aggressive pathogen strains and maintaining controlled environmental conditions to maximize disease development. This approach guarantees a stable and high disease pressure, allowing for precise comparisons between different pea genotypes. Consequently, AIBs enable the identification of hidden resistance traits and significantly shorten the breeding cycle. The findings emphasize that AIBs are an indispensable tool for developing new, stable, and high-yielding pea varieties.

**ПІРКО Я.В.[1], КОЗУБ Н.О.[1,2], КАРЕЛОВ А.В.[1], СОЗІНОВА О.І.[1,2], РАБОКОНЬ А.М.[1], ШИША О.М.[1], БЛЮМ Р.Я.[1], КВАСКО А.Ю.[1], СОЗІНОВ І.О.[2], ЄМЕЦЬ А.І.[1], БЛЮМ Я.Б.[1]**

[1] ДУ «Інститут харчової біотехнології і геноміки НАН України», вул. Байди-Вишневецького, 2А, Київ, 04123, email: office.ifbg@nas.gov.ua

[2] Інститут захисту рослин НААН України, вул. Васильківська 33, Київ, 03022, email: plant_prot@ukr.net

## СТВОРЕННЯ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ З ГЕНОМ СТІЙКОСТІ ДО СТЕБЛОВОЇ ІРЖИ *SR2*

Стеблова іржа пшениці, збудником якої є гриб *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, належить до найбільш загрозливих захворювань цієї культури. Одним із головних напрямів боротьби з потенційними епіфітотіями є створення нових сортів пшениці з ефективними генами стійкості, зокрема *Sr*-генами. У сучасному селекційному процесі активно використовуються гени дорослої помірної стійкості (APR). Ці гени забезпечують довготривалий захист, хоча на відміну від расоспецифічних генів їх дія проявляється лише на пізніх етапах онтогенезу.

Серед APR-генів особливе значення має *Sr2* (*Sr2/Lr27/Pbc*) – ген, що надає стійкість до різних рас збудника стеблової іржі, а також певний рівень расоспецифічної резистентності до бурої іржі. Історично *Sr2* був інтегрований у геном м'якої пшениці зі стародавнього сорту полби 'Yaroslav' (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) ще у 1920-х роках, про що вперше повідомив McFadden у 1930 році. Результатом цієї інтрогресії став сорт 'Норе'.

Морфологічним маркером присутності гена *Sr2* є прояв ознаки «псевдочорні луски» (*pseudoblack chaff*, PBC), однак її ідентифікація в умовах польових досліджень не завжди є надійною. Тому для підтвердження присутності *Sr2* активно використовують SCAR-маркер *csSr2*, який виявляє алельний стан за SNP на основі наявності сайту рестрикції ферментом BspHI з точністю приблизно 95%.

Оскільки українські озимі сорти пшениці не мають *Sr2*, перенесення цього гена з ярих донорів в озимі лінії є актуальним завданням. Було використано SCAR-маркер *csSr2* для аналізу ярих ліній канадського походження (DK20, DH31, RL5711, RL6089, 35H2-3), низки канадських ярих сортів, сортів-дворучок та озимих сортів пшениці. Було показано, що сорти 'Соломія, Хуторянка, Мирхад, лінії RL6087, DK20 і RL5711 мають алель чутливості, тоді як ярі сорти 'Renown', 'Pembina' та 'Selkirk' – алель стійкості. Сорт Samurai має нуль-алель, що також є алелем чутливості.

Серед озимих ліній пшениці, створених із залученням канадського матеріалу, в польових умовах було виявлено генотипи з проявом фенотипу PBC. Наявність у них гена *Sr2* було підтверджено хза допомогою молекулярно-генетичного аналізу з використанням маркера csSr2. Із загальної кількості протестованих ліній пшениці, створених у результаті схрещування ярих канадських генотипів з озимим сортом 'Samurai', приблизно 60% виявилися носіями *Sr2*. У таких зразках був визначений алель стійкості: фрагмент ДНК довжиною 337 пар нуклеотидів після рестрикції BspHI розщеплювався на три фрагменти: 53 п.н., 112 п.н. та 175 п.н. Один зразок мав чутливий алель, у якого той самий фрагмент розщеплювався на два: 112 п.н. та 225 п.н.

Таким чином, у ході дослідження було створено нові озимі генотипи пшениці з *Sr2*, отримані шляхом схрещування ярих ліній – носіїв *Sr2* – з озимим сортом. Ці лінії можуть бути залучені до селекційних програм вітчизняних науково-дослідних установ, які працюють над покращенням фітосанітарного статусу пшениці в Україні. Отримані результати є цінними для подальшої селекційної роботи, спрямованої на створення озимих сортів пшениці, стійких до стеблової іржі, що має важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки України.

*Робота виконана в рамках проєкту НФДУ 2021.01/0313 «Створення генотипів пшениці м`якої з генами стійкості проти високопатогенних рас стеблової іржі з*

*використанням молекулярних маркерів як запорука харчової безпеки України» (2023-2025, ДР№ 0123U102941).*

**Pirko Y.V.[1], Kozub N.O.[1,2], Karelov A.V.[1], Sozinova O.I.[1,2], Rabokon A.M.[1], Shysha O.M.[1], Blume R.Y.[1], Kvasko A.Yu.[1], Sozinov I.O.[2], Yemets A.I.[1], Blume Y.B.[1]**
[1]Institute of Food Biotechnology and Genomics NAS of Ukraine, Baidy-Vyshnevetskoho St. 2A, Kyiv, 04123, email: office.ifbg@nas.gov.ua
[2]Institute of Plant Protection of NAAS of Ukraine, Vasylkivska St. 33, Kyiv, 03022, email: plant_prot@ukr.net

## DEVELOPMENT OF WINTER BREAD WHEAT LINES WITH THE STEM RUST RESISTANCE GENE *SR2*

The study presents the results of development of winter bread wheat lines with the stem rust resistance gene *Sr2*. The lines derive from crossing Canadian spring genotypes carrying *Sr2* with the winter cultivar Samurai. The PBC phenotype detected in the field indicated the presence of *Sr2*. The molecular genetic analysis using the *csSr2* marker confirmed the presence of *Sr2* in the spring Canadian varieties and revealed that approximately 60% of lines derived from the above cross with Samurai carry the resistance allele. The winter lines with *Sr2* can be used in breeding programs aimed at developing winter wheat varieties with enhanced resistance to *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, which is an important step toward strengthening Ukraine's food security.
**Keywords:** stem rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, wheat, *Sr2*, APR, SCAR marker csSr2, PBC, breeding, winter varieties, resistance

**ПОГРЕБНЮК О.О., ФАЙТ В.І., ГОЛУБ Є.А.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, м. Одеса, Овідіопольська дорога 3, 65036, Україна, e-mail: elena3595@ukr.net

## СТВОРЕННЯ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТИПУ РОЗВИТКУ

Стійкість до посухи завжди була однією з головних цілей селекційних програм для посушливих умов південного регіону нашої країни. З огляду на сучасні кліматичні зміни, зокрема підвищення зимових температур, майже повну відсутність морозних днів і снігових опадів, а також зменшення кількості осінніх опадів, що веде до суттєвого дефіциту вологи в орному шарі ґрунту у період сівби озимих культур, актуальність цієї мети значно зросла. Такі умови ускладнюють отримання своєчасних і рівномірних сходів озимої пшениці. У зв'язку з цим виникає необхідність перегляду селекційної стратегії та розробки нових сортів, здатних реалізовувати адаптивні реакції за альтернативними механізмами, відмінними від тих, що наразі домінують у виробництві.

Одним з шляхів в цьому напрямі може бути створення сортів дворучок. Дворучки, які ще називають перехідними, альтернативними, факультативними сортами – це генотипи, що здатні розвиватися та переходити до генеративного розвитку як при весняному, так і при осінньому посіві. Пшениця дворучка в Україні вирощується, в основному, по типу озимої в районах з м'якою зимою. На Півдні України дворучки більш раціонально використовувати для пізніх осінніх і зимових посівів, у роки з тривалою посухою восени.

Особливістю дворучок є висока чутливість до скорочення тривалості дня та ярий тип розвитку. Значна затримка розвитку типових дворучок в осінній період зумовлена взаємодією домінантного гена *Vrn-B1a з* рецесивними алелями *Ppd-A1b, Ppd-B1b* і *Ppd-D1b*. Ген *Vrn-B1a* значно уповільнює розвиток рослин за умов довгого, а особливо короткого світлового дня, що призводить до меншого впливу на зниження морозостійкості порівняно з іншими генами ортологічної групи *Vrn-1*, що свідчить про його високу ефективність в селекції пшениць дворучок.

Вихідний матеріал для селекції пшениць дворучок було створено методом бекросів де в якості донора гену ярого типу розвитку *Vrn-B1a* використовували майже ізогенні лінії за вказаним геном сильно чутливих до фотоперіоду сортів Миронівська 808 (Миронівська 808-*Vrn-B1a*) і Одеська 16 (Одеська 16-*Vrn-B1a*) та моногенно домінантні за геном *Vrn-B1a* сорти ярої пшениці різного походження: чутливий до фотоперіоду сорт Goudveld і нечутливі до фотоперіоду сорти Яра, Палада (носії гену *Ppd-D1a*) та Norin 29 (*Ppd-B1c*). В якості рекурентного батька використовували стародавній високорослий та сильно чутливий до фотоперіоду сорт Чайка і більш сучасні короткостеблові та нечутливі до фотоперіоду сорти носії гена *Ppd-D1a*: Куяльник, Антонівка, Гурт, Лановий, Небокрай, Наснага, Доброчин, Віген.

Пари для схрещування підбирали з урахуванням фенотипових відмінностей батьків за типом розвитку та реакцією на зміну тривалості дня (озимий високочутливий / ярий нечутливий або озимий нечутливий / ярий високочутливий) або з урахуванням фенотипових відмінностей батьків за типом розвитку і генотипових відмінностей батьків за чутливістю до фотоперіоду (озимий нечутливий (*Ppd-D1a*) / ярий нечутливий (*Ppd-B1c*)). В останньому випадку можливо отримати ярі високочутливі до фотоперіоду генотипи внаслідок контролю фотоперіодичної чутливості у батьків з неалельними генами *Ppd-1*. Всього було одержано насіння $F_1$ 35 комбінацій схрещування.

В кожній комбінації схрещування одержано насіння $F_1$ з трьох-чотирьох колосків. Рослини гібридів першої генерації (з кожного колосу окремо) насичували пилком відповідного озимого сорту. На протязі наступних трьох поколінь для посіву весною у кінці квітня використовували не яровизоване насіння, а рослини вирощували на вегетаційному майданчику. В поколінні $BC_1$ рослини по факту колосіння або його відсутності були розподіленні на ярі та озимі генотипи. У поколінні $BC_1I_1$ здійснювався добір за строками

колосіння – були відібрані ліній ярого типу розвитку з пізнім терміном колосінням. У наступному поколінні $BC_1I_2$ проведено повторний добір константних за строками колосіння пізніх ліній ярого типу розвитку.

У 2024 та 2025 роках проводилась польова оцінка рослин поколінь $BC_1I_3$ і $BC_1I_4$, висіяних восени у рекомендовані строки для озимої пшениці (15.10.2023 і 28.10.2024). Висів здійснювали на дворядкових ділянках довжиною 1 м з площею живлення однієї рослини 5×30 см². У сезон 2023–2024 років було вибраковано всі лінії, що демонстрували явні ознаки ураження листостебловими хворобами, значно перевищували за висотою стандартні сорти Антонівка та Куяльник, або проявляли розщеплення хоча б за однією з ознак: тривалість періоду до колосіння, висота рослин, наявність чи відсутність остюків. В умовах сезону 2024/2025 років гомозиготні за типом розвитку нащадки покоління $BC_1I_4$ були залучені до подальших досліджень їх господарсько-цінних ознак при осінньому посіві, з акцентом на тривалість періоду до колосіння та висоту рослин.

В процесі досліджень встановлено суттєву варіабельність лінії аналогів типу дворучок м'якої пшениці за показниками строк колосіння (від 5 до 26 травня) та висота рослин (від 70 до 147 см). Коефіцієнт варіації CV ліній за часом колосіння складав 29, а за висотою рослин – 16 %. Показано достовірний вплив донора гена *Vrn-B1a* і генотипу рекурентного батька на обидві вказані ознаки. Суттєва частка скоростиглих ліній була одержана за участі рекурентного сорту Куяльник (12,2 діб) і сорту донора алеля *Vrn-B1a* Norin 29 - 11,4 діб, а більш пізні – сортів Чайка (19,7 діб) і Палада (19,8 діб) відповідно.

Високорослі лінії були отримані за участі сорту Чайка (101 см), тоді як низькорослі — на основі сорту Віген (92 см). Сорти-донори гена *Vrn-B1a* Яра, Палада сприяли формуванню ліній з висотою рослин до 119 см, тоді як майже ізогенна лінія сорту Одеська 16 - біля 91 см. При цьому фенотипова кореляція між висотою рослин і тривалістю періоду до колосіння виявилася відсутньою як у загальному наборі ліній (r = 0,04), так і в групах, створених на основі озимих сортів Чайка, Куяльник, Антонівка, Гурт, Лановий, Небокрай, Наснага, Доброчин, Віген (r = 0,00–0,12). За результатами оцінки відібрано 187 гомозиготних за строками колосіння середньо- та низькорослих ліній, що охоплюють діапазон від ранньостиглих до пізньостиглих, для подальшого випробування у селекційному розсаднику.

**Pogrebniuk O.O., Fait V.I., Holub Ye.A.**
Plant Breeding & Genetics Institute - National Center for Seed and Cultivar Investigation,
Ovidiopolska doroga, 3, Odesa, Ukraine, e-mail: elena3595@ukr.net

## THE CREATION OF WINTER BREAD WHEAT ALTERNATIVE-TYPE DEVELOPMENT STARTING MATERIAL

By crossing typical winter varieties and spring varieties of *Vrn-B1a* gene, contrasting in their sensitivity to photoperiod, $F_1$ hybrids were created from 35 cross combinations, on the basis of which, using the backcross method with the corresponding winter variety and sequential self-pollination, a number of analogue lines ($BC_1I_4$) of the double-handled winter varieties Chaika, Kuyalnik, Antonivka, Hurt, Lanovyi, Nebokrai, Nasnaga, Dobrochin, and Vigen. During field studies, 187 homozygous lines were selected for ear emergence and plant height, covering a wide range of values for these indicators for further testing in the breeding process.

**ПОЗНЯК О.В.[1], КОНДРАТЕНКО С.І.[2]**
[1] Дослідна станція «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН, вул. Незалежності, 39, с. Крути Ніжинського р-ну Чернігівської обл., 16645, e-mail: olp18@meta.ua
[2]Інститут овочівництва і баштанництва НААН. вул. Інститутська, 1, сел. Селекційне Харківського р-ну Харківської обл., 62478, e-mail: konf-dsmayak@ukr.net

## ЛІНІЇ *CYPERUS ESCULENTUS* L. СЕЛЕКЦІЇ ДОСЛІДНОЇ СТАНЦІЇ «МАЯК» ІОБ НААН – ЦІННИЙ ГЕНОФОНД ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СЕЛЕКЦІЙНИХ ПРОГРАМАХ

Смикавець їстівний, або чуфа (*Cyperus esculentus* L.) – єдиний культурний вид роду *Cyperus* – харчова, олійна, крохмаленосна рослина із родини Осокових (Cyperaceae). Має високі цілющі і дієтичні властивості. Бульби за смаком нагадують лісовий горіх, вживаються сирими і у перероблену вигляді. Вони мають тверду оболонку, хрусткий м'якуш, солодкі, мають приємний мигдальний присмак. Харчова цінність висока: містять 20-25% жирної олії (ліпідів), 20-35% крохмалю, 12-28% цукрів і 5-9% білка. Споживають бульби як ласощі сирими, вареними, смаженими; їх перемелюють на борошно, з підсмажених виготовляють сурогати кави і какао. В кондитерській промисловості із бульб смикавцю їстівного готують спеціальні сорти печива і тортів, цукерок, халви та інших солодощів. З них виготовляють харчову олію, яка густіє за кімнатної температури, вона не поступається оливковій. Олію вживають безпосередньо в їжу, використовують в консервній промисловості, медицині, парфумерії, техніці (як мастило для інструментів точної механіки).

У процесі селекції та наукових експериментів створюється або виявляється велика кількість форм рослин, які не включаються до Державного Реєстру як сорти, що використовуються у виробництві, але є цінними як вихідний матеріал для селекції, наукових досліджень тощо. Ці форми рослин є об'єктами інтелектуальної власності, права на яку повинні бути захищені, а також національне надбання держави, яка повинна здійснити цей захист. Зразки, створені в науково-дослідних установах, з метою їх активного використання в селекційних та наукових програмах і надійного збереження в банку генетичних ресурсів рослин, реєструються в Національному центрі генетичних ресурсів рослин України.

До об'єктів інтелектуальної власності, створених на Дослідній станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН, належать дві лінії смикавця їстівного (чуфи): Кочівник та Бурштин України.

Лінії Кочівник та Бурштин України, створені в установі, після проведення експертизи зареєстровані в Національному центрі генетичних ресурсів рослин України у 2024 році. Лінія Кочівник створена методом клонового добору із гетерогенної популяції, походженням із Замбії, лінія Бурштин України – методом клонового добору із сорту Запас за ознакою «слабка інтенсивність коричневого забарвлення бульби».

Лінія Кочівник (№ Національного каталогу генбанку України UE1400009, Свідоцтво про реєстрацію зразка генофонду рослин України № 2558) характеризується урожайністю бульб 20,9 т/га, середня кількість бульб з однієї рослини 195 штук, середня маса бульб з однієї рослини 360,7 г; маса 100 товарних бульб 185,0 г.

*Морфолого ідентифікаційні ознаки.* Рослина за висотою середня (55 см), кількість листкових пучків (парцел) на рослину мала – 30 штук, габітус рослини напівпрямий. Кількість листків у пучку велика – 10-12 штук. Листки зеленого забарвлення помірної інтенсивності. За формою листкова пластинка лінійна. Довжина листкової пластинки 56 см, ширина 7-9 мм. Зубчатість і опушеність листка відсутні. Бульби округлої форми, довжиною 1,7 см і шириною 1,6 см (індекс форми 1,06), інтенсивність коричневого забарвлення бульб слабка. Горбкуватість на поверхні бульб наявна. Лінія вирізняється округлою формою бульб, слабкою інтенсивність коричневого забарвлення бульб та здатністю цвісти в умовах північного Лісостепу Україні (в окремі роки ступінь цвітіння сягає 100% рослин).

Лінія Бурштин України (№ Національного каталогу генбанку України UE1400010, Свідоцтво про реєстрацію зразка генофонду рослин України № 2557) характеризується урожайністю бульб 21,8 т/га, середня кількість бульб з однієї рослини 252 штук, середня маса бульб з однієї рослини 383,0 г; маса 100 товарних бульб 152,4 г.

*Морфолого ідентифікаційні ознаки*. Рослина висотою 46 см, кількість листкових пучків (парцел) на рослину середня – 120 штук, габітус рослини півпрямий. Кількість листків у пучку 6-8 штук. Листки зеленого забарвлення помірної інтенсивності. За формою листкова пластинка лінійна. Бульби видовжено-яйцеподібної форми, довжиною 2,2 см і шириною 1,3 см (індекс форми 1,69), інтенсивність коричневого забарвлення бульб слабка. Горбкуватість на поверхні бульб наявна.

Лінія вирізняється видовжено-яйцеподібною формою бульб у поєднанні зі слабкою інтенсивність їх коричневого забарвлення. Вегетаційний період обох ліній 150 діб.

Отже, методом клонового добору за модельованими ознаками бульб на Дослідній станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН створені дві лінії смикавця їстівного (чуфи) – Кочівник і Бурштин України, які після проведення науково-технічної експертизи зареєстровані в НЦГРРУ і рекомендовані для використання в селекційних програмах. Селекційна робота з оцінки вихідних форм, виділення джерел господарсько-цінних ознак та створення новітнього сортименту даного виду рослин в установі триває.

**Pozniak O.V.[1], Kondratenko S.I.[2]**
[1]Research station “Mayak” of Institute of Vegetable and Melons and of National Academy Agrarian Sciences of Ukraine, 39, Nezalezhnosti St., Kruty Village, Nizhyn District, Chernihiv Region, 16645, e-mail: olp18@meta.ua
[2]Institute of Vegetable and Melons and of National Academy Agrarian Sciences of Ukraine, 1, Instytutska St., Selektsiyne Village, Kharkiv District, Kharkiv Region, 62478, e-mail: konf-dsmayak@ukr.net

## *CYPERUS ESCULENTUS* L. LINES BREEDING AT THE RESEARCH STATION “MAYAK” IVM NAAS – A VALUABLE GENE FUND FOR USE IN BREEDING PROGRAMS

Annotation. Hufa Sedge (*Cyperus esculentus* L.), has high healing and dietary properties. In the process of breeding and scientific experiments, a large number of plant forms are created or discovered, which are valuable as raw material for scientific research. At the Research station “Mayak” of Institute of Vegetable and Melons and of National Academy Agrarian Sciences of Ukraine created two lines of this type of plants: Kochivnyk and Burshtyn Ukrayiny. The creation of the form provides valuable material for enriching the gene pool of Ukrainian crops and growing in breeding programs.

**РОЇК М.В.[1], КОВАЛЬЧУК Н.С.[1],ЗІНЧЕНКО О.А.[1], БЕХ Н.С.[1], ГРИЦИШИНА Л.Г.[2]**
[1] Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: natalakovalcuk461@gmail.com
[2] Ялтушківська дослідно-селекційна станція ІБКіЦБ НААН, с. Черешневе, Барський р-н, Вінницька обл., 23021, Україна *e-mail: vmv_dss@ukr.net

## СТВОРЕННЯ ГОМОЗИГОТНИХ МАРКОВАНИХ ЛІНІЙ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАПЛОІНДУКТОРІВ

Спосіб експериментального моделювання гіногенезу, що використаний нами для пошуку гаплоіндукторів і отримання домінантних гомозигот за щепленими генами *R+B+*, відрізнявся слідуючими методичними підходами:

- проводим схрещування диких видів буряків з антоціановим забарвленням гіпокотелю *R+; R+r-* і закріплювачами стерильності буряків цукрових, рецесивними гомозиготами, за зеленим забарвленням гіпокотелу *r-r-;*
- відбираємо гаплоїди і дигаплоїди за фенотипом дикого виду з домінантними щепленими генами *R+B+*, як наслідок експресії червоного забарвлення (*R+*) і формування вегетативних пагонів *(B+*), депонуємо в умовах *in vitro* і вкорінюємо в грунтових умовах
- стимуляція спонтанної поліплоїдизації і стабілізації рівня геному ліній гаплоіндукторів забезпечено в умовах *in vitro*, з приміненням цитофотометричних та цитологічних методів впродовж 2-3 циклів пасажу.

Гібридизація проведена в умовах групових ізоляторів з апоміктичними пилкостерильними лініями буряків цукрових (ЧС-0 і ЧС-І типу) та заміщених ліній і рецесивною ознакою забарвлення гіпокотелю *r-r-* за схемою:

*$F_1$♀ A3* ЧС І *B. vulgaris SXxzz r-r-* ЯДСС х ♂ *$BC_6S$ patula* ЧС ІІ, р.5 *R+ B+ 2n*
*$F_1$♀ A4* ЧС І *B. vulgaris SXxxzz r-r-* ЯДСС х ♂ *$BC_1S$* Греція А1:17р.2 *R+B+2n, №7*
*$F_1$♀ A5* ЧС І 22-12 *Beta vulgaris -Sxxzz r-r* ЯДСС х ♂*$F_1S$* Греція *R+B+ 2n, №2*

Облік за довжиною проростків і виділення гаплоїдів за методикою морфометричного аналізу проводили на 2-3 добу проростання гібридного насіння *F1*. Гаплоїдні проростки на третю добу були в чотири рази коротші і мали в два рази менший діаметр.

З використанням методик ацетоорсеїнового забарвлення хромосом досліджувалась плоїдність виділених проростків гаплоїдів. Особливістю раніше дослідженої міксоплоїдії при апозиготії є порушення мітотичного поділу навіть у вигляді політенії. Серед проаналізованого матеріалу спостерігали меристемні клітини з кількістю хромосом, що змінюються від 9, 13, 14, 18 хромосом. Мінливість за кількістю хромосом у проростків менше 5мм за морфометричними показниками інтерпретується особливістю мітотичного поділу і явищем міксоплоїдії. Отримане насіння *F1* визначалось за наявністю гаплоїдних і дигаплоїдних проростків відповідно основним положенням методики за морфометричними показниками і забарвленням гіпокотеля. Спостерігалась тенденція що до зменшення схожості насіння при високих показниках гаплоїдних проростків. Частота матроклінної гаплоїдії у селекційного номера ЧС 20-12 *B.vulgaris* ЯДСС Ап. р1 *Xzm r-b-* при низькій енергії проростання 45% мала ідентичне значення 45 шт. гаплоїдних проростків. Виділені гаплоїдні проростки за морфометричними показниками у апоміктичних потомств буряків цукрових, кількість яких змінювалась від 22% до 94%, залежно від генетичного походження матеріалу.

Таким чином, нова методика відрізняється від раніше розроблених способів індукції гаплоїдів у буряків цукрових:

- добір генотипів гаплоіндукторів, домінантних гомозигот за забарвленням гіпокотелю *R+B+R+B* і однорічного циклу розвитку на основі стерильних цитоплазм *Beta maritima і Beta patula*;
- опилення пилкостерильних ліній, отриманих за різними способами репродукції, гаплоіндукторами з червоним антоціановим забарвленням і однолітнім циклом розвитку;

- добір гаплоїдних проростків за умов дії гаплоіндукторів додатково проводиться на основі визначення довжини корінця проростків насіння гібридів *F1* на 2-3 добу проростання;
- культивування зародкових листочків *in vitro* і спонтанна поліплоїдизація відбувається на середовищі для клонального мікророзмноження завдяки міксоплоїдії клітинних популяцій зародкових листочків у буряків цукрових;
- для культивування гаплоїдних проростків, відбирають зародкові листочки, використовують середовище за прописом макро- і мікро- солей Гамборга з додаванням БАП - 0,3-0,6 мг/л, гібереліну - 100 мг.

За результатами проведених експериментальних досліджень з використанням генотипів гаплоіндукторів та пилкостерильних ліній Ялтушківської ДСС і апоміктичних ліній с ЦМС були виділені гомозиготні лінії, відібрані за рецесивним зеленим забарвленням гіпокотелю. Серед досліджуваних генотипів гаплоіндукторів міжвидові гібриди, домінантні гомозиготи за щепленими генами однолітнього циклу розвитку і забарвленням гіпокотелю за селекційними номерами: $F_1S$(Греція) №7 *2n* ЧС-ІІ тип *R+B+R+B+*; $BC_2S$ ГреціяА1:17р2 ЧС-ІІ тип *R+B+R+B+*; *F1S* Франція *R+*Ем / 1-7 ЧС-ІІ тип *R+B+ R+B+*.

Виділені за маркерним зеленим забарвленням гіпокотелю гомозиготної лінії в результаті схрещування з гаплоіндукторами з відсотковим значенням від 9,2% до 81,4%. Новий селекційний матеріал вкорінювали в грунтових умовах теплиці, а штеклінги переносили в польові умови. Безпилковий режим забезпечений в умовах групових ізоляторів. Показники роздільноквітковості у виділених *in vitro* дигаплоїдних ліній змінювались від 44,3 % до 60,0% і стерильності від 96,0% до 100%.

**Roik M.[1], Kovalchuk N[1]., Zinchenko O[1]., Bekh. N[1], Hrytsyshyna L[2].**
[1] Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, *e-mail: natalakovalcuk461@gmail.com
Yaltushkivska Experimental Breeding Station of the IBCSB NAAS, Chereshneve, Bar district, Vinnytsia region,*e-mail: vmv_dss@ukr.net

## DEVELOPMENT OF HOMOZYGOUS MARKED SUGAR BEET LINES WITH THE USE OF HAPLOINDUCTORS

A search was conducted for haploinductor lines among interspecific hybrids of sugar beet and wild species of the genus *Beta* L., including *Beta maritima*, *Beta patula*, and aposporous offspring of substituted monogerm pollen-sterile lines. Genotypes with haploinductor properties were selected for *in vivo* haploid differentiation by morphometric traits and for *in vitro* conversion to the dihaploid level. The initial material for the induction of homozygous lines consisted of monogerm pollen-sterile CMS lines with green hypocotyl coloration.

**SVITLAKOVA A.S.[1], VARENYK B.F.[1], KARAPIRA S.I.[1], HAIDASH O.L.[2], SOLODENKO A.Ye.[1]**

[1]Plant Breeding & Genetics Institute – National Center of Seeds and Cultivar Investigation, Ovidiopolska doroga St., 3, 65036, Odesa, Ukraine, alena_1410@ukr.net

[2]Institute of Grain Crops of the National Academy of Sciences of Ukraine, Vernadsky Volodymyr St., 14, 49009, Dnipro, Ukraine, a.gadash882ukr.net

## COMBINING ABILITY OF SUNFLOWER LINES RESISTANT TO SULFONYLUREA HERBICIDES IN THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE

Sunflower is the fourth most important oilseed crop in the world after soybeans, peanuts and rapeseed, and one of the most popular crops in Ukraine, accounting for one-fifth of all crops in the country. In the Southern Steppe of Ukraine, the main direction of sunflower breeding is the creation of high-yielding mid-early and mid-ripening hybrids, with oil content in seeds of 52−54%, resistant to heat, drought, lupus and downy mildew. One of the key tasks of modern sunflower breeding is to improve the effectiveness of protecting sunflower crops from weeds in arid regions of Ukraine. Conventional agronomic measures do not always ensure stable weed control, especially in the unstable moisture conditions of the Southern Steppe.

Combining ability is an important indicator of source material in plant breeding for heterosis. This trait is genetically determined and is inherited both in self-pollination and under various growing conditions. The success of heterosis sunflower breeding significantly depends on the creation, selection and evaluation of parental lines (forms). When creating high-yielding sunflower hybrids, the key objective is to identify components capable of providing high heterosis effects when crossbreeding. This is achieved by combining three main methodological approaches: inbreeding, combining ability assessment of inbred lines and selection of parental components in accordance with their high level of combining ability.

The goal of this study is determination of the general and specific combining ability of self-pollinated sunflower lines resistant to sulfonylurea herbicides in terms of seed yield under unstable moisture conditions in the Southern Steppe of Ukraine, with the aim of selecting donors adapted to water stress and forming highly productive hybrid combinations.

We studied 40 inbred sunflower lines. Marker-assisted selection technology was actively used to identify and select genotypes that carry alleles resistant to sulfonylurea herbicides. For creating studied lines, hybrids and lines of domestic and foreign selection were used, which are maintained and propagated in collection nurseries, including SURES-1 and SURES-2 lines that are donors of the sulfonylurea herbicide resistance. At all stages of line creation, we used marker-assisted selection approaches, namely DNA identification of the mutant allele of the *AHAS1* gene. The use of molecular markers ensured accurate control over the transmission of resistance to sulfonylurea herbicides in subsequent generations, which is an important step in the formation of source material for the further breeding process.

Forms adapted to the conditions of the Southern Steppe of Ukraine, resistant to a complex of diseases and pests, with increased seed yield, plasticity, and the ability to realize their hereditary potential in different growing conditions, were selected. Field assessments and records were carried out during the growing seasons 2020-2023. The results of the research were processed by means of variance analysis using ANOVA software. Duncan's test was used to assess the significance of the differences ($p \leq 0.05$). The combining ability of lines was calculated using the methods described by Z. D. Sych et al.

In the study, tester crosses were used to evaluate a large number of self-pollinated sunflower lines. To ensure greater accuracy of determining combining ability, testers with varying levels of genetic variability, including genetically distant forms, were involved in crossbreeding, which increases the reliability of assessing the effects of general combining ability. For this purpose, several testers were used, which made it possible to precise the magnitude of the GCA and SCA effects for the studied lines. The obtained results provided grounds for differentiating the studied lines according to their GCA and SCA levels as well as for identifying of possible ways of their

practical use in creating productive sunflower hybrids adapted to the conditions of unstable moisture in the Southern Steppe of Ukraine.

The study of the combining ability of inbred sunflower lines was carried out during 2020-2023 to assess their GCA and SCA based on the trait "seed yield". Data analysis allows us to identify the most promising lines for further use in breeding programs.

The assessment of general combining ability showed that among the studied lines, there were forms whose crossing resulted in hybrids with seed yield exceeding standard samples. At the same time, analysis of specific combining ability made it possible to identify individual pairs of lines that formed highly heterotic hybrids with increased productivity.

It was found that the contribution of the SCA dispersion to the total variability of the trait prevailed over the share of the GCA. This indicates the leading role of additive effects in controlling the studied traits and confirms the feasibility of using such lines as donors, which are adapted to unstable moisture conditions for further breeding work. The advantage of additive variation ensured better expression of the genotypic characteristics of the parental components and contributed to more effective selection of forms with high breeding value.

Analysis of the effects of combining ability under different conditions and in different years of cultivation showed significant variability in their expression. It was found that the stability of the expression of GCA and SCA was crucial for the selection of promising parental forms suitable for creating highly productive hybrids. The results obtained showed that some of the lines maintained high breeding value under different environmental conditions, in particular under the unstable moisture conditions of the Southern Steppe of Ukraine, indicating their suitability as stable donors for breeding.

Insufficient moisture in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine significantly affected the manifestation of the combining ability of lines. In conditions of precipitation deficit, lines with high general combining ability had an advantage, which indicates the stability of additive effects and better genetic fixation of productivity traits. Thus, line OSU 1534 R demonstrated the highest values of GCA in all years, with a maximum in 2023 (0.36), which confirms its high ecological flexibility and stability of yield inheritance regardless of the level of moisture. Stability of GCA values was also observed in line OSU 1552 R (0.17–0.18 in all years) and line OSU 1546 R (0.12–0.18), making them suitable for use as reliable donors adapted to conditions of insufficient moisture.

As for specific combining ability, its manifestation proved to be more dependent on weather conditions. Thus, in 2021, when there was a moisture deficit in June-July, high SCA values were recorded in line OSU 1549 R (0.53) and line OSU 1548 R (0.25). This indicates that their potential is expressed under stress conditions due to non-additive genetic effects and heterotic interactions. In contrast, in the more favorable year of 2023, line OSU 1546 R (0.09) and line OSU 1534 R (0.16) had increased SCA, indicating the possibility of forming productive combinations with sufficient moisture availability.

Thus, the variability of GCA and SCA manifestations in different years is directly associated with the hydrothermal conditions of the Southern Steppe of Ukraine. The most stable and reliable under different conditions were lines OSU 1534 R, OSU 1546 R, and OSU 1552 R, which maintained a high level of inherited productivity regardless of weather conditions. However, line OSU 1549 R and OSU 1548 R showed high SCA only in the conditions of 2021, this indicates their potential suitability for use in hybrid combinations adapted to dry conditions of the Southern Steppe.

**ФЕОКТІСТОВ П.О., ПОМОНД С.А., НАТАЛЬЧЕНКО Е.В.**
Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, 65036, Одеса, Овідіопольська дор. 3, e-mail: pbgi@ukr.net

## ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО ПОСУХИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

На Півдні України основними лімітуючими факторами формування високих урожаїв є нестача рухомої ґрунтової вологи та високі температури повітря під час формування рослинами репродуктивних органів.

Основними механізмами, які дозволяють тривалий час підтримувати на оптимальному рівні водний баланс листків в умовах ґрунтової посухи є збалансування процесів водовіддачі та водоспоживання, а основними показниками цих процесів є інтенсивність та ефективність транспірації, показник ощадливості витрати вологи, стан та співвідношення пігментів, температур рослинного покрову.

У сучасних умовах різкого збільшення доступних і високоякісних супутникових матеріалів дистанційне вивчення стану рослин вже стає повсякденністю. Розробка методів дистанційного зондування сільськогосподарських культур, які враховують особливості їх фенологічного розвитку, дозволила створити ефективні алгоритми їх автоматизованого розпізнавання та стала потужним інструментом для оцінки стану посівів.

Але вони все ще не дають змоги проводити оціночну роботу на жаро- та посухостійкість, адаптовану до вимог селекційної практики. На допомогу приходять безпілотні літальні апарати оснащені мультиспектральними камерами. Блоки знімків, отриманих з БПЛА, мають відмінну детальність, яскравість і контраст. Плюсами застосування дронів є рентабельність, можливість зйомки з невеликих висот, оперативне отримання знімків високої роздільної здатності.

На жаль, через військовий стан у застосуванні БПЛА існують певні обмеження. Наприклад, розташування біля аеропорту, військових частин та ін. не дає можливості проводити такі дослідження.

Альтернативою досліджень з БПЛА є вивчення показника депресії температури рослинного покриву (*CTD*) визначеного методом інфрачервоної термометрії. Цей метод використовується у світі для діагностики посухостійкості сільськогосподарських культур. В Україні він не набув широкого застосування у практичній селекції. У зв'язку з цим ми розглядали можливість його використання для оцінки та добору біотипів озимих культур у процесі селекції на адаптивність в умовах півдня України.

Дослідження проводились промисловим пірометром «Testo 835-T1».

У контрастних за погодними умовами роках ранжування досліджуваних сортів за показником *CTD* достовірно співпадало з даними їхньої посухостійкості, що були отримані у попередніх багаторічних дослідженнях у контрольованих умовах штучного клімату. Рівень депресії температури рослинного покриву позитивно корелював з урожайністю зерна з дослідної ділянки, та масою 1000 зерен. Причому рівень кореляції був на 12 % вищим у жорсткому за стресовим навантаженням 2022 році.

Таким чином, незважаючи на суттєву залежність результатів від часу проведення досліджень, погодних умов, дистанції та площі вимірювання, а також стану рослин, показник депресії температури рослинного покриву показав свою перспективність для використання у практичній селекції для скринінгу та добору посухостійких біотипів, за умов чіткого дотримання методики досліджень, за рахунок експресності, економічності та відсутності пошкоджень дослідних рослин.

**Feoktistov P., Pomond S., Natalchenko E.**
Plant Breeding & Genetics Institute – National Centre of Seed & Cultivar Investigation, 65036, Odessa, Ovidiopolska Road. 3, e-mail: pbgi@ukr.net

## ASSESSMENT OF CROP DROUGHT TOLERANCE UNDER MARTIAL LAW CONDITIONS

The article is devoted to the specifics of using methods for assessing drought tolerance of agricultural crops under martial law conditions. Modern remote sensing techniques and UAV imaging open up new opportunities for monitoring crop conditions, but their application is limited by wartime restrictions. As an alternative, the authors propose the use of the canopy temperature depression (CTD) index, determined by infrared thermometry. The studies demonstrated a strong correlation between this indicator and grain yield as well as thousand seed weight, especially in a year with severe stress conditions. The method proved to be economical, rapid, and non-destructive for plants. Thus, CTD can become a promising tool in practical breeding for screening and selecting drought-tolerant biotypes of winter crops.