

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БАБІЙ МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ


УДК: 633.11:631.527:631.147

**СТВОРЕННЯ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ГІБРИДИЗАЦІЇ *TRITICUM*
AESTIVUM L. × *TRITICUM SPELTA* L. ТА ВИКОРИСТАННЯ
БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛАНКИ**

201 – Агрономія

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

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

Науковий керівник – Рябовол Людмила Олегівна, доктор сільськогосподарських наук, професор

Умань – 2026

АНОТАЦІЯ

Бабій М. М. Створення вихідного матеріалу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. та використання біотехнологічної ланки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» (20 – Аграрні науки та продовольство). – Уманський національний університет, Умань, 2026.

У вступній частині обґрунтовано актуальність обраної теми досліджень, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт і предмет дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі наведено аналіз літературних джерел з вивчення низки питань щодо особливостей селекційного процесу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L., охарактеризовано господарські, біологічні та селекційні показники виду *Triticum spelta* L. і використання біотехнологічних методів в селекції пшениці. На підставі аналізу наукової літератури можна констатувати, що гібридизація видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. є ефективним напрямом селекційного вдосконалення і створення вихідного матеріалу пшениці м'якої і спельти озимих з високою продуктивністю. Поєднання традиційних методів селекції з біотехнологічними дає змогу створювати нові сорти культури з покращеними агрономічними, технологічними і харчовими властивостями для сучасного сільського господарства.

Експериментальні дослідження виконано за проведення польових і лабораторних досліджень, що передбачали вирішення проблеми вдосконалення методів створення, аналізу та добору вихідних матеріалів за реципрокних схрещувань видів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. та використання біотехнологічної ланки проводили на дослідних ділянках кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології і в навчально-науковій лабораторії генетики, селекції та насінництва Уманського національного університету впродовж 2022–

2025 рр. Основні дослідження та спостереження в дослідах проводили згідно загальноприйнятих методик.

Аналіз ґрунтово-кліматичних умов регіону проведення досліджень засвідчує, що для вирощування пшениці м'якої і пшениці спельти озимих в роки проведення досліджень складались контрастні умови, що дало змогу провести комплексний аналіз адаптивного потенціалу та показників продуктивності селекційних зразків пшениці м'якої і пшениці спельти озимих та визначити рівень впливу генетичних і екологічних чинників на врожайність. Загалом, сприятливі для впровадження селекційних програм створення високопродуктивного вихідного матеріалу пшениці м'якої і пшениці спельти озимих.

За аналізу результатів міжвидової гібридизації пшениці м'якої зі спельтою встановлено вищий рівень перехресної сумісності у пшениці м'якої озимої (16,9–38,4 %) порівняно з пшеницею спельтою (14,2–30,6 %). Найвищим рівнем перехресної сумісності вирізнялися сорти пшениці м'якої озимої Богдана (28,3–38,4 %) і Легенда миронівська (28,1–33,8 %). Сорт пшениці спельти озимої Європа забезпечує вищий рівень зав'язування насіння (18,7–38,4 %) порівняно з сортом Зоря України (14,2–30,6 %).

Встановлено, що незалежно від добору материнської форми (*Triticum aestivum* L. або *Triticum spelta* L.) кількість зерен у колосі та маса зерна з колосу у гібридів F₁ успадковується за типом позитивного домінування ($h_p = 1,00-1,88$). У зразків, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. довжина колосу успадковується за типом часткового від'ємного успадкування ($h_p = -0,60--0,89$); висота рослин у гібридів F₁ успадковується за типом проміжного успадкування ($h_p = -0,25-0,33$), часткового від'ємного успадкування ($h_p = -0,64--0,74$) або депресії ($h_p = -1,07--1,78$). За гібридизації *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L. істотно збільшується довжина колосу нащадків і спостерігається проміжне успадкування цієї ознаки ($h_p = -0,38-0,05$); висота рослин успадковується за типом часткового позитивного домінування ($h_p = 0,54-0,82$).

Морфотипи пшениці за формою колосу за врожайністю та масою зерна з колосу розміщуються у наступній послідовності: пшениця м'яка (5,94–6,51 т/га, 1,30–1,46 г) \approx скверхеди (5,95–6,42 т/га, 1,28–1,48 г) > спельтоїди (4,15–4,60 т/га, 1,16–1,28 г) > спельти (3,92–4,35 т/га, 1,11–1,22 г) > субкомпактоїди (3,80–4,15 т/га, 1,03–1,15 г) > компактоїди (3,30–3,84 т/га, 0,92–1,05 г). Розміщення морфотипів пшениці за вмістом в зерні білка і клейковини наступне: спельти (19,1–20,0 %, 42,1–44,0 %) > спельтоїди (15,9–17,2 %, 35,3–37,8 %) > пшениця м'яка (14,5–15,1 %, 31,8–33,2 %) \approx скверхеди (14,4–15,5 %, 31,6–34,1 %) > компактоїди (14,5–15,0 %, 31,8–33,0 %) > субкомпактоїди (14,3–14,8 %, 31,5–32,6 %).

За порівняльного аналізу колекційних зразків пшениці м'якої озимої за показниками продуктивності та адаптивності встановлено, що чотири досліджувані зразки істотно перевищували груповий стандарт за масою зерна з колосу (1,36–1,38 г); три – за врожайністю (6,21–6,92 т/га); сім досліджуваних зразків істотно перевищували груповий стандарт за вмістом в зерні клейковини (32,3–36,4 %) і білка (15,0–17,3 %); дев'ять – за седиментацією (57–63 мл); 10 – за силою борошна (315–344 о. а.); дев'ять – за твердістю зерна (53,8–60,3 о. п.).

Виділено зразки пшениці м'якої озимої з високими показниками продуктивності, що можуть слугувати цінним вихідним матеріалом для селекційного поліпшення пшениці, зокрема, зразки 85/22 і 352/22 (висота рослин – 75–80 см, вміст клейковини – 33,8–34,6 %) – донорами генів низькостебловості; зразки 84/22 і 326/22 (врожайність – 6,60–6,61 т/га) – в селекції на підвищення продуктивності; зразки 90/22, 291/22 і 348/22 (вміст в зерні клейковини – 35,7–36,4 %, білка – 16,4–16,7 %, сила борошна – 334–344 о. а.) – в селекції на поліпшення показників якості зерна.

Визначення параметрів адаптивності дало змогу відібрати перспективні генотипи пшениці м'якої озимої з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок 94/22, що поєднує високу врожайність (6,38 т/га), екологічну пластичність ($b_i = 1,30$) та стабільність ($S^2_{di} = 0,027$), гомеостатичність ($\text{Ном} = 299,3$), селекційну цінність ($S_c = 8,0$) і зразки 85/22 і 90/22, що

поєднували високу екологічну пластичність ($b_i = 1,30-1,33$) із середньою стабільністю ($S^2_{di} = 0,027-0,028$) і високим коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,32-0,44$), гомеостатичністю ($Hom = 286,9-296,7$) та індексом адаптивності ($Ia = 1,09-1,11$).

За апробації колекційних зразків пшениці спельти озимої за показниками продуктивності та адаптивності виділено п'ять низькостеблових зразків (висота рослин 89–95 см). Встановлено, що три зразки істотно перевищували груповий показник за масою зерна з колосу (1,24–1,35 г); один – за врожайністю (4,77 т/га); п'ять зразків істотно перевищували груповий стандарт за вмістом в зерні клейковини (43,1–49,8 %), білка (18,0–20,8 %) та силою борошна (339–431 о. а.).

Виділено зразок пшениці спельти озимої 10/22 (висота рослин – 89 см, вміст білка – 19,4 %, клейковини – 46,5 %), що доцільно використовувати в селекції на зниження висоти стеблостою та якості зерна. Зразки 155/22 (врожайність – 4,65–4,95 т/га), 10/22, 44/22 і 245/22 (вміст клейковини – 45,5–19,8 %, білка – 19,0–20,8 %, седиментація 63–67 мл, сила борошна – 349–431 о. а.) ефективно залучати до селекційних програм поліпшення показників продуктивності та якості зерна, а зразки 10/22, 125/22 і 155/22 (стійкість до борошнистої роси, фузаріозу колосу і септоріозу – 8–9 балів, бурої іржі – 6 балів) – в селекції на імунітет.

За аналізу параметрів адаптивності колекційних зразків пшениці спельти озимої виділено зразки з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок 155/22, що характеризується високою врожайністю (4,77 т/га), гомеостатичністю ($Hom = 121,8$), селекційною цінністю ($Sc = 5,1$) і зразки 202/22 і 245/22, що поєднували високу врожайність (4,24–4,32 т/га) з екологічною пластичністю ($b_i = 1,31-1,37$), стабільністю ($S^2_{di} = 0,009-0,010$) і коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,51-0,53$), гомеостатичністю ($Hom = 97,6-99,9$).

Встановлено високу ефективність використання аерогідропонних технологій для укорінення та адаптації клонованих рослин пшениці м'якої озимої. Це забезпечує скорочення термінів отримання та підвищення якості

селекційного матеріалу, придатного для використання в селекційних програмах створення вихідних форм і сортів пшениці м'якої озимої.

Модифіковано склад живильного середовища, за додавання половинної концентрації макро- та мікроелементів за прописом Мурасіге–Скуга ($\frac{1}{2}$ MS), 1,0 мг/л індолілоцтової кислоти, 0,5 мг/л гетероауксину, 0,3 мг/л 6-бензиламінопурина та 1,0 мг/л гіберелінової кислоти, що забезпечує формування галуженої кореневої системи рослин, отриманих за ізольованої культури зрілих зародків.

Визначено оптимальні умови для формування акліматизованих рослин із розгалуженою, фізіологічно активною кореневою системою, зокрема, температура 20–22 °С, 16-годинний фотоперіод з інтенсивністю освітлення 3–4 клк і відносною вологістю 75 % з поступовим зниженням температури до 12–16 С.

Охарактеризовано основні етапи морфогенезу кореневої системи за аерогідропного культивування, що передбачає фази адаптації, індукції ризогенезу, формування латеральних коренів і розвитку мичкуватої кореневої системи.

Ключові слова: пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.), пшениця спельта озима (*Triticum spelta* L.), гібридизація, вихідний матеріал, колекційні зразки, сорт, насіння, морфотип колосу, врожайність, якість зерна, адаптивність, аерогідропна технологія

ABSTRACT

Babii M. M. Development of source material through hybridization of *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. and the use of a biotechnological link. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 201 “Agronomy” (20 – Agricultural Sciences and Food). – Uman National University, Uman, 2026.

The introduction substantiates the relevance of the chosen research topic, formulates the aim and objectives of the study, defines the object and subject of research, and highlights the scientific novelty and practical significance of the obtained results.

The first chapter presents an analysis of literature sources addressing a range of issues related to the peculiarities of the breeding process under hybridization of *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L., characterizes the economic, biological, and breeding traits of *Triticum spelta* L., and examines the use of biotechnological methods in wheat breeding. Based on the analysis of scientific literature, it can be stated that hybridization of *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. is an effective direction for breeding improvement and the development of source material of winter bread wheat and spelt with high productivity. The combination of traditional breeding methods with biotechnological approaches enables the development of new crop varieties with improved agronomic, technological, and nutritional properties for modern agriculture.

Experimental research was conducted through field and laboratory studies aimed at solving the problem of improving methods for the development, analysis, and selection of source material under reciprocal crosses of *Triticum aestivum* L. and *Triticum spelta* L. with the use of a biotechnological component. The studies were carried out on the experimental plots of the Department of Genetics, Plant Breeding and Biotechnology and in the educational and research laboratory of genetics, breeding, and seed production at Uman National University during 2022–2025. The

main research and observations were conducted in accordance with generally accepted methodologies.

The analysis of the soil and climatic conditions of the research region indicates that during the years of the study, contrasting environmental conditions were formed for the cultivation of winter bread wheat and winter spelt wheat. This made it possible to conduct a comprehensive assessment of the adaptive potential and productivity traits of breeding samples of winter bread wheat and winter spelt wheat, as well as to determine the level of influence of genetic and environmental factors on yield formation. In general, the conditions were favorable for the implementation of breeding programs aimed at the development of high-yielding source material of winter bread wheat and winter spelt wheat.

The analysis of the results of interspecific hybridization between bread wheat and spelt wheat revealed a higher level of cross-compatibility in winter bread wheat (16.9–38.4%) compared to winter spelt wheat (14.2–30.6%). The highest cross-compatibility was observed in the winter bread wheat cultivars Bohdana (28.3–38.4%) and Legenda Myronivska (28.1–33.8%). The winter spelt wheat cultivar Yevropa ensured a higher level of seed set (18.7–38.4%) compared to the cultivar Zoria Ukrainy (14.2–30.6%).

It was established that, regardless of the choice of the maternal form (*Triticum aestivum* L. or *Triticum spelta* L.), the number of grains per spike and grain weight per spike in F1 hybrids were inherited according to the type of positive dominance ($hp = 1.00–1.88$). In hybrids obtained from *Triticum aestivum* L. \times *Triticum spelta* L. crosses, spike length was inherited according to the type of partial negative dominance ($hp = -0.60$ to -0.89), while plant height in F1 hybrids showed intermediate inheritance ($hp = -0.25$ to 0.33), partial negative dominance ($hp = -0.64$ to -0.74), or depression ($hp = -1.07$ to -1.78). In *Triticum spelta* L. \times *Triticum aestivum* L. hybridization, a significant increase in spike length of the progeny was observed, with intermediate inheritance of this trait ($hp = -0.38$ to 0.05), whereas plant height was inherited according to the type of partial positive dominance ($hp = 0.54–0.82$).

Wheat morphotypes according to spike shape were arranged by yield and grain weight per spike in the following order: bread wheat (5.94–6.51 t/ha, 1.30–1.46 g) \approx squarehead types (5.95–6.42 t/ha, 1.28–1.48 g) > speltoids (4.15–4.60 t/ha, 1.16–1.28 g) > spelt wheats (3.92–4.35 t/ha, 1.11–1.22 g) > subcompactoids (3.80–4.15 t/ha, 1.03–1.15 g) > compactoids (3.30–3.84 t/ha, 0.92–1.05 g). The distribution of wheat morphotypes according to grain protein and gluten content was as follows: spelt wheats (19.1–20.0%, 42.1–44.0%) > speltoids (15.9–17.2%, 35.3–37.8%) > bread wheat (14.5–15.1%, 31.8–33.2%) \approx squarehead types (14.4–15.5%, 31.6–34.1%) > compactoids (14.5–15.0%, 31.8–33.0%) > subcompactoids (14.3–14.8%, 31.5–32.6%).

A comparative analysis of collection samples of winter bread wheat based on productivity and adaptability indicators showed that four studied samples significantly exceeded the group mean in grain weight per spike (1.36–1.38 g); three samples exceeded the group mean in yield (6.21–6.92 t/ha); seven samples significantly exceeded the group average in grain gluten (32.3–36.4%) and protein content (15.0–17.3%); nine samples exceeded the group mean in sedimentation value (57–63 mL); ten samples in flour strength (315–344 a.u.); and nine samples in grain hardness (53.8–60.3 units).

Winter bread wheat samples with high productivity parameters were identified that may serve as valuable source material for wheat breeding improvement, in particular, samples 85/22 and 352/22 (plant height 75–80 cm, gluten content 33.8–34.6%) as donors of dwarfing genes; samples 84/22 and 326/22 (yield 6.60–6.61 t/ha) for breeding aimed at increasing productivity; and samples 90/22, 291/22, and 348/22 (grain gluten content 35.7–36.4%, protein content 16.4–16.7%, flour strength 334–344 a.u.) for breeding focused on improving grain quality traits.

The determination of adaptability parameters made it possible to select promising winter bread wheat genotypes with a high level of adaptive potential, in particular, sample 94/22, which combines high yield (6.38 t/ha), environmental plasticity ($b_i = 1.30$), and stability ($S^2_{di} = 0.027$), homeostasis ($Hom = 299.3$), and breeding value ($Sc = 8.0$), as well as samples 85/22 and 90/22, which combined high

environmental plasticity ($b_i = 1.30\text{--}1.33$) with moderate stability ($S^2_{di} = 0.027\text{--}0.028$), a high heritability coefficient ($h^2 = 0.32\text{--}0.44$), homeostasis ($Hom = 286.9\text{--}296.7$), and adaptability index ($I_a = 1.09\text{--}1.11$).

During the evaluation of collection samples of winter spelt wheat based on productivity and adaptability indicators, five short-stemmed samples were identified (plant height 89–95 cm). It was established that three samples significantly exceeded the group mean in grain weight per spike (1.24–1.35 g); one sample exceeded the group mean in yield (4.77 t/ha); and five samples significantly exceeded the group average in grain gluten content (43.1–49.8%), protein content (18.0–20.8%), and flour strength (339–431 a.u.).

The winter spelt wheat sample 10/22 (plant height 89 cm, protein content 19.4%, gluten content 46.5%) was identified as appropriate for use in breeding aimed at reducing plant height and improving grain quality. Samples 155/22 (yield 4.65–4.95 t/ha), 10/22, 44/22, and 245/22 (gluten content 45.5–49.8%, protein content 19.0–20.8%, sedimentation value 63–67 mL, flour strength 349–431 a.u.) are effective for inclusion in breeding programs focused on improving productivity and grain quality, whereas samples 10/22, 125/22, and 155/22 (resistance to powdery mildew, *Fusarium* head blight, and *Septoria tritici* blotch rated at 8–9 points, and brown rust at 6 points) are promising for breeding aimed at disease resistance.

An analysis of adaptability parameters of winter spelt wheat collection samples identified genotypes with a high level of adaptive potential, in particular, sample 155/22, characterized by high yield (4.77 t/ha), homeostasis ($Hom = 121.8$), and breeding value ($Sc = 5.1$), as well as samples 202/22 and 245/22, which combined high yield (4.24–4.32 t/ha) with environmental plasticity ($b_i = 1.31\text{--}1.37$), stability ($S^2_{di} = 0.009\text{--}0.010$), heritability coefficient ($h^2 = 0.51\text{--}0.53$), and homeostasis ($Hom = 97.6\text{--}99.9$).

High efficiency of aeroponic technologies for rooting and adaptation of cloned winter bread wheat plants was established. This ensures a reduction in the time required to obtain breeding material and improves the quality of selection material

suitable for use in breeding programs aimed at developing source forms and cultivars of winter bread wheat.

The composition of the nutrient medium was modified by adding half-strength macro- and microelements according to the Murashige and Skoog formula ($\frac{1}{2}$ MS), 1.0 mg/L indole-3-acetic acid, 0.5 mg/L heteroauxin, 0.3 mg/L 6-benzylaminopurine, and 1.0 mg/L gibberellic acid, which ensured the formation of a branched root system in plants obtained from isolated mature embryo cultures.

Optimal conditions were determined for the formation of acclimatized plants with a branched, physiologically active root system, including a temperature of 20–22 °C, a 16-hour photoperiod with a light intensity of 3–4 klx, and relative humidity of 75%, with gradual reduction of temperature to 12–16 °C.

The main stages of root system morphogenesis under aeroponic cultivation were characterized, including the phases of adaptation, rhizogenesis induction, lateral root formation, and development of a fibrous root system.

Key words: winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.), winter spelt wheat (*Triticum spelta* L.), hybridization, source material, collection samples, variety, seed, ear morphotype, yield, grain quality, adaptability, aeroponic technology.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до Міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science

1. Diordiieva I. P., Riabovol I. S., Riabovol L. O., **Babii M. M.**, Fedorenko S. V., Serzhuk O. P., Maslovata S. A., Liubchenko A. I., Novak Z. M., Liubchenko I. O. Breeding and genetic improvement of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) by interspecific hybridization. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. № 3. P. 463–469. <https://doi.org/10.15421/022465>. (20 % авторства: проведення польових і лабораторних досліджень, узагальнення отриманих результатів).

Статті у наукових фахових виданнях України та, що включені до міжнародних наукометричних баз даних:

2. Діордієва І. П., Сержук О. П., **Бабій М. М.** Адаптивність зразків пшениці спельта озимої, створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць УНУС*. 2024. Вип. 104. С. 185–192. DOI: [10.32782/2415-8240-2024-104-1-185-191](https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-104-1-185-191). (30 % авторства: проведення польових і лабораторних досліджень, статистичний аналіз і узагальнення отриманих результатів).

3. **Бабій М. М.** Створення вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) за гібридизації з пшеницею спельтою (*Triticum spelta* L.). *Збірник наукових праць УНУ*. 2025. Вип. 107. С. 84–99. DOI: [10.32782/2415-8240-2025-107-1-84-99](https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-107-1-84-99)

4. **Бабій М. М.**, Діордієва І. П. Урожайність і якість зерна зразків пшениці м'якої озимої, створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць УНУС*. 2025. Вип. 106. С. 67–73. DOI: [10.32782/2415-8240-2025-106-1-66-73](https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-106-1-66-73). (80 % авторства: проведення польових і лабораторних досліджень, статистичний аналіз і узагальнення отриманих результатів).

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Діордієва І. П., Сержук О. П., **Бабій М. М.** Селекційна цінність вихідного матеріалу, створеного за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі» присвяченої 100-річчю кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології ім. І. П. Чучмія Уманського НУС: Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (04 листопада). Умань: УНУС, 2022. С. 15

6. Diordiieva I., **Babii M.**, Korol E. Degree of dominance and the level of inheritance of traits by hybridization *Triticum spelta* L. × *Triticum compactum* Host. *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: VII International Scientific and Theoretical Conference* (April, 20). Vilnius, Republic of Lithuania,

2024. Р. 52–53.

7. Діордієва І. П., **Бабій М. М.** Ступінь домінування та аналіз гетерозисного ефекту селекційно-цінних ознак у гібридів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. «Селекційно-генетична наука і освіта» (Парієві читання): Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (20–22 березня). Умань: УНУС, 2023. С. 04 листопада 2022 року. Умань, 2022. С. 64–66.

8. Діордієва І. П., **Бабій М. М.** Аналіз вихідного матеріалу, створеного за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. за технологічними властивостями. «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі»: Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції (11–13 жовтня). Умань, 2023. С. 46–48.

9. Діордієва І. П., **Бабій М. М.** Створення вихідного матеріалу пшениці спельта з оптимальною структурою колосу. «Селекційно-генетична наука і освіта» (Парієві читання): XIII Міжнародна науково-практична конференція (18–20 березня). Умань: УНУС, 2024. С. 120–122.

ЗМІСТ

	Перелік скорочень і абревіатур	16
	Вступ	17
РОЗДІЛ 1	ОСОБЛИВОСТІ СЕЛЕКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ВИДУ <i>TRITICUM AESTIVUM</i> L. ЗА ВИКОРИСТАННЯ <i>TRITICUM SPELTA</i> L. (огляд літератури)	24
1.1	Характеристика виду <i>Triticum spelta</i> L., як вихідного матеріалу для селекційно-генетичного поліпшення <i>Triticum aestivum</i> L.	25
1.2	Створення вихідного матеріалу за гібридизації <i>Triticum aestivum</i> L. × <i>Triticum spelta</i> L.	31
1.3	Використання біотехнологічних методів в селекції пшениці	39
	Висновки за розділом 1	43
РОЗДІЛ 2	УМОВИ, МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
2.1	Ґрунтово-кліматичні умови	45
2.2	Характеристика вихідного селекційного матеріалу	49
2.3	Методика проведення досліджень	51
	Висновки за розділом 2	56
РОЗДІЛ 3	ОСОБЛИВОСТІ ГІБРИДИЗАЦІЇ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗА СХРЕЩУВАННЯ	57
3.1	Особливості гібридизації <i>Triticum aestivum</i> L. × <i>Triticum spelta</i> L.	58
3.2	Успадкування селекційно-цінних ознак гібридами F ₁	61
3.3	Порівняльний аналіз показників продуктивності різних морфотипів пшениці за формою колосу	68
	Висновки за розділом 3	78
РОЗДІЛ 4	АНАЛІЗ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ	80
4.1	Аналіз вихідного матеріалу пшениці м'якої за показниками продуктивності	81

4.2	Адаптивні особливості зразків пшениці м'якої	95
	Висновки за розділом 4	102
РОЗДІЛ 5	СЕЛЕКЦІЙНА ЦІННІСТЬ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ ОЗИМОЇ	104
5.1	Продуктивність зразків пшениці спельти озимої	105
5.2	Адаптивні особливості зразків пшениці спельти озимої	117
	Висновки за розділом 5	121
РОЗДІЛ 6	ВИКОРИСТАННЯ АЕРОГІДРОПОНІКИ ДЛЯ УКОРІНЕННЯ РОСЛИННОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ	123
	Висновки за розділом 6	131
	ВИСНОВКИ	132
	РЕКОМЕНДАЦІЇ СЕЛЕКЦІЙНІЙ ПРАКТИЦІ	135
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	136
	ДОДАТКИ	164

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА АБРЕВІАТУР

Скорочення, абревіатура	Розшифровка, повна назва
♀	Материнська форма
♂	Батьківська форма
$2n = 6x$	Гексаплоїдний набір хромосом
As	Коефіцієнт агрономічної стабільності
b_i	Коефіцієнт регресії
Ia	Індекс адаптивності
F_{1-5}	Гібриди першого–п'ятого покоління
h	Висота рослин
h^2	Коефіцієнт успадкування
Hom	Гомеостатичність
hp	Ступінь домінування
Sc	Коефіцієнт селекційної цінності
S^2_{di}	Екологічна стабільність
St	Стандарт
σ^2_e	Екологічна дисперсія
σ^2_g	Генотипова дисперсія
$\sigma^2_{g \times e}$	Дисперсія взаємодії генотип \times середовище
НААН України	Національна академія аграрних наук України
НЦГРР України	Національний центр генетичних ресурсів рослин України
о. а.	Одиниці альвеографа
о. п.	Одиниці приладу
УІЕСР	Український інститут експертизи сортів рослин
Уманський НУ, УНУ	Уманський національний університет

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми досліджень. Пшениця – основна хлібна культура, що займає провідне місце у забезпеченні продовольчої безпеки України. Створення нових сортів, які б повністю задовольняли вимоги сучасного сільськогосподарського виробництва, неможливе без цінного вихідного матеріалу з відповідними ознаками і властивостями.

Важливість вихідного матеріалу для селекції пшениці обґрунтовано багатьма вченими, зокрема, Л. А. Бурденюк-Тарасевич, С. П. Васильківським, В. А. Власенком, М. М. Гаврилюком, О. А. Демидовим, І. М. Єремєєвим, В. В. Кириленко, В. В. Кириченком, М. А. Литвиненком, С. Ф. Лифенком, В. В. Моргуном, Ф. М. Парієм, В. М. Ремеслом, О. І. Рибалкою, О. О. Созіновим, А. Ф. Стельмахом, В. В. Шелеповим та іншими. Основою для створення і добору цінних генотипів пшениці, що оптимально адаптовані до місцевих ґрунтово-кліматичних умов і потенційно здатні передавати свої цінні ознаки нащадкам є районовані сорти, місцеві та інтродуковані селекційні форми і гібридні популяції, що залучають до системи схрещувань. Проте, внаслідок багаторічної селекційної роботи у напрямку підвищення врожайності, відбулося істотне збіднення генофонду пшениці. Тому, внутрішньовидова гібридизація нині не може забезпечити широкого розмаху мінливості за низкою цінних селекційних і морфо-біологічних ознак.

Прогрес у селекції може бути досягнуто залученням до системи гібридизації генетичного різноманіття роду *Triticum* L., зокрема, виду *Triticum spelta* L., що дасть можливість розширити генофонд пшениці і створити цінний вихідний матеріал для використання у програмах селекційно-генетичного вдосконалення пшениці м'якої озимої і спельти озимої. Поєднання традиційних методів селекції із застосуванням біотехнологічної ланки сприятиме інтенсифікації селекційного процесу створення високопродуктивних зразків і спростить схеми отримання високопродуктивних сортів пшениці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертації виконано впродовж 2022–2026 рр. згідно з підпрограмою «Аналіз, розроблення та удосконалення генетичних і біотехнологічних методів у селекції сільськогосподарських культур», що входить у програму наукових досліджень Уманського національного університету Міністерства освіти і науки України «Збалансоване використання, прогноз і управління природним та ресурсним потенціалом агроєкосистем України» (номер державної реєстрації 0121U112521).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було вдосконалення селекційних технологій створення вихідного матеріалу та добору цінних генотипів за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. і використання біотехнологічної ланки.

Для досягнення мети на вирішення було поставлено наступні **завдання**:

- удосконалити селекційні технології створення вихідного матеріалу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. і використання біотехнологічної ланки;
- визначити рівень перехресної сумісності видів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L., характер успадкування господарсько-цінних ознак, рівень гетерозису;
- провести порівняльний аналіз різних морфотипів пшениці за формою колосу і диференціювати їх за врожайністю та якістю зерна;
- проаналізувати колекційні зразки пшениці м'якої озимої за показниками продуктивності та адаптивності і виділити цінні для селекції вихідні матеріали;
- визначити рівень продуктивності та адаптивності колекційних зразків пшениці спельти озимої і виділити вихідний матеріал різноцільового використання для селекції;
- розробити біотехнологічні підходи для інтенсифікації ризогенезу та підвищення адаптивного потенціалу зразків пшениці м'якої озимої за використання аерогідропоніки.

Об'єкт дослідження – селекційні технології створення вихідного матеріалу пшениці м'якої і пшениці спельти озимих за різних систем гібридизації та добору генетичних джерел господарсько-цінних ознак і використання біотехнологічної ланки.

Предмет дослідження – сорти, колекційні зразки і генетичні джерела господарсько-цінних ознак пшениці м'якої і пшениці спельти озимих; способи створення вихідного матеріалу; кількісні та якісні показники продуктивності рослин; біотехнологічні методи.

Методи дослідження. Загальнонаукові – робоча гіпотеза, експеримент, спостереження, аналіз і узагальнення; спеціальні – польові, лабораторні, генетичні, порівняльно-розрахункові, аналітичні; математико-статистичні – дисперсійний і кластерний аналізи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні нових підходів щодо створення вихідного матеріалу та селекційного добору цінних генотипів за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. і використання біотехнологічної ланки.

Вперше:

– розроблено нові технології створення вихідного матеріалу пшениці м'якої та пшениці спельти озимих за використання біотехнологічної ланки, що сприяють прискоренню селекційного процесу і дозволяють отримувати константні високопродуктивні генотипи з врожайністю понад 6,0 т/га, вмістом в зерні білка понад 15,5–21,0 %, клейковини – 33,0–45,0 %;

– встановлено, позитивне домінування за кількістю зерен у колосі та масою зерна з колосу в реципрокних гібридів F₁ *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.; часткове від'ємне успадкування довжини колосу, проміжне успадкування або часткове від'ємне домінування за висотою рослин у гібридів F₁ *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.; проміжне успадкування довжини колосу і часткове позитивне домінування висоти рослин у гібридів F₁ *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L.;

– проаналізовано різні морфотипи пшениці за формою колосу, що дозволило диференціювати їх за селекційною цінністю. Показано, що в селекції на продуктивність доцільно використовувати зразки морфотипів пшениці м'якої і скверхеди, що характеризуються високою врожайністю (5,94–6,51 т/га); в селекції на якість зерна – спельти і спельтоїди, що вирізняються високим вмістом в зерні білка і клейковини (відповідно 15,9–20,0 % і 35,3–44,0 %); в селекції на зміну архітектоники колосу – компактоїди, що характеризуються високою щільністю колосу (31,5–38,2 шт. колосків/10 см колосового стрижня), вмістом в зерні білка – 14,5–15,0 %, клейковини – 31,8–33,0 %;

– проведено порівняльний аналіз вихідного матеріалу за показниками продуктивності, що дозволило виділити цінні генотипи пшениці м'якої озимої (зразки 84/22, 326/22, 90/22, 291/22, 348/22) з врожайністю 6,60–6,61 т/га, вмістом клейковини – 35,7–36,4 %, білка – 16,4–16,7 %, силою борошна – 334–344 о. а., та пшениці спельти озимої (10/22, 44/22, 155/22, 245/22), що характеризуються низькостебловістю, вмістом білка – 19,4 %, клейковини – 46,5 % і високою стійкістю до хвороб (8–9 балів);

– визначено параметри адаптивності вихідного матеріалу, що дозволило відібрати перспективні генотипи пшениці м'якої озимої (зразки 85/22, 90/22, 94/22), що поєднують екологічну пластичність ($b_i = 1,30–1,33$), стабільність ($S^2_{di} = 0,027–0,028$), гомеостатичність ($Hom = 286,9–299,3$), індекс адаптивності ($I_a = 1,09–1,11$), та пшениці спельти озимої (зразки 155/22, 202/22, 245/22), що характеризується високою екологічною пластичністю ($b_i = 1,31–1,37$), стабільністю ($S^2_{di} = 0,009–0,010$), коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,51–0,53$);

– вперше показано ефективність використання аерогідропонних технологій для вкорінення індукованих з деформованого насіння зразків пшениці м'якої озимої, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.

Удосконалено:

– методичні підходи створення вихідного матеріалу за реципрокних схрещувань *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L., що забезпечують індукування формоутворювального процесу і дозволяють отримати новий вихідний матеріал пшениці м'якої і пшениці спельти озимих з поліпшеними кількісними і якісними показниками продуктивності.

Дістали подальшого розвитку:

– питання вдосконалення технологій селекційного процесу створення вихідного матеріалу і виділення донорів генів господарсько-цінних ознак за гібридизації пшениці м'якої і пшениці спельти озимих.

Практичне значення одержаних результатів. Удосконалено селекційні технології створення вихідного матеріалу пшениці м'якої і пшениці спельти озимих за використання біотехнологічної ланки для селекційного процесу створення високопродуктивних сортів з високими показниками якості зерна.

Виділено зразки пшениці м'якої озимої з високими показниками продуктивності, що можуть слугувати донорами генів і цінним вихідним матеріалом для селекційного поліпшення пшениці, зокрема, зразки 85/22 і 352/22 (висота рослин – 75–80 см, вміст клейковини – 33,8–34,6 %); зразки 84/22 і 326/22 (врожайність – 6,60–6,61 т/га); зразки 90/22, 291/22 і 348/22 (вміст клейковини – 35,7–36,4 %, білка – 16,4–16,7 %, сила борошна – 334–344 о. а.).

Виділено зразки пшениці спельти озимої із комплексом високих показників продуктивності, що доцільно використовувати в селекційних програмах донорами генів окремих ознак, зокрема, зразок 10/22 (висота рослин – 89 см, вміст білка – 19,4 %, клейковини – 46,5 %, стійкість до фузаріозу і септоріозу – 8–9 балів); зразки 155/22 (врожайність – 4,65–4,95 т/га), 44/22 і 245/22 (вміст клейковини – 45,5–19,8 %, білка – 19,0–20,8 %, седиментація 63–67 мл, сила борошна – 349–431 о. а.); зразок 125/22 (стійкість до борошнистої роси, фузаріозу колосу і септоріозу – 8–9 балів, бурої іржі – 6 балів).

Обґрунтовано доцільність використання аерогідропоніки для вкорінення та адаптації рослинного матеріалу, за перенесення вихідного матеріалу з ізолюваної культури в польові умови вирощування.

Основні результати досліджень апробовано у виробничих умовах ФГ «Поляна Лісова» і ФГ «Кримяне» Уманського району Черкаської області (акти впровадження від 22.05.2025 р.), СТОВ «Урожай», Звенигородського району Черкаської області (акт впровадження від 10.11.2025 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є особистою науковою працею. Автор дисертації самостійно провів інформаційний пошук наукової літератури, обґрунтував актуальність обраної теми досліджень, провів польові й лабораторні дослідження, проаналізував отримані експериментальні дані, узагальнив основні положення, висновки та рекомендації селекційній практиці. У дисертаційній роботі оприлюднено частково спільні з вченими УНУ результати досліджень, що опубліковано в наукових працях з часткою авторства здобувача 20–80 %.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень оприлюднено й обговорено на засіданнях кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології, Вченої ради та методичної комісії факультету агрономії, а також на VII і VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі» (Умань, 2022–2023), XII та XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Селекційно-генетична наука і освіта» (Парієві читання) (Умань, 2023–2024), VII Міжнародній науковій конференції «Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives» (Вільнюс, 2024).

Публікації. За темою дисертації опубліковано дев'ять наукових праць, зокрема, чотири статті, з яких одна – у науковому виданні включеному до Міжнародних науко-метричних баз Scopus і Web of Science, три – у наукових фахових виданнях України, п'ять – матеріали науково-практичних конференцій.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційну роботу викладено на 169 сторінках комп'ютерного набору, зокрема, 125 – основного тексту. Вона складається з анотацій, переліку скорочень і аббревіатур, вступу, шести розділів, висновків, рекомендацій селекційній практиці, додатків, списку використаних джерел з 227 позицій, з яких 145 – латиницею та містить 27 таблиць і 18 рисунків.

РОЗДІЛ 1
ОСОБЛИВОСТІ СЕЛЕКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ВИДУ *TRITICUM*
***AESTIVUM* L. ЗА ВИКОРИСТАННЯ *TRITICUM SPELTA* L.**
(огляд літератури)

У сучасній селекції особливе значення має розширення генетичної різноманітності вихідного матеріалу для створення сортів пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.), що є однією з найважливіших продовольчих культур у світі [1, 2]. Одним із перспективних джерел нових селекційно-цінних ознак є спельта (*Triticum spelta* L.) – стародавній гексаплоїдний вид пшениці, що характеризується високою адаптивністю до стресових умов, підвищеним вмістом білка, клейковини, а також високими хлібопекарськими якостями. Завдяки генетичній спорідненості обох видів, їхня гібридизація вдається легко і є ефективним механізмом інтрогресії цінних ознак спельти до генофонду м'якої пшениці [3, 4].

Гібридизація пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) зі спельтою (*Triticum spelta* L.) є ефективним інструментом розширення генетичної бази для селекції високоякісних сортів [5, 6]. Обидва види мають однаковий гексаплоїдний набір хромосом ($2n = 6x = 42$, AABBDD), що забезпечує високу сумісність за схрещування та утворення фертильних гібридів [7]. У результаті такої гібридизації можлива інтрогресія ознак, характерних для спельти в геном пшениці м'якої, зокрема, підвищений вміст білка, клейковини, мінеральних елементів (Zn, Fe), стійкість до вилягання, хвороб і стресових умов тощо [5–7]. Отримані гібридні форми можуть поєднувати продуктивність пшениці м'якої з адаптивністю та харчовою цінністю спельти, що є перспективним напрямом у створенні сортів із покращеними технологічними та біологічними властивостями зерна [8].

1.1. Характеристика виду *Triticum spelta* L., як вихідного матеріалу для селекційно-генетичного поліпшення *Triticum aestivum* L.

Пшениця спельта (*Triticum spelta* L.) – давній, плівчастий, гексаплоїдний ($2n = 6x = 42$) вид пшениці, що має тісну генетичну подібність, ідентичний геномний і хромосомний склад (BBA^uA^uDD) з пшеницею м'якою (*Triticum aestivum* L.) [9, 10]. Спельта вважається одним із найдавніших гексаплоїдних видів пшениці, проте, вона утворилася на кілька тисяч років пізніше окремих видів пшениці, зокрема, диплоїдної однозернянки і тетраплоїдного емера [11].

Найдавніші форми азійської спельти були відомі в VI тисячолітті до н. е. на території Іраку. Вони утворилися за гібридизації пшениці м'якої з тетраплоїдною пшеницею, ймовірно, емером (*Triticum dicoccum* (Schrank ex Schübl.) Thell) [12]. Європейські підвиди спельти утворилися в III тисячолітті до н. е. на території Центральної Європи. Нині відомо 40 різновидів азійської спельти і 14 – європейської [13].

Упродовж останніх років спостерігається стабільне зростання зацікавленості пшеницею спельтою в Україні і за кордоном. Це зумовлено активним розвитком органічного землеробства та зростаючим попитом на продукти рослинного походження з високою харчовою якістю, які може забезпечити ця культура. Із зерна спельти виготовляють різноманітні продукти, зокрема, борошно, крупу, висівки, макарони, хлібобулочні вироби, кекси, печиво, пиво, спиртові напої тощо [5–8]. Особливо цікавим є так зване «зелене зерно» – зібране у фазу воскової стиглості, висушене й обмолочене, що використовують у супах, соусах, котлетах, десертах і добавкою до кисломолочних продуктів [14]. Усе це сприяло суттєвому розширенню площ вирощування спельти в останні роки.

Вид *Triticum spelta* L. має нещільний (близько 15 шт. колосків на 10 см колосового стрижня), ламкий, грубий і жорсткий колос, який за обмолоту розпадається на окремі колоски, що суттєво ускладнює механізоване збирання. Колоскова луска – широка, клиновидна, лопатковидна, у верхній частині

скошена впоперек. Істотна різниця між спельтою і пшеницею м'якою полягає у тому, що зерно спельти щільно оповите колосковою лускою, морфологічні особливості якої детермінуються мутаціями у двох локусах. Це додатково ускладнює процес обмолоту зерна [14, 15].

Перевагою спельти відносно сучасних високоінтенсивних сортів пшениці є невибагливість до умов і досконаліх новітніх технологій вирощування. Спельта майже не зазнала активного впливу селекційного процесу, тому менше ніж сучасні сорти пшениці м'якої реагує на зміни клімату та погіршення родючості ґрунту [16]. Вона має вищі поживні характеристики зерна аніж сучасні сорти пшениці м'якої [7]. Зерно спельти містить більше загального і розчинного (перетравного) протеїну, цінних ліпідів, мінералів, зокрема, Mg, P, Fe, Cu, Zn та розчинної дієтичної клітковини (з низьким вмістом глютену), ніж сучасні сорти пшениці м'якої. Генетична біофортифікація є загальновизнаною стратегією та найбільш стійким підходом до зменшення дефіциту мінералів і поживних речовин, зокрема, мікроелементів Fe і Zn [17].

Цінними харчовими властивостями спельти є підвищений вміст у зерні вітамінів, низки мікро- та макроелементів, ненасичених жирних кислот, клейковини, білка з високою кількістю незамінних амінокислот, що не надходять із їжею тваринного походження та інших корисних речовин [18–20]. Вчені також повідомляють, що в зерні спельти, як і у пшениці м'якої, лімітуючою амінокислотою є лізин [21]. Проте вміст лізину в зерні спельти вищий на 7,7 % порівняно з пшеницею м'якою.

Спельта характеризується у 8–10 разів вищим вмістом резистентного крохмалю [22], вищою, аніж у пшениці м'якої антиоксидантною активністю, що обумовлено високим вмістом алкілрезорцинолів, фолатів, фітостеролів [23]. Спельта переважає сучасну пшеницю за вмістом у зерні селену, містить фітинову кислоту, що хелатує на 40 % менше мінералів, ніж у інших видів пшениці [23, 24]. Навіть плівчастість спельти має позитивне значення, оскільки плівка, що тісно огортає насінину, перешкоджає накопиченню шкідливих хімікатів і мікотоксинів [7].

Вчені [7, 24] зазначають, що за хлібопекарськими характеристиками спельта поступається сучасним сортам пшениці м'якої, оскільки останні системно поліпшуються селекційно за показниками якості зерна. Незважаючи на вищий, ніж у пшениці м'якої вміст у зерні білка і клейковини, хлібопекарська властивості цих компонентів у спельти невисокі. Високі якісні характеристики та м'якозерна консистенція ендосперму зерна спельти забезпечують отримання з неї високоякісних кондитерських виробів і круп з відмінними смаковими властивостями [25–28].

Спельта характеризується витривалістю до низки негативних біо- та абіотичних чинників навколишнього природного середовища, зокрема, до суворих умов гірських районів, низки хвороб і шкідників, що зводить до мінімуму необхідність застосування хімічних засобів захисту рослин [29]. Вирощуванню і використанню спельти перешкоджає низька якість обмолоту зерна, що зумовлено плівчастістю зернівок і ламкістю колосового стрижня. Це ускладнює процес механізованого збирання, оскільки виникає потреба у спеціальному обладнанні, додаткових енергетичних і економічних витратах, а спроби повністю вимолотити зерно призводять до його травмування, внаслідок чого знижується схожість [30]. Плівчастість також перешкоджає якісному посіву зерновими сівалками. Західні виробники зерна створили спеціальні машини, що дозволяють ефективно очистити зернову масу пшениці спельти від плівок без негативного впливу на зернівку. В західній Німеччині і Баварії схрещуванням з пшеницею м'якою створено щільноколосі сорти спельти, суцвіття яких не розпадається на окремі колоски та легко обмолочується [31].

Нині сортимент спельти в Україні представлений вісьмома сортами озимого типу розвитку, що характеризуються цінними господарськими ознаками і можуть слугувати вихідним матеріалом в селекції.

Сорт Зоря України селекції Всеукраїнського наукового інституту селекції у Державному реєстрі сортів придатних для поширення в Україні з 2012 року [32]. Рекомендовані зони вирощування – Степ, Лісостеп, Полісся. Сорт не зазнав

істотного впливу селекційного вдосконалення, оскільки створений добром з дикоростучої природної популяції спельти. Має висоту соломини до 120 см, в зв'язку з чим рослини сприйнятливі до вилягання. Характеризується високою комплексною стійкістю до хвороб і шкідників (9 балів). З точки зору практичної селекції є цінним вихідним матеріалом, оскільки містить у зерні білка до 25 %, клейковини – до 50 %. Проте наявність певних негативних характеристик, зокрема, низька якість обмолоту зерна (до 70 %) і високостебловість, обумовлює необхідність додаткових досліджень з можливості нівелювання успадкування небажаних ознак нащадками [15, 33].

Сорт Європа селекції Уманського національного університету і Всеукраїнського наукового інституту селекції. Занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2015 р. і рекомендований до вирощування у зонах Степу, Лісостепу і Полісся [32]. Створений запиленням сорту пшениці м'якої озимої Копилівчанка пилком сорту пшениці спельти озимої Зоря України та за поліпшуючих доборів серед гібридних поколінь [15]. Селекційна робота за створення сорту позитивно відтворилася у поліпшенні якості обмолоту зерна (до 80 %), зниженні висоти рослин (до 110 см), проте зумовила зниження вмісту в зерні білка (до 16 %) і клейковини (до 35 %) [15, 34, 35].

Сорти Евріка і Вишиванка створені вченими Білоцерківської дослідної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. У Державному реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні з 2020 року [32, 36]. Сорт Евріка створений індивідуальним добром із радіомутанта Білоцерківський скверхед 47 сорту пшениці м'якої озимої Білоцерківська 47. Характеризується підвищеною зимо- і посухостійкістю, якістю обмолоту до 85 %. Має потенціал врожайності 9,0 т/га. Сорт Вишиванка створений багаторазовим добром методом педігрі з чорнобильського радіомутанту 756/89, який утворився в зоні відчуження ЧАЕС в 1986–1987 рр. Сорт ранньостиглий, тривалість періоду вегетації складає 248–270 днів, невибагливий до умов вирощування. Морозостійкість і посухостійкість – високі. Цінний за

хлібопекарськими властивостями, має вміст у зерні білка біля 15 %, клейковини – біля 30 %, силу борошна – 280 одиниць альвеографа, об'єм хліба зі 100 г борошна – 960 мл.

Сорт Attergauer Dinkel селекції Probstdorfer Saatzucht GmbH & Co KG (Австрія) у Державному реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні з 2019 р. [32]. Вважається «генетично чистим» сортом спельти, оскільки за його створення не проводили схрещувань з іншими видами пшениці. Надзвичайно витривалий, середньостебловий (висота рослин до 110 см), з відмінною зимостійкістю (9,0 балів), стійкістю до бурої іржі (9,0 балів), високим показником числа падіння [37].

Сорт Mv Martongold селекції Agrártudományi Kutatóközpont, Magyar Tudományos Akadémia, Martonvásár (Угорщина) у Державному реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні з 2022 р. [32]. Сорт ранньостиглий, тривалість періоду вегетації складає 267–271 діб. Характеризується високостебловістю (висота рослин – 118–133 см). Має вміст в зерні білка 15,7–16,8 %, клейковини – 32,3–35,2 %. Сприйнятливий до вилягання (4–7 балів). Стійкість до осипання – 9 балів, посухи – 6–7 балів, борошнистої роси – 4–9 балів, бурої іржі – 5–9 балів, фузаріозу колосу – 9 балів, мухи шведської – 9 балів, клопа-черепашки – 8–9 балів [38].

Сорт Білбері створено в Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннєзнавства і сортовивчення НААН України, занесено до Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні у 2023 р. [32]. Створено за запилення сорту пшениці м'якої озимої Чорноброва пилком оригінального сорту пшениці спельти озимої Schwabencorn та проведення серії перерваних беккросів. Перший в Україні сорт спельти із фіолетовим зерном. Характеризується висотою рослин до 100 см. Має вміст в зерні білка – 17 %, клейковини – 45 %. Придатний для виготовлення бісквітних виробів, печива, крекерів тощо [7, 36].

Сорт Paracelsus селекції SAATBAU LINZ eGen (Австрія), у Державному реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні з 2024 р. [32].

Високоадаптивний, ранньостиглий сорт з високим потенціалом урожайності. Характеризується низькостебловістю, високою стійкістю до вилягання, посухо- і зимостійкістю.

У Інституті рослинництва імені В. Я. Юр'єва зібрана цінна колекція вихідного матеріалу спельти, що нараховує 26 зразків європейських та азійських підвидів. До її складу входять десять сортів, п'ять селекційних ліній і 11 форм народної селекції [39]. Колекція регулярно доповнюється новими спельтоїдними формами, що мають перспективні селекційні ознаки й отримані в процесі наукових досліджень. На основі цих зразків було створено лінії пшениці м'якої ярої (NAK 200–1/11, NAK 195–1/11, NAK 185/11, NAK 170/11), що вирізняються високою продуктивністю, а також лінії (NAK 180–п/11, NAK 254–2/11, NAK 221–п/11, NAK 221–1/11, NAK 228–п/11) з підвищеним вмістом клейковини I групи якості. Крім того, відібрані озимі форми спельти з укороченим стеблом, високою стійкістю до вилягання та спрощеним обмолотом зерна [40–42].

Отже, пшениця спельта є унікальним джерелом селекційних ознак і цінним вихідним матеріалом для селекційно-генетичного поліпшення пшениці м'якої та створення нових сортів з підвищеною екологічною пластичністю, покращеним біохімічним складом зерна та адаптивністю до сучасних викликів агровиробництва. Вона має значний потенціал для створення сортів для органічного землеробства, здорового і дієтичного харчування тощо. До нині селекції спельти в Україні приділяли мало уваги. Це обумовлює необхідність інтенсивного селекційного процесу створення та всебічного аналізу нових зразків спельти з метою залучення їх в селекційні програми отримання нових сортів культури.

1.2. Створення вихідного матеріалу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.

За сучасного розвитку генетики та селекції пшениці чільне місце відводиться віддаленій гібридизації як методу генетичної реконструкції рослин за морфологією колосу, збільшення його за розмірами, кількістю зерен, крупністю зернівок і масою зерна, підвищення імунітету рослин до хвороб і шкідників, зимостійкістю, посухостійкістю, збільшення вмісту в зерні білка та незамінних амінокислот в білку тощо [43, 44]. У цьому аспекті важливе значення має міжвидова гібридизація, що дає можливість одержання високопластичного нового в генетичному відношенні вихідного матеріалу для селекції пшениці [43, 45, 46]. Від надійності, якості та різноманіття якого залежить успішне вирішення основних задач, які стоять перед сучасною селекцією [45].

Упродовж усього розвитку селекції інтерес викликала можливість перенесення генетичного матеріалу від спельти до пшениці м'якої, адже вид *Triticum spelta* L. є природним джерелом цінних генів, здатних розширити генофонд культури, підвищити її адаптивні властивості та якість зерна [47]. Спельта характеризується високим потенціалом як джерело генетичного різноманіття для розширення спектру агрономічно важливих ознак пшениці м'якої, зокрема, стійкості до хвороб і несприятливих кліматичних умов, якості і біохімічного складу зерна [35, 48].

Генетичні дослідження спельти розпочато ще у другій половині XIX століття. Встановлено, що низка генів, що контролюють формування адаптивного потенціалу спельти, могли успадковуватися за гібридизації від тетраплоїдних пшениць. До таких генів належать, зокрема, *TaQ-5A*, *TaCOP1-6A*, *TaHY5-like*, *TaPHYA-4B* і *5A-CentAHG-H2*, що контролюють морфологічні та таксономічні особливості спельти, зокрема, плівчастість зерна, архітектуру колосу, якість обмолоту, пізньостиглість, а також забезпечують специфічну стійкість до біотичних і абіотичних чинників, що сприяє виживанню рослини в екстремальних умовах [49–53].

Міжвидова гібридизація з пшеницею м'якою є основним напрямом удосконалення і спельти, і пшениці м'якої, оскільки дає змогу отримувати нові гібридні форми з покращеними кількісними і якісними показниками [35, 41, 43]. Для забезпечення ефективної селекційної роботи та розширення генетичного різноманіття в наукових установах створюються спеціалізовані колекції зразків, що сприяють збереженню й розширенню генетичної мінливості та забезпечують можливість ретельного аналізу зразків за добору оптимальних батьківських компонентів для гібридизації на основі комплексу цінних ознак. У світі активно формуються генетичні банки зразків *Triticum spelta* L., що досліджуються за морфологічними, молекулярно-генетичними, фізіолого-біохімічними характеристиками, показниками структури врожаю та хлібопекарськими якостями зерна [51].

Вчені зазначають, що застосування методу міжвидової гібридизації за створення вихідного селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої забезпечує досягнення позитивних результатів [35, 41, 44–47]. Залучення таких гібридів до селекційних програм поліпшення господарсько-цінних ознак різних видів пшениці дає змогу значно розширити генетичну мінливість за рекомбінаційного процесу в гібридах від схрещування зразків, що відносяться до різних генетичних пулів [45].

Схрещування видів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. вдається без ускладнень, оскільки вони мають ідентичний геномний і хромосомний склад окремих субгеномів. У дослідженнях І. І. Місюри зі співавторами [47] показано, що на рівень зав'язування насіння істотно впливає генотип материнської рослини, дата колосіння і цвітіння, спосіб запилення тощо. За використання пшениці м'якої материнською формою рівень зав'язування насіння був істотно вищим (до 40 %), ніж за запилення спельти пилком пшениці м'якої (до 15 %). Ці дані узгоджуються з результатами досліджень інших вчених, які також фіксують низький рівень перехресної сумісності у пшениці спельти [54, 55]. Встановлено [47], що за схрещування *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. відсутні проблеми несумісності, пов'язані з впливом Kr-генів. Найвищий рівень

зав'язування насіння фіксували при запиленні квіток материнської форми на п'яту–шосту добу після кастрації.

Гібридизацію видів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. вчені почали проводити у XIX–XX століттях, зокрема, Л. Вільморен, А. Малиновський, Б. Каянус, Д. Латуверс, Ф. Лейті і А. Бошнакян, В. Нільсон-Лейснер, В. Рімпау, А. Малл, Е. Чермак та інші. Ними встановлено, що гібриди першого покоління між пшеницею м'якою і спельтою за показниками продуктивності наближаються до спельти. У другому поколінні відбувається розчеплення рослин за фенотипом на більш-менш виражені спельти, пшениці м'які та проміжні форми [56]. Деякі вчені за морфологією колосу в гібридів F_2 *Triticum aestivum* L. \times *Triticum spelta* L. отримали розщеплення за моногенною схемою 3 : 1 з кількісною перевагою форм із спельтоїдним типом колосу [57]. Проте, більшість вчених отримували розщеплення за схемою 12 : 3: 1 або 15 : 1 з домінуванням ознак спельтоїдності [54, 58, 59].

У дослідженнях С. М. Січкаря зі співавторами [57] було проаналізовано спадковість морфологічних ознак колосу і встановлено, що у простих та беккросних гібридів F_1 і F_2 , отриманих від схрещування спельти з пшеницею м'якою форма, плівчастість, остистість колосу та висота рослин, успадковуються моногенно. Кількість колосків у колосі визначається адитивною взаємодією генів обох батьківських форм, що спричиняє статистично достовірне збільшення цього показника у гібридів першого і другого поколінь. Зафіксовано, що зі збільшенням частки генів спельти в геномі беккросних гібридів морфологічні параметри колосу наближаються до спельти.

Гібридизація між *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. може слугувати альтернативою для усунення несприятливих характеристик спельти та поліпшення поживної цінності пшениці м'якої [60, 61]. Проте потенційні переваги таких гібридів нині ще достатньо не вивчені [60, 62]. Створені гібриди характеризуються відносно вільним обмолотом зерна та стійкістю до вилягання, як у пшениці м'якої та можуть слугувати перспективним джерелом вихідного матеріалу за створення нових сортів пшениці [5, 54]. Гібриди F_1 , отримані

внаслідок схрещування пшениці м'якої зі спельтою, виявили значний ефект гетерозису за такими показниками, як урожайність зерна, кількість зерен у колосі та маса його насінин [54, 55].

У процесі селекційної роботи в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України було отримано позитивні практичні результати щодо використання генотипів, отриманих за схрещування пшениці м'якої озимої з дикими та культурними спорідненими видами, зокрема, зі спельтою. Це підтверджує ефективність інтрогресивної рекомбінантної мінливості у селекційно-генетичних програмах поліпшення пшениці [63, 64].

У низці європейських країн (Німеччина, Чехія, Швейцарія, Італія, Польща, Австрія, Іспанія, Франція) створено сорти пшениці м'якої, зокрема, для органічного землеробства, які в родоводі містять генетичний матеріал *Triticum spelta* L., а гібридні форми використовуються джерелом високого вмісту в зерні білка, адаптивності та придатності до органічного виробництва [29, 60, 65–69].

В Україні дослідження з використання *Triticum spelta* L. для селекційно-генетичного поліпшення *Triticum aestivum* L. активно ведуться в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України, Білоцерківській дослідно-селекційній станції ІБКіЦБ НААН України, Миронівському інституті пшениці НААН України, Уманському національному університеті МОН України, Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України, Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннізнавства і сортовивчення НААН України [3–6, 70, 71]. За результатами досліджень, створено низку перспективних гібридних форм, що можуть слугувати цінним вихідним матеріалом для подальшого селекційного процесу.

В Уманському національному університеті за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. створено колекцію вихідного матеріалу з понад 500 зразків – пшениці м'якої озимої, понад 200 зразків – пшениці спельти озимої, що можуть слугувати донорами генів окремих господарсько-цінних ознак, а деякі зразки характеризуються сукупним поєднанням низки важливих

ознак і властивостей. До Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні занесено сорти пшениці м'якої озимої Фрея, Артаплот, Уманська царівна, Євразія, що містять генетичний матеріал пшениці спельти озимої, завдяки чому характеризуються підвищеним вмістом в зерні білка і клейковини [54–56].

За проведених І. О. Полянецькою досліджень [56] в умовах Уманського національного університету з гібридизації *T. aestivum* / *T. spelta* спостерігали широкий формоутворювальний процес за низкою показників. Всі отримані зразки було умовно поділено на три групи: 1) з ознаками пшениці м'якої; 2) спельтоїдні форми; 3) перехідні форми. Перша та третя групи характеризувались відносною вирівняністю ознак і за морфологією рослин були подібні до пшениці м'якої, натомість спельтоїдні гібриди були не вирівняними. Серед них спостерігали високостеблові, середньостеблові та порівняно низькостеблові рослини (розмах мінливості за висотою рослин становив 69–130 см) з різним рівнем продуктивної кущистості (від 3 до 9 шт. стебел/рослину), з різною міцністю соломини, остистістю і забарвленням колосу та зернівки, з ламким, пружним і середньої ламкості колосом, з широкими і типовими листковими пластинками, різною формою куща тощо. Фіксували формування всіх основних типів колосу, зокрема, веретеноподібний, призматичний та булавоподібний (скверхедний). Варіабельність забарвлення колосу була від світло-жовтого до світло-коричневого. Виділено гібриди з довгим та коротким колосом (12–25 см), і різною щільністю колосу (14,5–29,5 шт/10 см колосового стрижня). Кількість колосків у колосі варіювала від 16 до 24 шт. Виділено один зразок з гіллястою формою колосу та відмічено плівчасті гібриди з низькою якістю обмолоту.

У Миронівському інституті пшениці селекція спельти ведеться за двома основними напрямками: 1) створення сортів спельти для комерційного використання; 2) залучення спельти до гібридизації з пшеницею м'якою для інтрогесії цінних генів. За реалізації першого напрямку вченими інституту створено і виділено низку перспективних генотипів спельти, що мають високий

вміст білка (до 17%), добрі хлібопекарські якості, підвищену стійкість до основних грибкових хвороб (борошниста роса, бура та жовта іржа, септоріоз), високу морозостійкість і посухостійкість [72].

Другий напрям передбачає залучення спельти в систему гібридизації з пшеницею м'якою для розширення адаптивних, кількісних і якісних властивостей обох видів. Увагу приділяють аналізу генотипів у поколіннях F₃–F₆ і добору стабільних форм з високим рівнем прояву господарсько-цінних ознак, зокрема, врожайністю у межах 5,5–6,5 т/га, вмісту в зерні білка в межах 16–17 % [73, 74].

У Селекційно-генетичному інституті ведеться селекція у напрямі створення сортів пшениці із різним забарвленням зерна (фіолетовим, синім, чорним забарвленням тощо) [7]. Це новітній світовий тренд селекції, спрямований на істотне поліпшення харчових властивостей зерна пшениці за біофортифікації біоактивними пігментами [75–77]. З цією метою вчені проводять гібридизацію спельти з сортами пшениці з різнокольоровим зерном. Результатом досліджень стало створення першого в Україні сорту спельти Білбері з фіолетовим зерном [7].

На основі міжвидових схрещувань *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. створено низку сортів і ліній обох видів, що поєднують переваги обох батьківських форм. Зокрема, у Німеччині створено гібрид спельти озимої Frankenstein, що поєднує високу якість зерна з підвищеною стійкістю до патогенів, у Польщі – сорт Sandomierz, який демонструє високу морозостійкість і якість борошна [78].

Основною метою гібридизації видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. є поліпшення показників якості зерна пшениці м'якої, зокрема, вмісту в зерні білка і клейковини, що визначаються запасними білками глютенінами і гліадинами [79, 80]. Запасні білки є добре вивченою генетичною системою у виду *Triticum aestivum* L. Спирторозчинні мономерні білки – гліадини – кодуються шістьма основними локусами, локалізованими на коротких плечах хромосом першої і шостої гомеологічних груп (*Gli-A1*, *Gli-B1*, *Gli-D1*, *Gli-A6*,

Gli-B6, *Gli-D6*), а також низкою мінорних локусів на коротких плечах хромосом першої гомеологічної групи [81, 82]. На довгих плечах хромосом 1A, 1B, 1D розташовано локуси високомолекулярних субодиниць глютенінів – *Glu-D1*, *Glu-B1*, *Glu-A1*, алельний стан яких також пов'язаний з рівнем хлібопекарської якості [83, 84]. Локуси *Gli-A1*, *Gli-B1*, *Gli-D1*, які містять кластери генів гліадинів, тісно зчеплені з локусами низькомолекулярних субодиниць глютенінів *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-D3*, що безпосередньо впливають на хлібопекарські властивості [85, 86].

Серед алелей гліадинів і високомолекулярних субодиниць глютенінів у спельти ідентифіковано алелі, ідентичні алелям м'якої пшениці і нові алелі, характерні лише для спельти. Нові алелі можуть слугувати джерелом для розширення генофонду м'якої пшениці за генами, що визначають хлібопекарські якості. Дослідженнями С. М. Січкаря [87] проведено аналіз зразків спельти озимої та міжвидових гібридів з пшеницею м'якою за алельним складом генів у локусах *Glu-A1* та *Glu-D1* і виділено окремі зразки спельти та гібриди, що мають високий потенціал за використання в селекційних програмах. Встановлено, що присутність алеля *d* у локусі *Glu-D1* позитивно впливає на хлібопекарські властивості гібридів. Генетичне удосконалення спельти за схрещування з пшеницею м'якою, що містить виключно алель *d* у локусі *Glu-D1*, може сприяти отриманню ліній з підвищеним вмістом білка та покращеними технологічними показниками зерна.

Гібриди *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. демонструють різний ступінь гетерозису за важливими агрономічними ознаками, зокрема, урожайність, кількість зерен у колосі, висота рослин, маса 1000 насінин, вміст білка та клейковини. Встановлено, що за вмістом в зерні білка та клейковини гібридні форми можуть істотно перевищувати пшеницю м'яку та наближатися до рівня спельти, водночас зберігаючи задовільні хлібопекарські властивості [57, 88–91].

Вченими кафедри генетики, селекції рослин та біоресурсної інженерії Вармінсько-Мазурського Університету в Ольштині (Польща) проаналізовано 36

ліній, отриманих за простих парних схрещувань пшениці м'якої зі спельтою, і встановлено, що вміст клейковини у зерні гібридних ліній (28,2–46,7 %) був достовірно вищим порівняно з пшеницею м'якою (25,9–29,9 %) і статистично не відрізнявся від показників у зерні спельти (32,2–40,9 %). Вміст білка в зерні гібридних ліній (13,4–19,1 %) був достовірно вищим, ніж у пшениці м'якої (12,7–13,8 %). Хліб, виготовлений з зерна створених гібридних популяцій, вирізнявся високою якістю та кращими хлібопекарськими властивостями, порівняно з хлібом зі спельтового борошна [88].

Нині відомо приклади успішних селекційних програм поліпшення пшениці за використання спельти, зокрема:

- CIMMYT AGG-WHEAT – міжнародна програма, що передбачає швидке інтрогресування ознак за допомогою маркерно-асистованої селекції (MAS). У рамках програми за використання спельти створено десятки ліній, які поєднують високу якість зерна, посухостійкість та резистентність до хвороб [92, 93].
- Індійські програми (PBW550, DBW17) – у цих селекційних проєктах за допомогою MAS вдалося витіснити небажані гени (наприклад, *Sec-1*) та одночасно інтрогресувати алелі *Glu-B3/Gli-B1*, що сприяло підвищенню хлібопекарських якостей нових сортів [94].
- Програми біофортифікації – гібриди на основі *T. spelta* L. використовуються джерелом мікроелементів, зокрема цинку та заліза, у програмах генетичної біофортифікації, що сприяють покращенню харчової цінності зерна [95–99].

Отже, гібридизація *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. є ефективним напрямом створення вихідного матеріалу за селекційного вдосконалення пшениці м'якої і спельти. Створені гібридні лінії демонструють високу варіабельність за морфоструктурними, фенологічними та біохімічними показниками, що відкриває широкі можливості для цілеспрямованої селекції. Позитивні результати свідчать про ефективність залучення спельти донором генів за отримання вихідного матеріалу з підвищеним вмістом в зерні білка,

покращеними хлібопекарськими властивостями, стійкістю до абіотичних і біотичних чинників середовища.

1.3 Використання біотехнологічних методів в селекції пшениці

Нині в селекції пшениці широко використовуються досягнення біотехнології, що доповнюють традиційні методи схрещування та добору, даючи змогу значно прискорити створення нових сортів і ліній з цінними господарськими ознаками. Біотехнологічні методи забезпечують точне керування спадковістю, зниження впливу випадкових факторів та розширення можливостей міжвидової гібридизації [100–102].

Серед основних підходів, що застосовуються в селекції пшениці, можна виокремити соматичний ембріогенез – основний метод розмноження злакових культур в умовах ізольованої культури [101, 102]. Цей підхід передбачає ініціацію морфогенної калюсної тканини з експланта, з регенерацією ембріоїдних структур у поверхневих шарах калюсу, з яких формуються соматичні клони. Для забезпечення генетичної стабільності рослин-регенерантів необхідно систематично проводити цитологічні та біохімічні дослідження кожної окремої рослини [101]. У процесі непрямого соматичного ембріогенезу часто виникають генетично змінені рослини, що зумовлено соматичною мінливістю, причиною якої є початкова генетична неоднорідність соматичних клітин вихідної тканини або генетичні й епігенетичні зміни, індуковані умовами культивування, зокрема, впливом фізико-хімічних чинників [101, 104].

Цитогенетична нестабільність калюсних структур найчастіше проявляється у вигляді поліплоїдії та хромосомних відхилень. За спостереженнями В. А. Кунаха [105], порушення хромосомного балансу під час культивування сприяє зростанню генетичної гетерогенності клітинної популяції. Порівняльне дослідження хромосомної мінливості в культурі

тканин, вирощених на середовищах з різним складом регуляторів росту, дало змогу M. J. M. Smulders та G. J. de Klerk [106] висунути гіпотезу про ймовірність ендомітотичної поліплоїдизації. Вчені вказують на основні причини, що спричиняють цей процес: 1) активація поділу поліплоїдних клітин, що у цілісній рослині зазвичай перебувають у стані спокою; 2) індукована регуляторами росту поліплоїдизація соматичних клітин, зокрема, під дією цитокінінів і ауксинів. Унаслідок цих процесів формується неоднорідна популяція клітин різного рівня плоїдності, який у багатьох випадках перевищує показники вихідних експлантів.

Культура ізольованих зародків пшениці є ефективним методом подолання стерильності гібридів першого покоління за віддаленої гібридизації [107]. Вона сприяє розширенню генетичної різноманітності гібридної популяції та збагаченню генофонду вихідного селекційного матеріалу [108]. Життєздатність отриманих гібридних форм істотно залежить від поєднання батьківських компонентів у конкретній комбінації схрещування. Гібридні регенеранти, сформовані в системі *in vitro*, характеризуються не лише підвищеною життєздатністю, а й варіативністю морфологічних ознак [109]. Ефективність регенерації та частка виходу життєздатних рослин, зазвичай, залежать від генотипу материнського компоненту [110]. Однак одним із основних викликів за роботи з віддаленими гібридами залишається процес диплоїдизації гібридних форм, необхідний для стабілізації їх генетичного апарату та використання в селекції [109, 110].

Одним із найпоширеніших методів є регенерація рослин з окремих клітин або тканин *in vitro*. Зокрема, культура незрілих зародків використовується для подолання бар'єрів за міжвидової гібридизації, що є актуальним при створенні вихідного матеріалу за участю *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. [108, 111]. Також широко використовується культура мікроспор для отримання гаплоїдів, що дає змогу скоротити кількість поколінь за досягнення гомозиготності [112, 113].

Генетична трансформація – метод, що дає змогу цілеспрямовано переносити окремі гени в геном пшениці за використання *Agrobacterium tumefaciens* або біобалістики [114–117]. Генетична трансформація рослин може здійснюватись за допомогою *Agrobacterium*-опосередкованого методу або прямим перенесенням генів. Найпоширенішим методом для рослин є генетична трансформація за використання *Agrobacterium tumefaciens* для перенесення екзогенних Т-ДНК у рослинну клітину. За використання цього методу отримано трансгенні форми пшениці, стійкі до гербіцидів, хвороб, шкідників, з покращеною якістю зерна [117, 118]. Проте, через регуляторні обмеження, трансгенні сорти ще не отримали широкого розповсюдження в агровиробництві України.

Сучасні досягнення в галузі генетичної трансформації свідчать про можливість отримання трансгенних рослин без використання традиційної культури *in vitro*. Ще у 1998 році Bechtold N. і Pelletier G. запропонували метод трансформації *in planta*, що передбачає внесення чужорідного генетичного матеріалу безпосередньо в інтактну рослину без культивування тканин *in vitro* [119].

Одним із основних обмежень традиційної трансформації *in vitro* є утворення химерних рослин та прояв соматоклональної мінливості, що ускладнює добір стабільних трансгенних матеріалів. Особливо актуальною ця проблема є для однодольних культур, зокрема, пшениці, що характеризується низьким рівнем морфогенетичного потенціалу [120–123]. У низці випадків це перешкоджає регенерації повноцінних фертильних рослин. Використання агробактеріальної трансформації *in planta* дозволяє уникнути зазначених труднощів за трансформації клітин безпосередньо в цілісній рослині.

Вченими Інституту молекулярної біології та генетики НАН України за досліджень на сортах пшениці озимої Золотоколоса та ярої Bobwhite, продемонстровано ефективність застосування цього підходу для отримання трансгенних рослин. Результати показали, що з 620 можливих насінин сорту Золотоколоса було отримано 293 насінини (46,4 %), з яких 4 (13,3 %) мали

трансформований ген *nptII*. Натомість, у сорту Bobwhite трансформації не фіксували [124].

Маркер-опосередкована селекція (MAS – Marker-Assisted Selection) – метод, що базується на використанні молекулярних маркерів, пов'язаних з селекційно-цінними ознаками. Він дає змогу проводити добір на ранніх етапах розвитку рослин, виключаючи необхідність багаторазового польового фенотипування. MAS особливо ефективна для ознак, що важко піддаються оцінюванню, зокрема, стійкість до іржі та фузаріозу колосу, посухостійкість тощо [125–128].

Геномне редагування (CRISPR/Cas9 та інші системи) дає можливість здійснювати точкове редагування генів без інтеграції чужорідної ДНК. На відміну від трансгенезу, за геномного редагування можна отримувати «немодифіковані» рослини з визначеними змінами, що спрощує їх легалізацію. Відомо приклади редагування генів, що контролюють стійкість до посухи, довжину стебла, форму колосу, підвищений вміст крохмалю та антиоксидантів тощо [129–132].

Оміксні технології (геноміка, протеоміка, транскриптоміка) дали змогу розшифрувати складний геном пшениці, що, сприяло ідентифікації генів, пов'язаних із важливими агрономічними ознаками. Аналіз експресії генів у відповідь на стреси або під час розвитку зерна відкриває нові можливості для молекулярного маркерного добору [133–135].

Гаплоїдія у селекції пшениці має найширше практичне використання серед сучасних біотехнологічних методів. Отримання гаплоїдів із наступним подвоєнням хромосом дає можливість отримати повністю гомозиготні лінії впродовж одного року, що є перевагою над традиційною селекцією. Це особливо ефективно на початкових етапах створення сортів. За гаплоїдії можна швидко отримати повністю гомозиготні лінії без потреби багаторічного проведення інбредних схрещувань. Завдяки використанню цієї технології вченими Угорщини, Канади, Китаю, Франції було створено високопродуктивні сорти пшениці м'якої [136–139].

Нині розроблено ефективні біотехнологічні методи для отримання гаплоїдних рослин та подвоєних гаплоїдів з мікроспор різних генотипів *Triticum aestivum* L. [140]. Реалізація морфогенезу в культурі пиляків залежить від низки чинників: складу живильного середовища, співвідношення фітогормонів у субстраті, фізичних умов культивування, генотипу донорного матеріалу тощо [141]. Особливо підкреслюється значення генотипу як критичного чинника, що визначає ефективність андрогенезу. Встановлено, що варіації в результативності культивування пиляків безпосередньо пов'язані з генетичними особливостями вихідних зразків [142]. Генотипова залежність проявляється у частці виходу регенерантів і в частоті отримання гомозиготних форм, що підтверджується результатами досліджень гаплоїдних технологій зернових культур, зокрема, пшениці [141, 142].

Отже, біотехнологічні методи істотно підвищують ефективність селекційного процесу, даючи змогу швидше й точніше досягти бажаного результату. Поєднання традиційних методів селекції з біотехнологічними дає змогу створювати нові сорти пшениці з покращеними агрономічними, технологічними і харчовими властивостями для сучасного сільського господарства.

Висновки за розділом 1:

1. Вид *Triticum spelta* L. – унікальне джерело селекційних ознак і цінний вихідний матеріал для селекційно-генетичного поліпшення пшениці м'якої озимої, на основі якого можна створювати нові сорти з підвищеною якістю зерна та покращеним його біохімічним складом, екологічною пластичністю та адаптивністю.

2. Гібридизація видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. є ефективним напрямом селекційного вдосконалення і створення вихідного матеріалу пшениці м'якої і спельти озимих з високою індивідуальною

продуктивністю колосу, підвищеним вмістом в зерні білка, покращеними хлібопекарськими властивостями, стійкістю до абіотичних і біотичних факторів навколишнього природного середовища.

3. Використання біотехнологічних методів істотно підвищує ефективність селекційного процесу створення вихідного матеріалу пшениці. Поєднання традиційних методів селекції з біотехнологічними дає змогу створювати нові сорти культури з покращеними агрономічними, технологічними і харчовими властивостями для сучасного сільського господарства.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводили впродовж 2022–2026 рр. на дослідних ділянках кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології і в навчально-науковій лабораторії генетики, селекції та насінництва Уманського національного університету.

2.1 Ґрунтово-кліматичні умови

Експериментальну частину досліджень виконано на дослідних ділянках кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології Уманського національного університету, що розташовані у Правобережному Лісостепу України, в умовах нестійкого зволоження. Абсолютна висота місцевості становить біля 245 м над рівнем моря. Рельєф поля представлено вирівняною поверхнею вододільного плато з слабо вираженими схилами ($1-2^\circ$) північно-західної та південно-східної орієнтації. Рівень ґрунтових вод залягає на глибині до 22–24 м. [143, 144].

Ґрунт дослідного поля чорнозем опідзоленою важкосуглинковий, сформований на лесовій материнській породі, що є типовим для південної частини Правобережного Лісостепу та характеризується поєднанням ознак чорноземного процесу ґрунтоутворення із проявами опідзолення. У структурі профілю виділяється потужний гумусовий горизонт темно-сірого до майже чорного забарвлення, під яким спостерігається слабо виражений світліший прошарок, що відтворює часткове вимивання колоїдної фракції та гумусових сполук. Нижче залягає перехідний горизонт з більш щільною структурою та поступовим проявом карбонатності, який переходить у материнську лесову породу.

За гранулометричним складом ґрунт належить до важкосуглинкових, що зумовлює високу вологоємність, достатню буферність і оптимальну здатність до акумуляції поживних речовин. Вміст гумусу у орному шарі становить 4,0–5,5 %, реакція ґрунтового розчину слабкокісла або близька до нейтральної

($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,6\text{--}6,5$), ступінь насичення основами – високий (80–85 %). Забезпеченість ґрунту доступними формами елементів мінерального живлення – від середньої до підвищеної: вміст мінерального азоту ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) – 10–25 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору (P_2O_5 за Чириковим) – 122 мг/кг, обмінного калію (K_2O за Чириковим) – 135 мг/кг, однак, внаслідок процесів опідзолення, спостерігається тенденція до зниження рухомого фосфору в нижній частині гумусового горизонту та періодичне вимивання катіонів лужноземельних металів у профіль [143–145].

В цілому ґрунт дослідного поля сприятливий для вирощування сільськогосподарських культур, зокрема, пшениці озимої. Висока природна родючість поєднується з доброю структурністю ґрунту, здатністю утримувати продуктивну вологу та забезпечувати рослини оптимальним мінеральним живленням. Проте важкосуглинкова текстура зумовлює ризик ущільнення орного шару за низького агрофону, тому необхідно дотримуватися раціональної системи обробітку ґрунту, уникнення переущільнення, а також удобрення за результатами агрохімічного аналізу з акцентом на підтримання рівня доступного фосфору та азоту.

Регіон характеризується помірно-континентальним кліматом. Перші осінні приморозки фіксують у середині жовтня. Середньобагаторічна кількість опадів (за даними метеостанції Умань) складає 586 мм. Найбільша кількість опадів (до 70 %) випадає у осінньо-весняний і літній період. Період з середньодобовою сумою температур вище 10 °C триває 140–160 діб, а з температурою понад 5 °C – 225 діб. Поверхневі стоки талих вод здебільшого незначні, що сприяє вбиранню і накопиченню запасів вологи в ґрунті навесні. Панівний напрямок вітрів у регіоні – західний.

Весна настає з переходом середньодобової температури повітря через 0 °C і продовжується впродовж двох місяців. Танення снігу відбувається повільно. Настання літа фіксують за переходу середньодобової температури повітря вище 15 °C. У цей період спостерігають високі температури з середньодобовим значенням 19 °C. Іноді спостерігається літня посуха, що характеризується

тривалим і значним дефіцитом опадів та підвищеною температурою повітря. Осінь сонячна, тепла іноді затяжна. Її настання фіксують за переходу середньодобової температури повітря нижче 0 °С (середина листопада), що супроводжується хмарною, дощовою погодою. Спостерігається мінлива температура повітря з періодичним чергуванням дощу та снігу. Зима зазвичай, м'яка, без аномальних морозів і снігопадів. Часто спостерігаються відлиги, що супроводжуються розмерзанням ґрунту і сприяють кращому засвоєнню талих вод. В цілому середньодобова температура в зимові місяці варіює в межах -2–+3 °С, в період відлиг вона може підвищуватися до +7–10 °С.

В цілому ґрунтово-кліматичні умови регіону сприятливі для вирощування більшості сільськогосподарських культур, зокрема, пшениці озимої. Проте несприятливі погодні умови в окремі роки призводять до суттєвого зниження показників продуктивності.

Період проведення досліджень (2022–2025 рр.) характеризувався мінливими погодними умовами, що дало можливість визначити рівень адаптивного потенціалу та встановити вплив умов року на продуктивність досліджуваних зразків.

Погодні умови 2022–2023 сільськогосподарського року за сумарною кількістю опадів (583,5 мм) наближалися до середньобагаторічної норми. У вересні–жовтні 2022 року фіксували оптимальні умови вологозабезпечення і температурний режим, що дозволило вчасно провести сівбу озимих культур і отримати дружні сходи (табл. 2.1). Зима і початок весни характеризувалися підвищеними температурами повітря з майже повною відсутністю снігу, що сприяло ранньому відновленню весняної вегетації. Зливові дощі квітня і знижені середньодобові температури травня затягнули фази колосіння і цвітіння.

Восени 2023 р. фіксували недобір опадів і підвищені температури повітря, що перешкоджало вчасному проведенню сівби. Проте теплі та достатньо дощові погодні умови в кінці жовтня і листопаді сприяли типовому росту і розвитку рослин пшениці озимої.

Таблиця 2.1

**Погодні умови у період проведення досліджень
(за даними метеостанції Умань)**

Сільськогосподарський рік	Місяць												Сума
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Кількість опадів, мм													
Середньо-багаторічна	61	43	43	40	38	34	36	41	52	81	68	49	586
2022–2023	99,2	10,0	71,8	53,1	6,0	20,5	27,2	129,6	42,4	15,8	92,5	15,4	583,5
2023–2024	4,2	33,5	62,3	55,0	29,8	14,9	89,5	56,2	41,8	56,5	17,9	12,1	487,2
2024–2025	51,8	99,4	45,1	61	12,4	7,8	12,5	26,9	101,8	11,2	112,3	23,0	565,2
Температура повітря, °C													
Середньо-багаторічна	14,5	8,3	2,8	-1,8	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	8,8
2022–2023	13,1	10,0	3,7	-0,4	0,2	-0,2	5,1	8,8	15,4	19,6	21,3	22,8	9,9
2023–2024	18,4	11,7	4,6	1,2	-1,6	4,2	4,5	13,0	15,3	21,2	24,3	19,7	11,8
2024–2025	16,2	10,8	2,6	0,4	2,1	-3,9	6,7	10,3	13,1	19,3	22,4	19,7	10,0
Відносна вологість повітря, %													
Середньо-багаторічна	73	80	87	88	86	85	82	68	64	66	67	68	76
2022–2023	79	78	89	89	89	81	72	80	56	64	68	68	69
2023–2024	94	78	89	89	89	81	72	80	56	64	68	58	59
2024–2025	65	80	80	90	86	74	67	61	74	63	65	63	72

Аномально тепла і малосніжна зима 2024 р. сприяла оптимальній перезимівлі озимих культур. Тепла із достатньою кількістю опадів весна 2024 року забезпечила раннє відновлення весняної вегетації і настання фази колосіння–цвітіння в оптимальні строки (друга декада травня). Впродовж червня липня 2024 р. зафіксовано суттєвий недобір опадів (-74,6 мм від норми) у поєднанні з надмірно теплою погодою, що призвело до посухи.

Осінь 2024 року за погодними умовами наближалася до норми і характеризувалась достатньою кількістю опадів і оптимальним температурним режимом, що дозволило своєчасно провести сівбу і отримати рівномірні сходи. Зима 2024–2025 року була теплою і малосніжною, що забезпечило умови для раннього відновлення весняної вегетації. Проте суттєвий недобір опадів, який

фіксували в період з січня до квітня, перешкоджав нормальному росту і розвитку рослин пшениці. Зливові дощу травня дали змогу поповнити запаси ґрунтової вологи, проте червнева посуха їх вичерпала. Отже, за сумарною кількістю опадів 2024–2025 сільськогосподарський рік перевищував попередній, проте їх нерівномірний розподіл зумовив зниження рівня продуктивності пшениці озимої.

Отже, ґрунтово-кліматичні умови регіону проведення досліджень сприятливі для впровадження селекційних програм створення високопродуктивного вихідного матеріалу пшениці м'якої та пшениці спельти озимих.

2.2 Характеристика вихідного селекційного матеріалу

До системи гібридизації залучали сорти пшениці м'якої озимої Фаворитка, Лісова пісня, Легенда миронівська, Панна, Золотоколоса, Мудрість одеська, Богдана та сорти пшениці спельти озимої Зоря України і Європа (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Коротка характеристика вихідного матеріалу

Назва сорту	Установа-оригіна́тор, країна походження	Коротка характеристика
1	2	3
Пшениця м'яка озима (<i>Triticum aestivum</i> L. 2n = 6x = 42)		
Фаворитка	Інститут фізіології рослин і генетики; Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла (Україна)	Інтенсивний, високоврожайний сорт, що має високу адаптивність, продуктивну кущистість, стійкість до посухи й осипання.
Лісова пісня	Білоцерківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків (Україна)	Середньоранній, напівкарликовий сорт з високою зимо- і посухостійкістю, резистентний до листових хвороб і фузаріоза колосу.

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Золотоколоса	Інститут фізіології рослин і генетики НАН; Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН (Україна)	Сорт ранньостиглий, середньостебловий. Вирізняється високою зимостійкістю, комплексною стійкістю до борошнистої роси, септоріозу листя, бурої іржі. Має високу якість зерна та масу 1000 насінин.
Мудрість одеська	Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН (Україна)	Сорт високоврожайний, високопластичний, середньоранній, середньостебловий з відмінною якістю зерна і високою морозо- і посухостійкістю.
Панна	Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства і сортовивчення НААН (Україна)	Сорт середньостиглий, стійкий до вилягання, посухи, борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу, корневих гнилей та сажкових хвороб. Має підвищений вміст білка і клейковини. Характеризується відмінними хлібопекарськими властивостями.
Богдана	Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН; Інститут фізіології рослин і генетики НАН (Україна)	Сорт високоадаптований до мінливих умов вирощування, характеризується високою врожайністю та стабільністю. Має високий потенціал продуктивності. Стійкий до вилягання, осипання.
Легенда миронівська	Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН (Україна)	Сорт ранньостиглий, середньостебловий. Поєднує високий потенціал врожайності з високою технологічною якістю зерна. Демонструє високу стійкість до вилягання, осипання, корневих гнилей, бурої іржі, фузаріозу колосу, борошнистої роси.
Пшениця спельта (<i>Triticum spelta</i> L., 2n = 6x = 42)		
Зоря України	Всеукраїнський науковий інститут селекції (Україна)	Сорт високостебловий, пізньостиглий з високою продуктивною кущистістю і низькою якістю обмолоту зерна. Вирізняється високими показниками якості зерна, морозо-, зимостійкістю, стійкістю до бурої іржі та септоріозу.

<i>Продовження таблиці 2.2</i>		
1	2	3
Європа	Уманський національний університет садівництва; Всеукраїнський науковий інститут селекції (Україна)	Сорт середньостебловий, середньопродуктивний, пізньостиглий з поліпшеною якістю обмолоту. Virізняється високою стійкістю до вилягання, посухо-, морозо- і зимостійкістю. Має високу якість зерна.

Генетичне різноманіття вихідного матеріалу, залученого в систему схрещувань, забезпечило широкий спектр фенотипової і генотипової мінливості серед нащадків і сприяло добору цінних рекомбінантних форм.

2.3 Методика проведення досліджень

Експериментальні дослідження виконано за проведення польових і лабораторних досліджень, що передбачали вирішення проблеми вдосконалення методів створення, аналізу та добору вихідних матеріалів за реципрокних схрещувань видів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L.

У дослідженнях застосовували загальноприйнятую технологію вирощування пшениці озимої. Сівбу проводили в оптимальні для зони строки – третя декада вересня. Зразки розміщували систематичним методом [146] за чотириразової повторності. Апробацію матеріалу проводили на ділянках площею 10 м² з нормою висіву 4,5 млн. шт. насінин/га. Регулювання чисельності бур'янів проводили вручну, що забезпечило мінімізацію застосування хімічних засобів захисту та об'єктивну оцінку вихідного матеріалу.

Дослід 1. Створення вихідного матеріалу пшениці за реципрокних схрещувань *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. З метою створення нового вихідного матеріалу проводили реципрокні схрещування сортів пшениці м'якої озимої із пшеницею спельтою озимою (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Схема реципрокних схрещувань за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.

Залучені до системи гібридизації сорти вирізнялися низкою господарсько-цінних показників і слугували донорами окремих ознак. Схрещування проводили обмеженовільним методом за ручної кастрації квіток материнської форми і примусового запилення пилюком батьківської форми під пергаментним ізолятором. Збір та обліки врожаю проводили у фазу повної стиглості.

Частку зав'язування розраховували за відношенням кількості зав'язаного насіння до загальної кількості кастрованих квіток. У гібридів F_1 визначали характер успадкування селекційно-цінних ознак за ступенем домінантності (hp), використовуючи формулу (1) Б. Гріффінга [147]; рівень справжнього і гіпотетичного гетерозису – за формулами (2, 3) Х. Даскалева зі співавторами [148]:

– ступінь домінантності

$$hp = (F_1 - MP) / (P_{max} - MP), \quad (1)$$

де F_1 – середнє арифметичне значення показника гібридів F_1 ;

P_{max} – середнє арифметичне значення показника кращої батьківської форми;

MP – середнє арифметичне значення показника обох батьківських форм.

– справжній гетерозис

$$X = (F_1 - P_{max}) \times 100 / P_{max}, \quad (2)$$

де F_1 – значення показника гібрида;

P_{max} – значення показника кращої батьківської форми;

– гіпотетичний гетерозис

$$X = F_1 \times 100 / MP, \quad (3)$$

де F_1 – значення показника гібрида;

MP – середнє арифметичне значення показника вихідних форм.

Для ранжування створених матеріалів за ступенем домінування використовували градацію Г. Бейла і Р. Аткинса [149]: 1) від'ємне наддомінування (від'ємний гетерозис, або депресія) – $h_p \leq -1$; 2) від'ємне домінування – $-0,99 < h_p < -0,5$; 3) проміжне успадкування – $-0,49 < h_p < 0,49$; 4) позитивне домінування – $0,5 < h_p < 0,99$; 5) позитивне наддомінування (позитивний гетерозис) – $h_p \geq 1$.

Дослід 2. Порівняльний аналіз показників продуктивності різних морфотипів пшениці за формою колосу. Аналізували створені селекційні матеріали пшениці колекції кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології УНУ. За морфологією колосу генетичне різноманіття було розподілено на шість морфотипів: спельти, спельтоїди, зразки з типовою формою колосу пшениці м'якої, скверхеда, субкомпактоїди, компактоїди. У кожній групі рослин було відібрано п'ять кращих, константних, вирівняних зразків (F_{5-7}), що аналізували за рівнем прояву господарсько-цінних ознак і порівнювали між собою з метою встановлення практичної цінності кожного морфотипу пшениці за формою колосу.

Аналізували довжину (см) і щільність (шт. колосків/10 см колосового стрижня) колосу, кількість зерен у колосі (шт.), масу зерна з колосу (г), масу 1000 насінин (г), врожайність (т/га), вміст в зерні білка і клейковини (%). Всі обліки і спостереження проводили згідно Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні [150] та Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва [151].

Біометричні показники визначали за вибірки 50 рослин з двох несуміжних повторень кожної ділянки. Вміст в зерні білка і клейковини визначали методом інфрачервоної спектроскопії за використання Infratec™ Nova (FOSS Analytical,

Швеція). Результати досліджень обробляли статистично за методикою В. О. Єщенка зі співавторами [146] та використання програми Statistica 12.

Дослід 3. Аналіз колекційного вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої за показниками продуктивності та адаптивності. Аналізували 15 кращих константних, вирівняних зразків (F_{5-7}) пшениці м'якої озимої колекції кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології УНУ. Показники продуктивності зразків визначали за методиками зазначеними у досліді 2. Градацію зразків за висотою рослин проводили за модифікованою шкалою А. П. Орлюка зі співавторами [152]. Ранжування зразків за силою борошна проводили за шкалою: ≥ 500 о. а. – відмінний поліпшувач, 400–500 о. а. – добрий поліпшувач, 280–400 о. а. – задовільний поліпшувач, 260–280 о. а. – цінна пшениця, 240–260 о. а. – добрий філер, 180–240 о. а. – задовільним філер, ≤ 180 о. а. – слабка пшениця. За твердістю зерна зразки пшениці поділяли на три категорії: ≥ 60 одиниць приладу – твердозерний тип, 54–60 од. п. – середньотвердозерний тип, ≤ 54 од. п. – м'якозерний тип.

Екологічну пластичність оцінювали за коефіцієнтом регресії (b_i), стабільність – за варіансою ознаки (S^2_{di}) за методикою S. A. Eberhardt та W. A. Russell [153]. Високопластичними вважали генотипи, у яких коефіцієнт регресії > 1 , низькопластичними – з коефіцієнтом регресії < 1 , форми, у яких коефіцієнт регресії наближався до 1 – вважали середньопластичними. Високостабільними вважали генотипи, у яких варіанса стабільності наближалася до 0, вищі значення варіанси стабільності вказують на зниження стабільності.

Екологічну дисперсію (σ^2_e) визначали за методикою D. S. Falconer і T. F. C. Mackay [154], як варіацію прояву ознаки одного і того ж генотипу за різними роками вирощування. Генотипову дисперсію (σ^2_g) обраховували за методикою П. П. Літуна і В. В. Кириченка [155], як міжгенотипову мінливість середніх значень ознаки. Дисперсію взаємодії генотип \times середовище ($\sigma^2_{g \times e}$) визначали за методикою D. S. Falconer і T. F. C. Mackay [154], як відхилення реакцій генотипів від середнього ефекту генотипу та середовища. Коефіцієнт

успадкування (h^2) визначали за методикою D. S. Falconer і T. F. C. Mackay [154], як відношення генотипової дисперсії до фенотипової. Гомеостатичність (Hom), селекційну цінність (Sc) та індекс адаптивності (Ia) розраховували за K. W. Finlay і G. N. Wilkinson [156].

Результати досліджень аналізували статистично: розраховували HP_{05} – для польових досліджень, HP_{01} – для лабораторних за методикою В. О. Єщенка зі співавторами [146]. Для групування зразків за показниками продуктивності та адаптивності проводили кластерний аналіз за методом ієрархічного групування у програмі Statistica 12, що поданий у вигляді дендрограми.

Дослід 4. Аналіз колекційного вихідного матеріалу пшениці спельти озимої за показниками продуктивності та адаптивності. Аналізували 15 кращих константних, вирівняних зразків (F_{5-7}) пшениці спельти озимої колекції кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології УНУ. Визначали окремі біометричні показники (висоту рослин, довжину і щільність колосу, масу зерна з колосу), показники якості зерна (вміст в зерні білка і клейковини, седиментацію, силу борошна, твердість зерна) і врожайність. Всі обліки, спостереження і аналізи проводили за методиками викладеними на сторінках 40–43.

Оцінювання стійкості зразків пшениці до збудників хвороб проводили на природньому інфекційному фоні за методикою С. О. Трибеля зі співавторами [157]. Облік ураження рослин борошнистою россою і септоріозом проводили у фазу колосіння (ВВСН 55–59 фази), фузаріозом колосу і бурою іржею – у фазу молочної стиглості (ВВСН 70–75 фази).

Дослід 5. Використання аерогідропоніки для укорінення рослинного матеріалу пшениці м'якої озимої. Для індукції розвитку рослинного матеріалу пшениці м'якої озимої з деформованого, невиповненого насіння, отриманого за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L., використовували ізольовану культуру зрілих зародків та аерогідропонну технологію. Отримані *in vitro* гібридні рослини дорощували до формування двох–трьох первинних корінців довжиною 0,4 см. Створений рослинний

матеріал розміщували у посадкових стрічках аерогідропонної системи «Minivit». В умовах аерогідропоніки першу половину вегетації рослини вирощували за оптимальних умов 16-годинного фотоперіоду з інтенсивністю освітлення 3–4 клк, відносній вологості 75 % і температурі 20–22 °С. З другої половини вегетації температуру поступово знижували до 12–16 °С (умови *ex vitro*). Склад живильного середовища доповнювали 50-% концентрацією макро- та мікроелементів за прописом Мурасіге–Скуга ($\frac{1}{2}$ MS) і регуляторами росту (індолілоцтова кислота та гетероауксин).

Висновки за розділом 2:

1. Ґрунтово-кліматичні умови регіону проведення досліджень сприятливі для впровадження селекційних програм створення високопродуктивного вихідного матеріалу пшениці м'якої і пшениці спельти озимих. Висока природна родючість і добра структурність ґрунту забезпечує оптимальні умови для об'єктивного оцінювання та добору генотипів агроценозів.

2. Варіабельність погодних умов в період проведення досліджень (2023–2025 рр.) дала змогу провести комплексний аналіз адаптивного потенціалу та показників продуктивності селекційних зразків пшениці м'якої і пшениці спельти озимих та визначити рівень впливу генетичних і екологічних чинників на врожайність.

3. Вихідний селекційний матеріал характеризується істотною генетичною та еколого-географічною варіабельністю, що забезпечило широкий спектр фенотипової і генотипової мінливості серед нащадків і сприяло створенню та добору цінних рекомбінантних форм.

4. Методики, застосовані у дослідженнях, є загальноприйнятими та високоефективними і дають можливість достовірно провести порівняльний аналіз створеного вихідного матеріалу пшениці м'якої і пшениці спельти озимих.

РОЗДІЛ 3

СТВОРЕННЯ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ ЗА РЕЦИПРОКНИХ СХРЕЩУВАНЬ *TRITICUM AESTIVUM* L. × *TRITICUM SPELTA* L.

Створення вихідного матеріалу з комплексом цінних господарсько-біологічних ознак – основний етап селекційного процесу. Гібридизація видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. відкриває широкі можливості для поєднання високої продуктивності та адаптивного потенціалу пшениці м'якої з генетично зумовленою екологічною пластичністю і високими якісними показниками зерна пшениці спельти. Завдяки ідентичному геномному і хромосомному складу схрещування цих видів відбувається без ускладнень. Водночас, окремі морфологічні і генетичні особливості впливають на зав'язування насіння, успадкування ознак і формоутворення серед нащадків.

В Уманському національному університеті проведено низку реципронних схрещувань високопродуктивних сортів пшениці м'якої озимої з сортами пшениці спельти озимої [5, 35, 158]. Варіабельність вихідних сортів за господарсько-цінними і морфобіологічними показниками зумовила широкий розмах мінливості та формоутворювальний процес серед нащадків і дала змогу відібрати цінні генотипи.

Метою досліджень був аналіз рівня перехресної сумісності, успадкування селекційно-цінних ознак та порівняльний аналіз зразків пшениці озимої, створених за реципронних схрещувань видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.

3.1 Особливості гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.

Процес створення вихідного матеріалу передбачає проведення контрольованих міжвидових схрещувань і добір комбінацій з високим рівнем перехресної сумісності. У дослідженнях вихідним матеріалом для схрещувань залучали районовані високопродуктивні сорти пшениці м'якої озимої Фаворитка, Лісова пісня, Легенда Миронівська, Панна, Золотоколоса, Мудрість одеська, Богдана та сорти пшениці спельти озимої Зоря України і Європа. За проведення реципрокних схрещувань рівень перехресної сумісності визначали за часткою зав'язаного насіння.

Залучені до системи схрещувань сорти пшениці м'якої мають різне еколого-географічне походження і характеризуються високою продуктивністю (9,0–10,0 т/га) та стійкістю до несприятливих біо- та абіотичних чинників навколишнього середовища. Залучені до гібридизації зразки пшениці спельти озимої мають високий вміст в зерні білка (20–25 %) та клейковини (до 40–50 %) і вирізняються високою стійкістю до хвороб, а сорт Європа – поліпшеною якістю обмолоту зерна (до 85 %).

При запиленні сортів пшениці м'якої озимої пилом пшениці спельти озимої рівень зав'язування насіння був у межах 16,9–38,4 % (табл. 3.1). У комбінаціях схрещування де запилювачем використовували сорт Європа фіксували вищий рівень зав'язування насіння (24,2–38,4 %), ніж у комбінаціях схрещування із сортом Зоря України (16,9–33,8 %). Сорт Зоря України не містить чужорідного генетичного матеріалу, оскільки він створений за індивідуального добору із природної популяції спельти (народна селекція) [33]. Сорт Європа – отриманий за гібридизації сорту пшениці м'якої озимої Копилівчанка зі спельтою [30], завдяки чому він має спільні гомологічні ділянки хромосом і вищий рівень генетичної спорідненості з пшеницею м'якою, що забезпечує більш сприятливі умови за гібридизації, зав'язування та розвитку гібридного насіння.

Рівень формування насіння за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L., середнє за 2023–2025 рр.

Комбінація схрещування		Кількість, шт.		Частка зав'язування, %
♀	♂	кастрованих квіток	сформованих насінин	
Фаворитка	Зоря України	135	38	28,1 ± 3,8
Лісова пісня		126	25	19,8 ± 3,5
Легенда миронівська		142	48	33,8 ± 3,9
Панна		151	32	21,2 ± 3,3
Золотоколоса		144	36	25,0 ± 3,6
Мудрість одеська		136	23	16,9 ± 3,2
Богдана		145	41	28,3 ± 3,7
Фаворитка	Європа	147	47	32,0 ± 3,8
Лісова пісня		132	42	31,8 ± 4,0
Легенда миронівська		128	36	28,1 ± 3,9
Панна		125	38	30,4 ± 4,1
Золотоколоса		132	32	24,2 ± 3,7
Мудрість одеська		147	52	35,4 ± 3,9
Богдана		125	48	38,4 ± 4,3

Використання пшениці спельти материнською формою забезпечувало нижчий рівень зав'язування, що для комбінацій схрещування з сортом Зоря України становив 14,2–30,6 %, для комбінацій з сортом Європа – 18,7–36,9 % (табл. 3.2). Найвищим рівнем перехресної сумісності вирізнялись комбінації схрещування Європа × Богдана (36,9 %), Європа × Легенда миронівська (36,7 %), Зоря України × Богдана (30,6 %). Варто відзначити сорти пшениці м'якої озимої Богдана і Легенда миронівська, що забезпечували високий рівень зав'язування насіння (понад 28 %) за використання і материнською і батьківською формою.

Рівень формування насіння за гібридизації *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L., середнє за 2022–2024 рр.

Комбінація схрещування		Кількість, шт.		Частка
♀	♂	кастрованих квіток	сформованих насінин	зав'язування, %
Зоря України	Фаворитка	144	28	19,4 ± 3,3
	Лісова пісня	115	20	17,4 ± 3,5
	Легенда миронівська	156	42	26,9 ± 3,6
	Панна	123	20	16,3 ± 3,3
	Золотоколоса	141	28	19,9 ± 3,4
	Мудрість одеська	127	18	14,2 ± 3,1
	Богдана	147	45	30,6 ± 3,8
Європа	Фаворитка	120	32	26,7 ± 4,0
	Лісова пісня	140	27	19,3 ± 3,3
	Легенда миронівська	120	44	36,7 ± 4,4
	Панна	150	28	18,7 ± 3,2
	Золотоколоса	120	35	29,2 ± 4,1
	Мудрість одеська	160	35	21,9 ± 3,3
	Богдана	130	48	36,9 ± 4,2

Найвищий рівень перехресної сумісності зафіксовано у комбінаціях схрещування Богдана × Європа (38,4 %), Мудрість одеська × Європа (35,4 %), Легенда Миронівська × Зоря України (33,8 %), Фаворитка × Європа (32,0 %) Лісова пісня × Європа (31,8 %).

Отже, за реципрокних схрещувань різних сортів пшениці м'якої озимої зі спельтою озимою визначено рівень перехресної сумісності матеріалів. Встановлено вищий її рівень у пшениці м'якої озимої (16,9–38,4 %) порівняно зі спельтою (14,2–30,6 %). Серед сортів пшениці м'якої озимої найвищим рівнем перехресної сумісності характеризувалися сорти Богдана (28,3–38,4 %) і Легенда

миронівська (28,1–33,8 %). Сорт пшениці спельти озимої Європа забезпечує вищий рівень зав'язування насіння (18,7–38,4 %) порівняно з сортом Зоря України (14,2–30,6 %).

3.2 Успадкування селекційно-цінних ознак гібридами F₁

Визначення закономірностей спадковості та мінливості нащадків є теоретичною основою селекції. Прогнозування кінцевого результату гібридизації неможливе без аналізу успадкування ознак гібридами за певних умов розвитку. Ступінь фенотипового домінування (h_p), як показник для оцінювання селекційного матеріалу в перших поколіннях, використовується у селекції низки культур [160, 161]. Справжній і гіпотетичний гетерозис характеризують біологічний ефект гібридизації та практичну селекційну цінність створених гібридів [162, 163].

Проведені дослідження свідчать, що серед 12 комбінацій схрещування, де за материнську форму використовували пшеницю м'яку озиму, у восьми – кількість зерен в колосі успадковується за типом позитивного домінування ($h_p = 1,00–1,50$) (табл. 3.3), у трьох – проміжного успадкування ($h_p = 0,20–0,50$). У комбінації схрещування Лісова пісня × Європа відмічено часткове від'ємне успадкування цієї ознаки ($h_p = -0,86$).

Серед 11 зразків, отриманих за використання пшениці спельти озимої материнською формою, у семи – зафіксовано позитивне домінування за кількістю зерен у колосі ($h_p = 1,00–1,67$), у однієї – часткове позитивне домінування ($h_p = 0,60$), у двох – проміжне успадкування ($h_p = 0,00$) ознаки. У комбінації схрещування Зоря України × Фаворитка зафіксовано часткове від'ємне успадкування кількості зерен у колосі ($h_p = -0,92$).

Найвищий ефект гетерозису відмічено у зразків, отриманих у комбінаціях схрещування Фаворитка × Зоря України, Легенда миронівська × Європа, Панна × Європа, Золотоколоса × Зоря України, Зоря України × Панна, Зоря України ×

Золотоколоса, Європа × Мудрість одеська, Європа × Фаворитка із проявом справжнього гетерозису на рівні 2,0–2,2 %, гіпотетичного – 100,0–107,5 %.

Таблиця 3.3

Ступінь домінування та рівень гетерозису за кількістю зерен у колосі зразків F₁, 2023 р.

Зразок	Походження	Кількість зерен з колосу, шт.			Ступінь домінування, (hр)	Характер успадкування	Справжній гетерозис, %	Гіпотетичний гетерозис, %
		♀	♂	F ₁				
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum aestivum</i> L. × <i>Triticum spelta</i> L.								
148	Фаворитка × Зоря України	48	44	49	1,50	ПД	2,1	106,5
285	Лісова пісня × Зоря України	46	44	46	1,00	ПД	0,0	102,2
294	Легенда миронівська × Європа	49	46	50	1,67	ПД	2,0	105,3
348	Панна × Зоря України	49	44	47	0,20	ПУ	-4,1	101,1
365	Мудрість одеська × Європа	47	44	46	0,33	ПУ	-2,1	101,1
391	Панна × Європа	49	46	48	1,40	ПД	2,0	107,5
404	Богдана × Європа	48	46	48	1,00	ПД	0,0	102,1
426	Фаворитка × Європа	48	46	48	1,00	ПД	0,0	102,1
439	Богдана × Зоря України	48	44	47	0,50	ПУ	-2,1	102,2
444	Лісова пісня × Європа	47	46	46	-0,86	ЧВУ	-2,1	98,9
452	Золотоколоса × Європа	48	46	48	1,00	ПД	0,0	102,1
84	Золотоколоса × Зоря України	48	44	49	1,50	ПД	2,1	106,5
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum spelta</i> L. × <i>Triticum aestivum</i> L.								
210	Зоря України × Панна	44	49	50	1,40	ПД	2,0	107,5
228	Зоря України × Лісова пісня	44	47	47	1,00	ПД	0,0	103,3
261	Зоря України × Богдана	44	49	48	0,60	ЧПД	-2,0	103,2
310	Європа × Богдана	44	46	46	1,00	ПД	0,0	102,2
328	Зоря України × Золотоколоса	48	46	47	0,00	ПУ	2,2	100,0
358	Європа × Легенда миронівська	44	48	48	1,00	ПД	0,0	104,3
385	Європа × Золотоколоса	46	49	49	1,00	ПД	0,0	103,2
402	Зоря України × Фаворитка	46	48	45	-0,92	ЧВУ	-6,3	95,7
445	Європа × Мудрість одеська	44	48	49	1,50	ПД	2,1	106,5
477	Європа × Фаворитка	44	47	48	1,67	ПД	2,1	105,5
495	Європа × Лісова пісня	46	48	47	0,00	ПУ	-2,1	100,0

Примітка. *Д – депресія (негативне наддомінування); ЧВУ – часткове від'ємне успадкування; ПУ – проміжне успадкування; ЧПД – часткове позитивне домінування, ПД – гетерозис (позитивне наддомінування). $HP_{05} = 2$.

Встановлено, що маса зерна з колосу у гібридів F₁ успадковується за типом позитивного домінування або часткового позитивного домінування (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Ступінь домінування та рівень гетерозису за масою зерна з колосу зразків F₁, 2023 р.

Зразок	Походження	Маса зерна з колосу, г			Ступінь домінування, (hp)	Характер успадкування	Справжній гетерозис, %	Гіпотетичний гетерозис, %
		♀	♂	F ₁				
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum aestivum</i> L. × <i>Triticum spelta</i> L.								
84	Золотоколоса × Зоря України	1,45	1,26	1,51	1,63	ПД	4,1	111,4
148	Фаворитка × Зоря України	1,51	1,26	1,62	1,88	ПД	7,3	117,0
285	Лісова пісня × Зоря України	1,48	1,26	1,52	1,36	ПД	2,7	110,9
294	Легенда миронівська × Європа	1,65	1,35	1,61	0,73	ЧПД	-2,4	107,3
348	Панна × Зоря України	1,47	1,26	1,52	1,48	ПД	3,4	111,4
365	Мудрість одеська × Зоря України	1,42	1,26	1,42	1,00	ПД	0,0	106,0
391	Панна × Європа	1,47	1,35	1,55	1,76	ПД	5,4	113,6
404	Богдана × Європа	1,42	1,35	1,45	1,86	ПД	2,1	104,7
426	Фаворитка × Європа	1,51	1,35	1,46	0,37	ПУ	-3,3	102,1
439	Богдана × Зоря України	1,42	1,26	1,44	1,25	ПД	1,4	107,5
444	Лісова пісня × Європа	1,48	1,35	1,54	1,92	ПД	4,1	108,8
452	Золотоколоса × Європа	1,45	1,35	1,49	1,80	ПД	2,8	106,4
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum spelta</i> L. × <i>Triticum aestivum</i> L.								
210	Зоря України × Панна	1,26	1,47	1,52	1,48	ПД	3,4	111,4
228	Зоря України × Лісова пісня	1,26	1,48	1,52	1,36	ПД	2,7	110,9
261	Зоря України × Богдана	1,26	1,47	1,55	1,76	ПД	5,4	113,6
310	Європа × Богдана	1,26	1,42	1,41	0,88	ЧПД	-0,7	105,2
328	Зоря України × Золотоколоса	1,35	1,42	1,44	1,57	ПД	1,4	104,0
358	Європа × Легенда миронівська	1,26	1,45	1,38	0,26	ПУ	-4,8	101,8
385	Європа × Золотоколоса	1,35	1,65	1,65	1,00	ПД	0,0	110,0
402	Зоря України × Фаворитка	1,35	1,45	1,47	1,40	ПД	1,4	105,0
445	Європа × Мудрість одеська	1,26	1,51	1,55	1,32	ПД	2,7	111,9
477	Європа × Фаворитка	1,26	1,42	1,48	1,75	ПД	4,2	110,4
495	Європа × Лісова пісня	1,35	1,51	1,55	1,50	ПД	2,7	108,4

Примітка. * Д – депресія (негативне наддомінування); ЧВУ – часткове від'ємне успадкування; ПУ – проміжне успадкування; ЧПД – часткове позитивне домінування, ПД – гетерозис (позитивне наддомінування). $HP_{05} = 0,12$.

Серед отриманих зразків лише зразки 426 і 358 вирізнялися проміжним успадкуванням ($h_p = 0,28-0,37$). Найвищий рівень справжнього гетерозису за масою зерна з колосу (4,1–7,3 %) зафіксовано у комбінаціях схрещування Фаворитка × Зоря України, Панна × Зоря України, Зоря України × Богдана, Європа × Фаворитка, Лісова пісня × Європа, Золотоколоса × Зоря України. Високий рівень гіпотетичного гетерозису спостерігали у зразків 148 (117,0 %), 445 (111,9 %), 210 (111,4 %), 228 (110,9 %), 385 (110,0 %), 477 (110,4 %), 444 (108,8 %).

У зразків, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. довжина колосу успадковується за типом проміжного успадкування або часткового від'ємного домінування (табл. 3.5). Використання пшениці спельти за материнську форму забезпечувало істотне подовження колосу у гібридів F₁ (до 11,4–13,1 см) і проміжне успадкування довжини колосу – в семи створених зразків. Незважаючи на подовження колосу, нащадки достовірно поступалися вихідним сортам спельти за цим показником, тому зафіксовано негативні значення справжнього гетерозису (-13,89–26,85 %). Найвищий рівень гіпотетичного гетерозису (95,8–101,2 %) зафіксовано у комбінаціях схрещування Зоря України × Золотоколоса, Європа × Мудрість одеська, Європа × Золотоколоса, Європа × Легенда миронівська.

Проведені дослідження свідчать, що серед 12 зразків отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. у шести висота рослин успадковується за типом проміжного успадкування (табл. 3.6). у комбінаціях схрещування Лісова пісня × Зоря України ($h_p = -0,74$), Мудрість одеська × Зоря України ($h_p = -0,64$), Фаворитка × Європа ($h_p = -0,74$) зафіксовано часткове від'ємне успадкування, а в комбінаціях Богдана × Європа ($h_p = -1,74$), Панна × Зоря України ($h_p = -1,13$), Золотоколоса × Зоря України ($h_p = -1,07$) – депресію. Зразки, отримані за гібридизації *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L. мали висоту рослин на рівні 105–115 см і характеризувались частковим позитивним домінуванням або проміжним успадкуванням висоти рослин.

Таблиця 3.5

**Ступінь домінування та рівень гетерозису за довжиною колосу зразків F₁,
2023 р.**

Зразок	Походження	Довжина колосу, см			Ступінь домінування, (hp)	Характер успадкування	Справжній гетерозис, %	Гіпотетичний гетерозис, %
		♀	♂	F ₁				
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum aestivum</i> L. × <i>Triticum spelta</i> L.								
84	Золотоколоса × Зоря України	10,2	15,7	10,5	-0,89	ЧВУ	-33,12	81,1
148	Фаворитка × Зоря України	11,2	15,7	11,8	-0,73	ЧВУ	-24,84	87,7
285	Лісова пісня × Зоря України	10,5	15,7	11,5	-0,62	ЧВУ	-26,75	87,8
294	Легенда миронівська × Європа	11,5	14,4	11,8	-0,79	ЧВУ	-18,06	91,1
348	Панна × Зоря України	10,7	15,7	11,7	-0,60	ЧВУ	-25,48	88,6
365	Мудрість одеська × Зоря України	10,2	15,7	12,1	-0,31	ПУ	-22,93	93,4
391	Панна × Європа	10,7	14,4	11,6	-0,64	ЧВУ	-26,11	87,9
404	Богдана × Європа	11,1	14,4	12,1	-0,39	ПУ	-15,97	94,9
426	Фаворитка × Європа	11,2	14,4	11,9	-0,56	ЧВУ	-17,36	93,0
439	Богдана × Зоря України	11,1	15,7	12,2	-0,52	ЧВУ	-22,29	91,0
444	Лісова пісня × Європа	10,5	14,4	11,2	-0,64	ЧВУ	-22,22	90,0
452	Золотоколоса × Європа	10,2	14,4	10,8	-0,71	ЧВУ	-25,00	87,8
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum spelta</i> L. × <i>Triticum aestivum</i> L.								
210	Зоря України × Панна	15,7	10,5	11,5	-0,62	ЧВУ	-22,93	87,8
228	Зоря України × Лісова пісня	15,7	10,7	12,5	-0,28	ПУ	-26,75	94,7
261	Зоря України × Богдана	15,7	11,1	12,1	-0,57	ЧВУ	-20,38	90,3
310	Європа × Богдана	14,4	11,1	11,4	-0,82	ЧВУ	-22,93	89,4
328	Зоря України × Золотоколоса	15,7	10,2	13,1	0,05	ПУ	-20,83	101,2
358	Європа × Легенда миронівська	14,4	11,5	12,4	-0,38	ПУ	-16,56	95,8
385	Європа × Золотоколоса	14,4	10,2	11,8	-0,24	ПУ	-13,89	95,9
402	Зоря України × Фаворитка	15,7	11,2	12,6	-0,38	ПУ	-18,06	93,7
445	Європа × Мудрість одеська	15,7	10,2	12,7	-0,09	ПУ	-19,75	98,1
477	Європа × Фаворитка	14,4	11,2	12,1	-0,44	ПУ	-19,11	94,5
495	Європа × Лісова пісня	15,7	10,5	11,5	-0,62	ЧВУ	-15,97	87,8

Примітка. *Д – депресія (негативне наддомінування); ЧВУ – часткове від'ємне успадкування; ПУ – проміжне успадкування; ЧПД – часткове позитивне домінування, ПД – гетерозис (позитивне наддомінування). $HP_{05} = 0,5$.

У всіх зразків спостерігали негативний справжній гетерозис, який у комбінаціях схрещування за використання спелти материнською формою

становив -2,73–6,78 %, а за використання пшениці м'якої за материнську форму він складав -4,55–23,73 %.

Таблиця 3.6

**Ступінь домінування та рівень гетерозису за висотою рослин зразків F₁,
2023 р.**

Зразок	Походження	Висота рослин, см			Ступінь домінування, (hр)	Характер успадкування	Справжній гетерозис, %	Гіпотетичний гетерозис, %
		♀	♂	F ₁				
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum aestivum</i> L. × <i>Triticum spelta</i> L.								
84	Золотоколоса × Зоря України	91	118	90	-1,07	Д	-23,73	86,1
148	Фаворитка × Зоря України	87	118	105	0,16	ПУ	-11,02	102,4
285	Лісова пісня × Зоря України	95	118	98	-0,74	ЧВУ	-16,95	92,0
294	Легенда миронівська × Європа	102	110	105	-0,25	ПУ	-4,55	99,1
348	Панна × Зоря України	87	118	85	-1,13	Д	-27,97	82,9
365	Мудрість одеська × Зоря України	85	118	91	-0,64	ЧВУ	-22,88	89,7
391	Панна × Європа	87	110	102	-0,03	ПУ	-13,56	99,5
404	Богдана × Європа	92	110	85	-1,78	Д	-22,73	84,2
426	Фаворитка × Європа	87	110	90	-0,74	ЧВУ	-18,18	91,4
439	Богдана × Зоря України	92	118	104	-0,08	ПУ	-11,86	99,0
444	Лісова пісня × Європа	95	110	105	0,33	ПУ	-4,55	102,4
452	Золотоколоса × Європа	91	110	98	-0,26	ПУ	-10,91	97,5
Зразки, отримані за гібридизації <i>Triticum spelta</i> L. × <i>Triticum aestivum</i> L.								
210	Зоря України × Панна	118	87	113	0,68	ЧПД	-4,24	110,2
228	Зоря України × Лісова пісня	118	95	110	0,30	ПУ	-6,78	103,3
261	Зоря України × Богдана	118	87	112	0,61	ЧПД	-5,08	109,3
310	Європа × Богдана	118	92	112	0,54	ЧПД	-5,08	106,7
328	Зоря України × Золотоколоса	110	92	105	0,44	ПУ	-4,55	104,0
358	Європа × Легенда миронівська	118	91	113	0,63	ЧПД	-4,24	108,1
385	Європа × Золотоколоса	110	102	106	0,00	ПУ	-3,64	100,0
402	Зоря України × Фаворитка	110	91	106	0,58	ЧПД	-3,64	105,5
445	Європа × Мудрість одеська	118	87	112	0,61	ЧПД	-5,08	109,3
477	Європа × Фаворитка	118	85	115	0,82	ЧПД	-2,54	113,3
495	Європа × Лісова пісня	110	87	107	0,74	ЧПД	-2,73	108,6

Примітка. Д – депресія (негативне наддомінування); ЧВУ – часткове від'ємне успадкування; ПУ – проміжне успадкування; ЧПД – часткове позитивне домінування, ПД – гетерозис (позитивне наддомінування). $HP_{05} = 4$.

Вищий рівень гіпотетичного гетерозису зафіксовано у зразків, де спельта використовувалась материнською формою (100,0–113,3 %). Загалом серед отриманих гібридів F₁ найнижчий стеблостій формували зразки 348 і 404 (85 см), що були отримані за участю сортів пшениці м'якої озимої Панна і Богдана, найвищий – у зразків 228, 261, 310, 445 і 477 (110–115 см), що отримано за використання спельти материнською формою.

Отже, встановлено, що за міжвидової гібридизації пшениці м'якої озимої з пшеницею спельтою, кількість зерен у колосі та маса зерна з колосу у гібридів F₁ успадковується за типом позитивного домінування за використання спельти материнською або батьківською формою. Серед отриманих матеріалів лише зразки 426 і 358 вирізнялися проміжним успадкуванням ознаки ($h_p = 0,28–0,37$). У зразків, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. довжина колосу успадковується за типом часткового від'ємного домінування, а за гібридизації *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L. – істотно збільшується довжина колосу і фіксується проміжне успадкування цієї ознаки. За гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. висота рослин у гібридів F₁ успадковується за типом проміжного успадкування, часткового від'ємного успадкування або депресії. Використання пшениці спельти за материнську форму зумовлює збільшення у нащадків висоти стеблостою, що успадковується за типом часткового позитивного домінування або проміжного успадкування.

Гібриди F₁, отримані за реципрокних схрещувань *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. характеризувалися подібною морфологією колосу і загальним габітусом рослин. Фенотипові відмінності між ними проявлялися за ознаками «довжина колосу» і «висота рослин», кількісне значення яких істотно зросло за використання материнською формою спельти.

3.3 Порівняльний аналіз показників продуктивності різних морфотипів пшениці за формою колосу

В Уманському національному університеті селекційна робота створено колекції зразків пшениці м'якої озимої і спельти озимої з високою продуктивністю та адаптивністю, що різняться за низкою цінних селекційних, господарських і маркерних ознак [35, 158, 164]. Створені зразки широко варіюють за показниками, зокрема, морфологією колосу. Поряд із типовими формами суцвіття пшениці м'якої і спельти, спостерігали появу проміжних форм відносно батьківських компонентів, а також генотипів із різними варіантами ущільнення колосу, зокрема, на верхівці суцвіття (скверхеди), від верхівки колосу до середини (субкомпактоїди), вздовж суцвіття (компактоїди) [54, 164].

Враховуючи морфологію колосу, все створене генетичне різноманіття зразків розподілено на шість морфотипів: спельти, спельтоїди, пшениці м'які, скверхеди, субкомпактоїди і компактоїди. Різні морфотипи колосу пшениці можуть розглядатися самостійними генетичними групами з чітко вираженою спеціалізацією, що дає змогу формувати вихідний матеріал відповідно до конкретних селекційних завдань. Поєднання у селекційному процесі морфотипів із контрастними рівнями продуктивності та якості зерна створює передумови для розширення генетичної мінливості та підвищення ефективності добору, зокрема, на початкових етапах селекції.

Порівняльний аналіз різних морфотипів пшениці за формою колосу дає можливість визначити цільове призначення кожного морфотипу для селекції та виділити перспективні генотипи. В основу поділу зразків пшениці за морфотипами покладено ознаки «довжина колосу» і «щільність колосу». Відомо, що серед усіх видів пшениці спельта характеризується найдовшим колосом [16, 17, 60]. За її гібридизації з іншими видами пшениці, зокрема, пшеницею м'якою у потомстві фіксують значну варіабельність за довжиною і

щільністю суцвіття, що пов'язано зі взаємодією різних генетичних систем контролю цих ознак у вихідних видів [30, 54, 60].

У дослідженнях найдовший колос (14,8–16,1 см) фіксували у зразків морфотипу спельти (рис. 3.1, 3.2 а). Зразки з колосом морфотипу пшениці м'якої істотно поступалися спельті за довжиною колосу (10,0–11,2 см) (рис. 3.2 в).

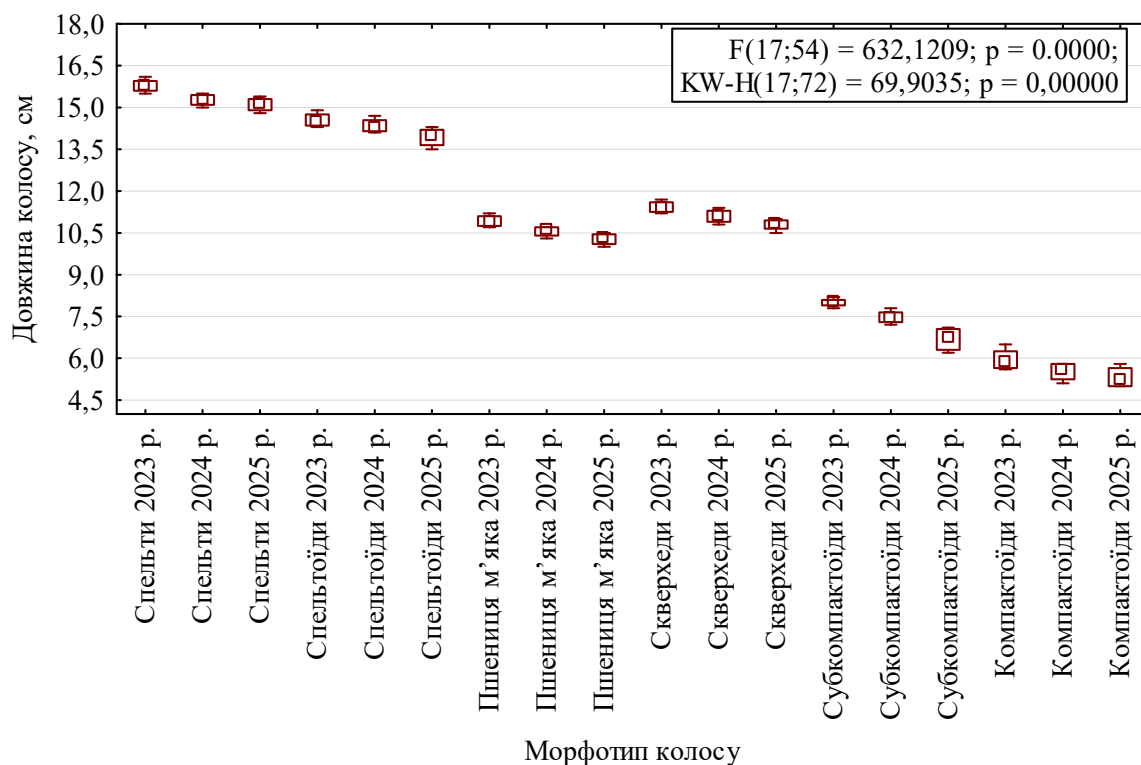


Рис. 3.1. Довжина колосу різних морфотипів пшениці,

см, 2023–2025 рр., $НІР_{05} = 0,5$

Примітка. \square – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75 %); \bar{I} – діапазон без викидів.

Спельтоїди, займаючи проміжне положення між спельтами і пшеницями м'якими, за довжиною колосу (13,5–14,9 см) істотно перевищували зразки морфотипу пшениці м'якої, проте істотно поступалися спельті за довжиною суцвіття (рис. 3.2 б). У скверхедів довжина колосу варіювала в межах 10,5–11,5 см, що було на рівні пшениці м'якої (рис. 3.2 г). Найменшу довжину колосу зафіксовано у субкомпактоїдів (6,2–8,2 см) і компактоїдів (5,0–6,5 см), що достовірно поступалися іншим морфотипам (рис. 3.2 д, ж).



Рис. 3.2. Морфотипи колосу пшениці:

а) спельти; б) спельтоїди; в) форми з типовим колосом пшениці м'якої;
г) скверхеди; д) субкомпактоїди; ж) компактоїди.

За щільністю колосу аналізовані морфотипи варіювали від нещільного (14,5–15,9 шт./10 см колосового стрижня) – у зразків морфотипу спельти до надщільного (31,5–38,2 шт./10 см колосового стрижня) – у компактоїдів (рис. 3.3). Щільність колосу зразків з типовою формою колосу пшениці м'якої (21,6–23,4 шт./10 см) і скверхедів (21,7–23,8 шт./10 см) істотно не відрізнялася. Спельтоїдні форми істотно поступалися їм за щільність колосу (16,3–18,3 шт./10 см), проте істотно перевищували зразки морфотипу спельти.

Збільшення щільності суцвіття у зразків пшениці з компактоїдною і субкомпактоїдною формою колосу зумовлено вкороченням міжвузлів колосового стрижня внаслідок генетично детермінованих змін ростових процесів, що призводить до компактнішого розміщення колосків без істотного зменшення їх кількості.

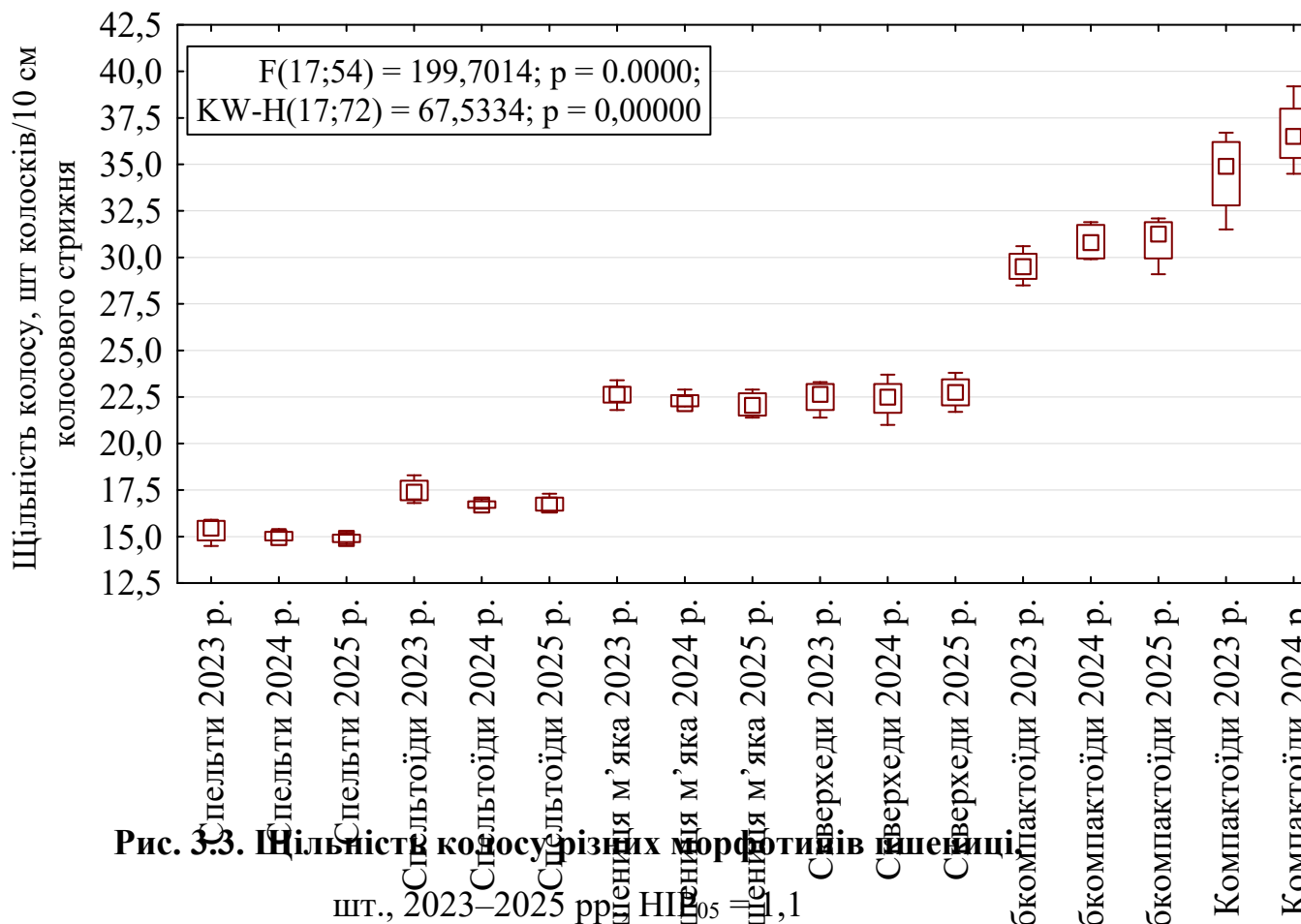


Рис. 3.3. Щільність колосу різних морфотипів пшениці

шт., 2023–2025 рр. $N_{p05} = 1$

Примітка. \blacksquare – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75%); I – діапазон без викидів.

Морфотип колосу

Такі форми пшениці мають селекційну цінність для поліпшення архітектури рослин пшениці та підвищення продуктивності колосу. Підвищена щільність колосу зумовлює більшу концентрацію колосків і зерен на одиницю довжини, що створює передумови для зростання маси зерна з колосу та реалізації високого потенціалу продуктивності.

Компактність колосу часто супроводжується укороченням стебла, що є важливим чинником стійкості рослин до вилягання [165]. Крім того, компактоїдні форми характеризуються підвищеною адаптивністю до несприятливих абіотичних чинників, зокрема, посухи та температурних стресів, що сприяє стабільності формування врожаю [166]. Чітка фенотипова вираженість і стабільність прояву ознаки щільності колосу дає змогу використовувати її морфологічним маркером у селекційному процесі за аналізу гібридності потомства.

Найвищу озерненість колосу фіксували у зразків морфотипу пшениці м'якої (45–50 шт.) і скверхедів (45–48 шт.) (рис. 3.4).

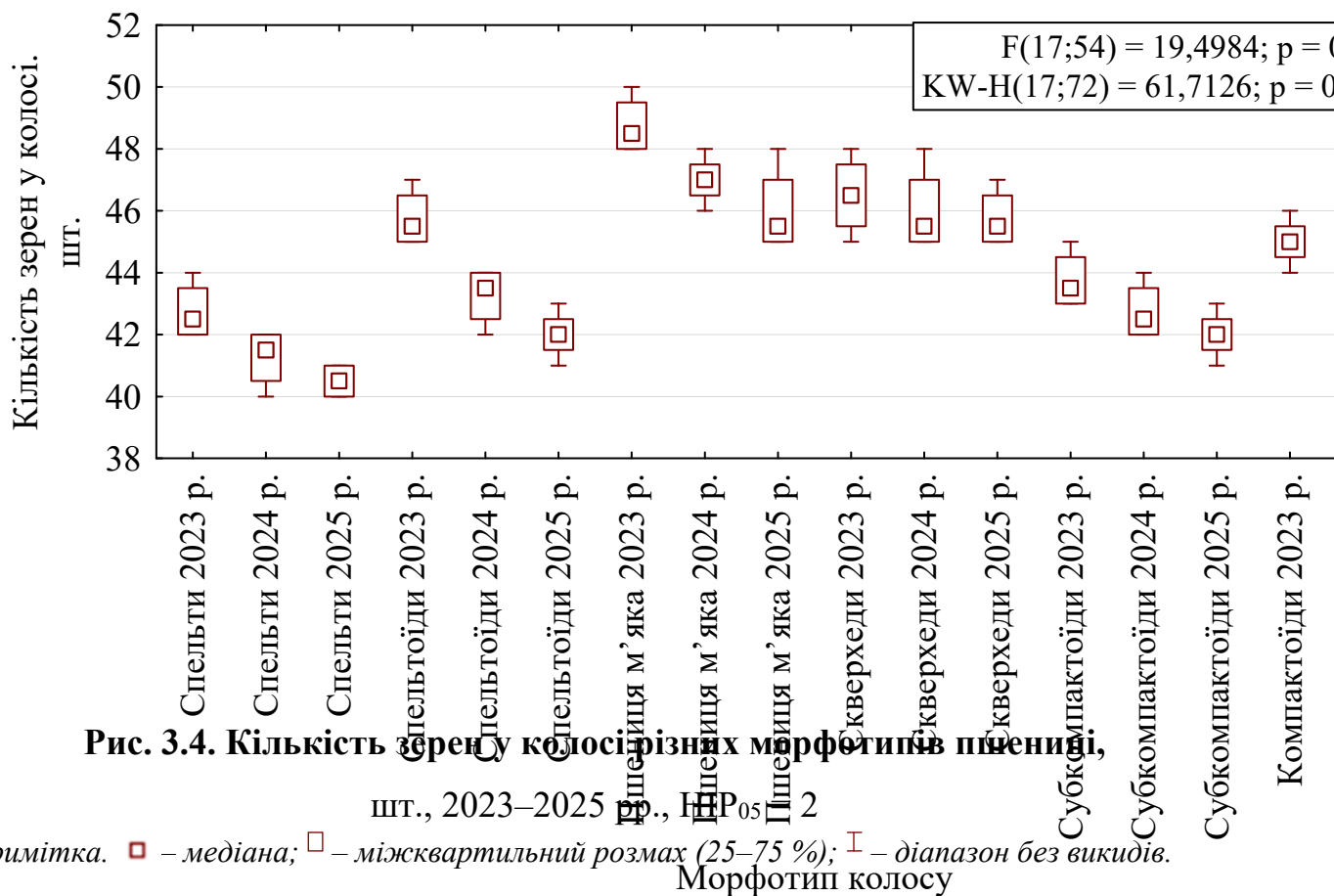
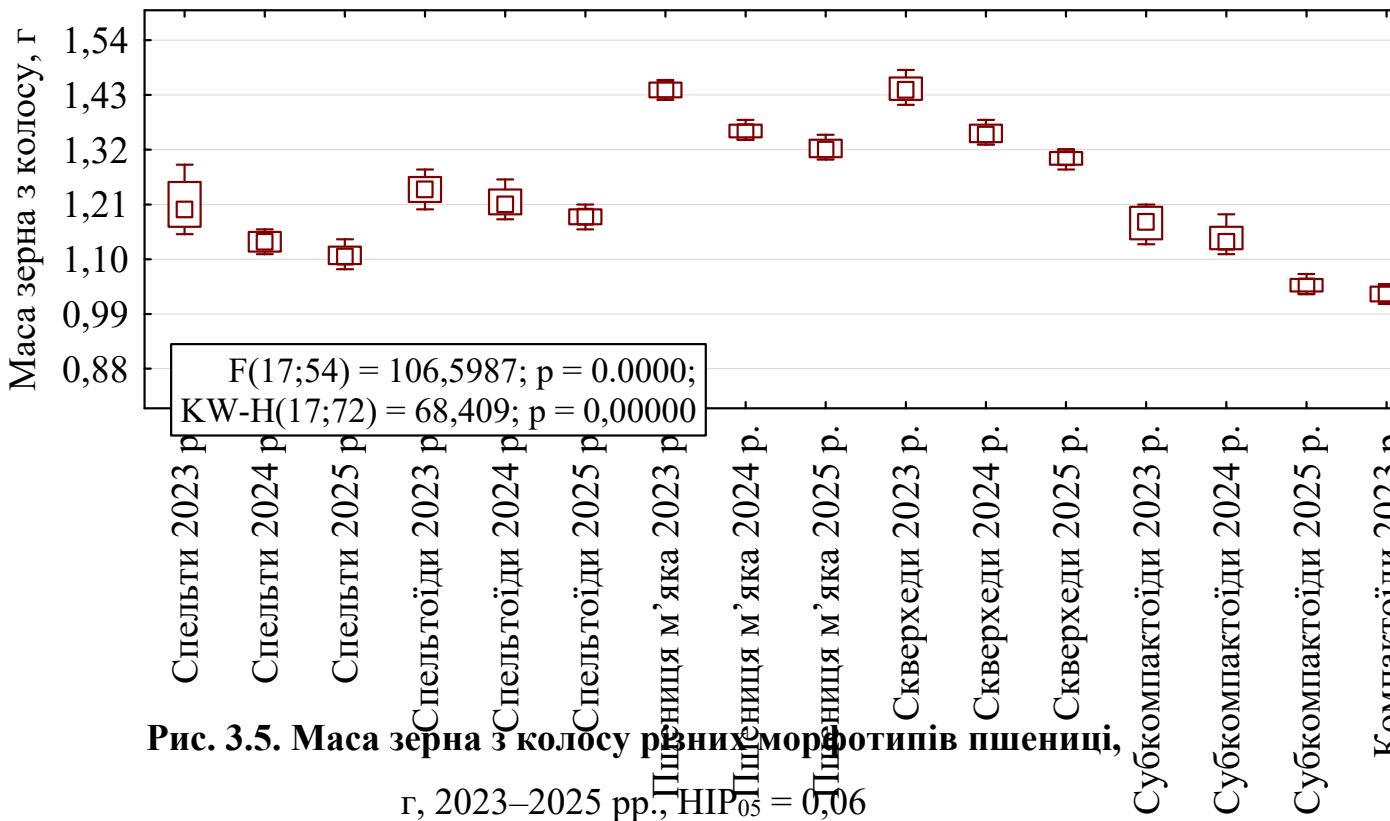


Рис. 3.4. Кількість зерен у колосі різних морфотипів пшениці, шт., 2023–2025 рр., $n = 05$

Примітка. \square – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75 %); I – діапазон без викидів.

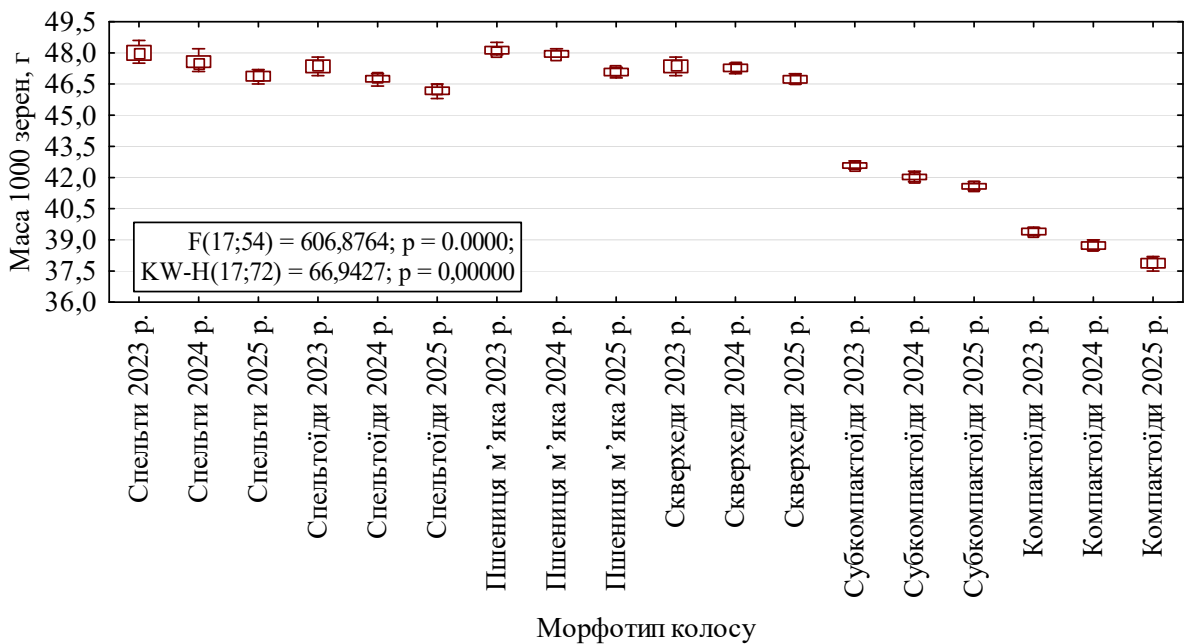
Інші досліджувані морфотипи істотно поступалися їм за кількість зерен у колосі. Компактоїдні зразки, хоч і мали високу озерненість колосу (43–47 шт.), проте, внаслідок збільшення кількості зернівок на одиницю довжини колосового стрижня, відбувалося просторове обмеження їх розвитку, що зумовило формування дрібного і деформованого насіння. У компактоїдних зразків фіксували достовірно нижчу масу зерна з колосу (0,92–1,05 г) і масу 1000 насінин (37,5–39,5 г) порівняно з іншими зразками (рис. 3.5, 3.6).

Найвищою масою зерна з колосу характеризувалися зразки морфотипів пшениці м'якої (1,3–1,46 г) і скверхедів (1,31–1,43 г). Достовірно поступалися їм за масою зерна з колосу спельтоїди (1,18–1,28 г), спельти (1,08–1,22 г) і субкомпактоїди (1,03–1,21 г).



Примітка. \square – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75 %); \perp – діапазон без викидів.

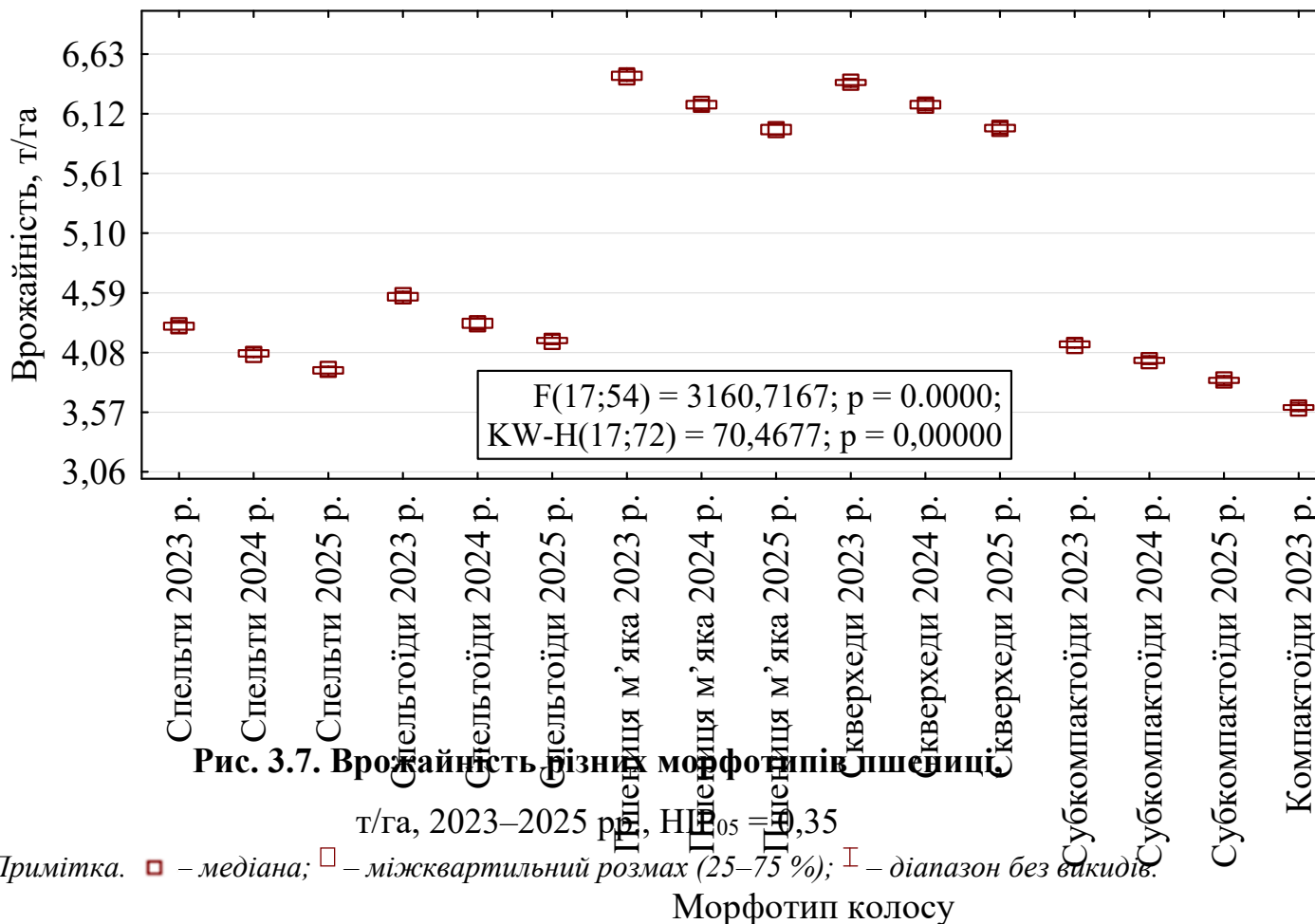
Зразки морфотипів пшениці м'якої (47,0–48,5 г), скверхеди (46,5–47,8 г), спельти (46,5–48,6 г) і спельтоїди (46,2–47,8 г) істотно не відрізнялися між собою за масою 1000 насінин (рис. 3.6).



Примітка. \square – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75 %); \perp – діапазон без викидів.

Субкомпактоїди і компактоїди істотно поступалися їм за цим показником.

У середньому за 2023–2025 рр. найвищу врожайність формували зразки морфотипів пшениці м'якої та скверхеди – відповідно 6,21 і 6,19 т/га, що істотно перевищувало показники спельт – на 2,09–2,11 т/га, спельтоїдів – на 1,84–1,85 т/га, субкомпактоїдів – на 2,19–2,21 т/га, компактоїдів – на 2,72–2,73 т/га за $HP_{05} = 0,35$ (рис. 3.7).



Між урожайністю зразків морфотипів спельти (3,92–4,35 т/га) і спельтоїди (4,15–4,60 т/га), а також субкомпактоїди (3,80–4,15 т/га) і компактоїди (3,30–3,61 т/га) достовірної різниці не встановлено.

Графічне подання медіан урожайності дає змогу візуально простежити зміну рівня продуктивності залежно від морфотипу колосу (рис. 3.8). За рівнем прояву врожайності та маси зерна з колосу всі досліджувані морфотипи пшениці розміщуються у такій послідовності: пшениця м'яка \approx скверхеди > спельтоїди > спельти > субкомпактоїди > компактоїди.

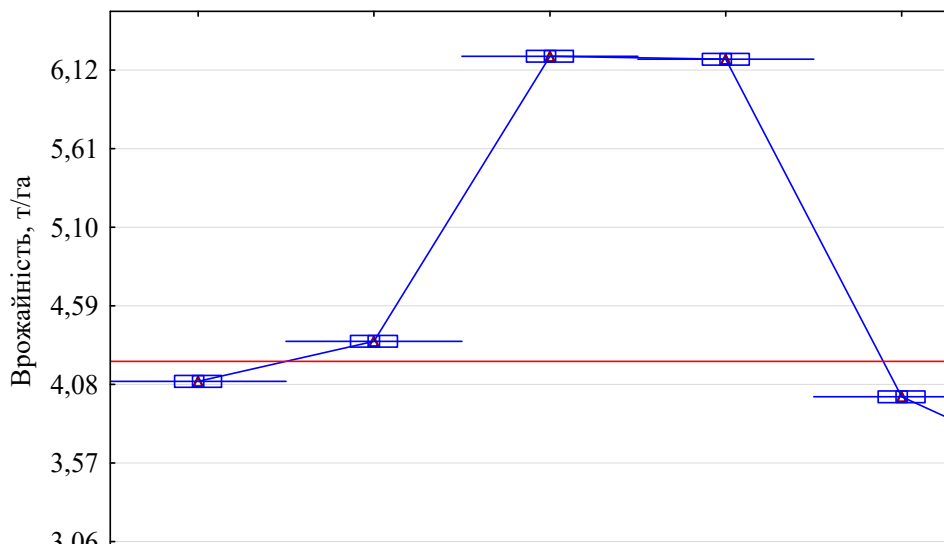


Рис. 3.8. Варіація врожайності залежно від морфотипу колосу пшениці, 2023–2025 рр.

Примітка. — — групова медіана; — — середня медіана

Переважання пшениці м'якої та скверхедів зумовлене оптимальним поєднанням елементів структури врожаю, зокрема, оптимальною щільністю колосу, високою озерненістю колосків. Спельтоїди поєднують середню щільність колосу з невисокою масою зерна з колосу. Спельти, внаслідок низької щільності колосу і його озерненості не мають високої продуктивності.

Субкомпактоїди характеризуються зростанням щільності колосу, що супроводжується зменшенням маси зерна з колосу внаслідок просторових обмежень розвитку зернівок і зниження ефективності їх наливу. Компактоїди через надмірну щільність колосу формують дрібне і деформоване зерно, що зумовлює низьку врожайність.

Достовірно перевищували всі досліджувані морфотипи за вмістом клейковини в зерні спельти (42,8–44,2 %) (рис. 3.9). Спельтоїди характеризувалися вмістом клейковини в зерні на рівні 35,3–37,8 %, що достовірно поступалося спельтам, але достовірно перевищувало показники інших морфотипів. Зразки морфотипів пшениці м'якої (31,8–33,2 %), скверхедів (31,6–34,1 %), субкомпактоїдів (31,5–32,8 %), і компактоїдів (31,8–33,1 %) за вмістом клейковини в зерні достовірно не відрізнялися.

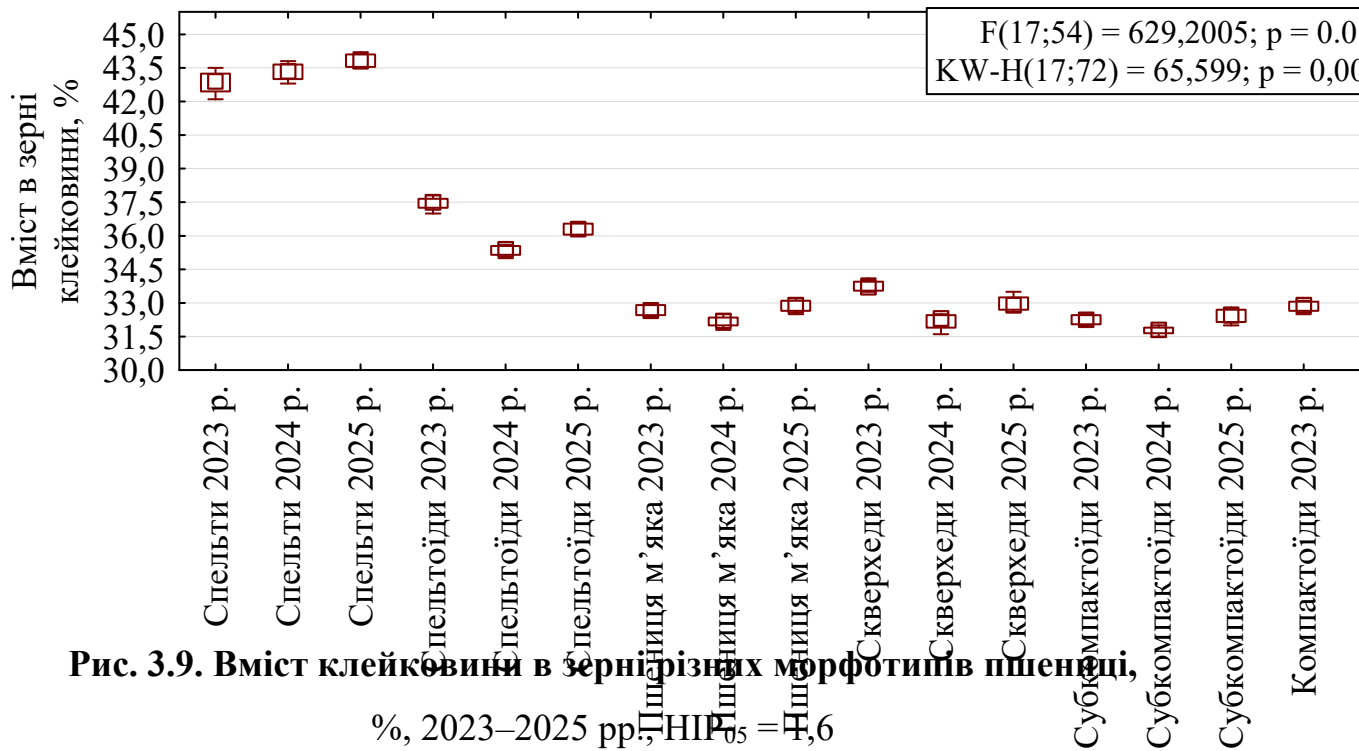


Рис. 3.9. Вміст клейковини в зерні різних морфотипів пшениці, %, 2023–2025 рр., НІР₀₅ = 1,6

Примітка. \square – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75 %); \perp – діапазон без викидів;

Аналогічну тенденцію зафіксовано за вмістом в зерні білка, який був найвищим у зразків морфотипу спельти (19,1–20,1 %) і спельтоїдів (15,9–17,2 %) (рис. 3.10).

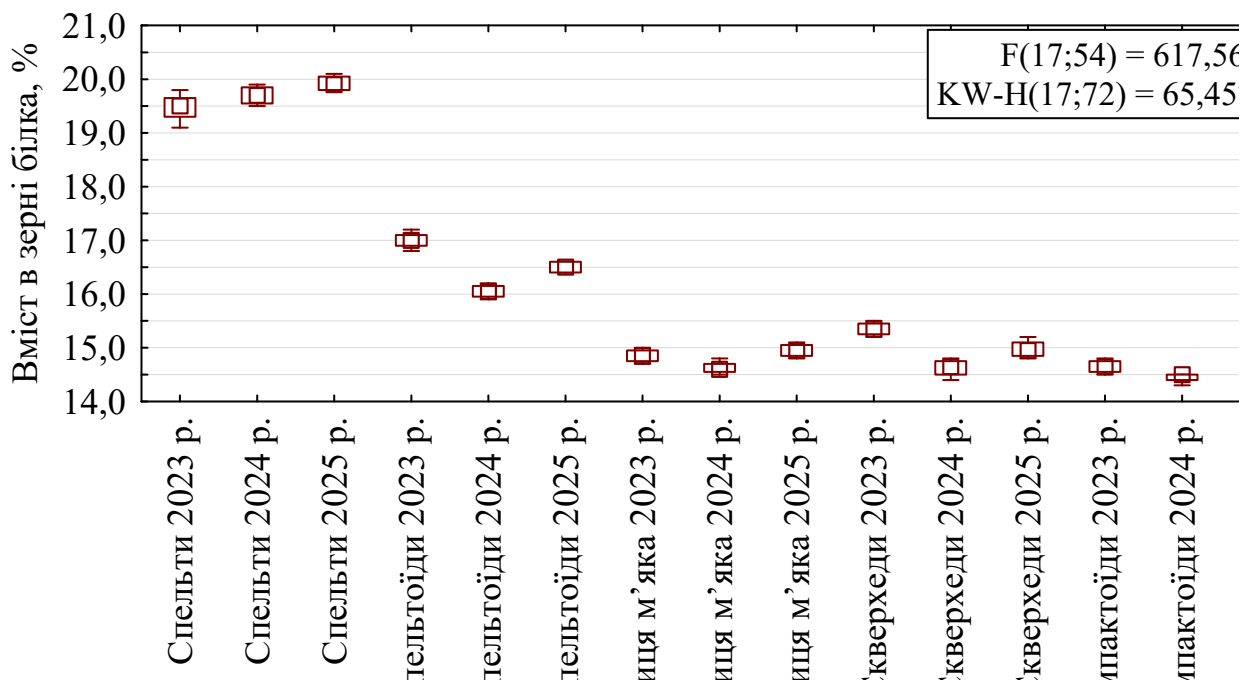


Рис. 3.10. Вміст білка в зерні різних морфотипів пшениці, %, 2023–2025 рр., НІР₀₅ = 2

Примітка. \square – медіана; \square – міжквартильний розмах (25–75 %); \perp – діапазон без викидів;

За показниками якості зерна (вміст в зерні білка та клейковини) досліджувані морфотипи пшениці розташовуються у такій послідовності: спельти > спельтоїди > пшениця м'яка \approx скверхеди > компактоїди > субкомпактоїди (рис. 3.11).

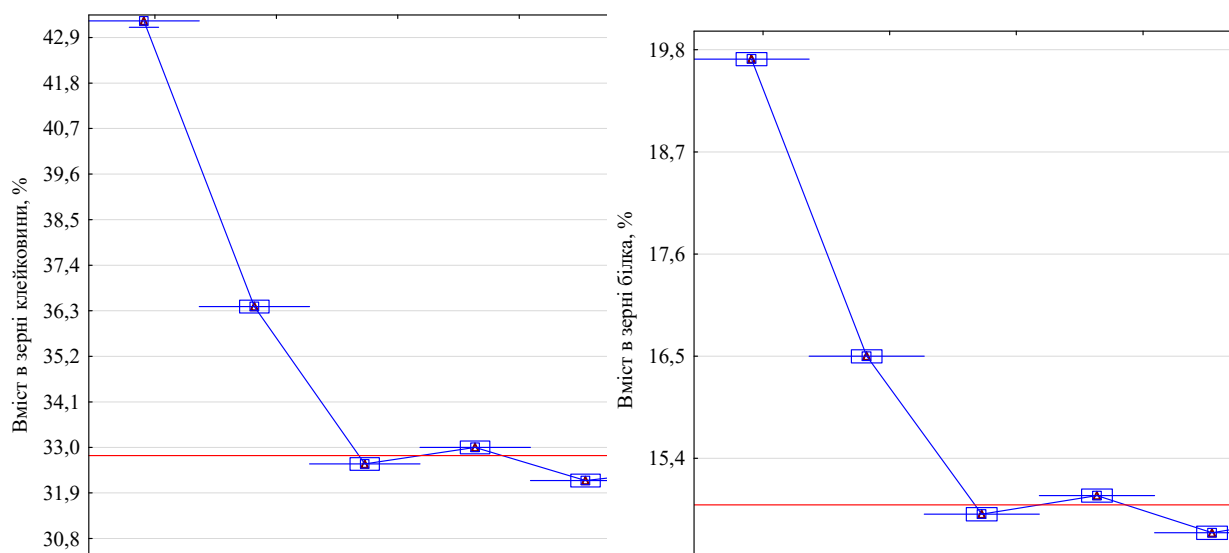


Рис. 3.11. Варіація вмісту в зерні білка і клейковини залежно від морфотипу колосу пшениці, 2023–2025 рр.

Примітка. — — групова медіана; — — середня медіана

Високий вміст білка у зерні зразків морфотипу спельти і спельтоїдів зумовлено генетично, оскільки за схрещування спельти з пшеницею м'якою нащадки, зазвичай, успадковують високі показники якості зерна від спельти. Зразки морфотипів пшениці м'якої і скверхедів демонструють підвищений рівень вмісту в зерні білка і клейковини за високої врожайності, що обумовлює їх селекційну і господарську цінність.

Компактоїди за показниками якості зерна істотно не поступаються пшениці м'якій та скверхедам, що в поєднанні з високою щільністю колосу і його потенційною продуктивністю обумовлює їх цінність для селекційних програм.

Отже, порівняльний аналіз показників продуктивності різних морфотипів пшениці за формою колосу дав можливість встановити, що за врожайністю та масою зерна з колосу досліджувані морфотипи пшениці розміщуються у

наступній послідовності: пшениця м'яка \approx скверхеди $>$ спельтоїди $>$ субкомпактоїди $>$ спельти $>$ компактоїди; а за вмістом в зерні білка і клейковини: спельти $>$ спельтоїди $>$ пшениця м'яка \approx скверхеди $>$ компактоїди $>$ субкомпактоїди.

Зразки морфотипів пшениці м'якої і скверхеди поєднують високу врожайність з підвищеним вмістом в зерні білка і клейковини, що обумовлює їх селекційну і господарську цінність. Спельти і спельтоїди характеризуються високими показниками якості зерна і можуть слугувати цінним вихідним матеріалом в селекційних програмах. Компактоїди і субкомпактоїди можуть використовуватися вихідним матеріалом для поліпшення архітектоніки рослини та підвищення продуктивності колосу.

Висновки за розділом 3:

1. За аналізу результатів міжвидової гібридизації пшениці м'якої зі спельтою встановлено вищий рівень перехресної сумісності у пшениці м'якої озимої (16,9–38,4 %) порівняно з пшеницею спельтою (14,2–30,6 %). Найвищим рівнем перехресної сумісності вирізнялися сорти пшениці м'якої озимої Богдана (28,3–38,4 %) і Легенда миронівська (28,1–33,8 %). Сорт пшениці спельти озимої Європа забезпечує вищий рівень зав'язування насіння (18,7–38,4 %) порівняно з сортом Зоря України (14,2–30,6 %).

2. Встановлено, що незалежно від добору материнської форми (*Triticum aestivum* L. або *Triticum spelta* L.) кількість зерен у колосі та маса зерна з колосу у гібридів F₁ успадковується за типом позитивного домінування ($h_p = 1,00-1,88$). У зразків, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. \times *Triticum spelta* L. довжина колосу успадковується за типом часткового від'ємного успадкування ($h_p = -0,60--0,89$). За гібридизації *Triticum spelta* L. \times *Triticum aestivum* L. істотно збільшується довжина колосу нащадків (11,4–13,1 см) і спостерігається проміжне успадкування цієї ознаки ($h_p = -0,38-0,05$). За гібридизації *Triticum aestivum* L. \times *Triticum spelta* L. висота рослин у гібридів F₁ успадковується за типом проміжного успадкування ($h_p = -0,25-0,33$), часткового від'ємного

успадкування ($h_r = -0,64--0,74$) або депресії ($h_r = -1,07--1,78$). Використання материнською формою спельти зумовлює збільшення у нащадків висоти стеблостою (до 105–115 см), що успадковується за типом часткового позитивного домінування ($h_r = 0,54--0,82$).

3. Морфотипи пшениці за формою колосу за врожайністю та масою зерна з колосу розміщуються у наступній послідовності: пшениця м'яка (5,94–6,51 т/га, 1,30–1,46 г) \approx скверхеда (5,95–6,42 т/га, 1,28–1,48 г) > спельтоїди (4,15–4,60 т/га, 1,16–1,28 г) > спельти (3,92–4,35 т/га, 1,11–1,22 г) > субкомпактоїди (3,80–4,15 т/га, 1,03–1,15 г) > компактоїди (3,30–3,84 т/га, 0,92–1,05 г).

4. Розміщення морфотипів пшениці за вмістом в зерні білка і клейковини наступне: спельти (19,1–20,0 %, 42,1–44,0 %) > спельтоїди (15,9–17,2 %, 35,3–37,8 %) > пшениця м'яка (14,5–15,1 %, 31,8–33,2 %) \approx скверхеда (14,4–15,5 %, 31,6–34,1 %) > компактоїди (14,5–15,0 %, 31,8–33,0 %) > субкомпактоїди (14,3–14,8 %, 31,5–32,6 %).

За результатами досліджень опубліковано одну наукову працю [158].

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ КОЛЕКЦІЙНОГО ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ЗА ПРОДУКТИВНІСТЮ ТА АДАПТИВНІСТЮ

Сучасні сорти пшениці м'якої озимої характеризуються високим потенціалом урожайності (понад 10,0 т/га), однак адаптивний потенціал і показники якості зерна є недостатніми [167–169]. Зміна клімату, варіювання температур, дефіцит вологи, а також поширення нових рас збудників хвороб зумовлюють необхідність створення сортів нового покоління з широкою екологічною пластичністю, стабільною продуктивністю та підвищеною якістю зерна. Тому одним із головних напрямів селекційної роботи залишається створення нових форм і сортів з широкою генетичною основою залученням до системи гібридизації нових джерел господарсько-цінних ознак [170–174].

Одним із перспективних методів є гібридизація зі спорідненими видами, зокрема, з пшеницею спельтою (*Triticum spelta* L.), що вирізняється підвищеною зимостійкістю, стійкістю до хвороб, високим вмістом в зерні білка і клейковини та поліпшеними хлібопекарськими властивостями [175–177]. Поєднання генетичних ресурсів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. створює передумови для формування нового вихідного матеріалу з комплексом господарсько-цінних ознак, що може слугувати основою для подальшої селекції на урожайність, якість зерна і адаптивність [178, 179].

Дослідження, спрямовані на створення та аналіз вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої за участю пшениці спельти сприяють розширенню генетичного різноманіття культури, підвищенню ефективності селекційного процесу й забезпечують отримання високопродуктивних, екологічно пластичних сортів з відмінною якістю зерна, що придатні до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних регіонах України.

4.1 Аналіз колекційного вихідного матеріалу пшениці м'якої за показниками продуктивності

Оцінювання створених зразків пшениці м'якої озимої за показниками продуктивності є важливим етапом селекційного процесу, що дозволяє визначити цінність створених гібридних популяцій для використання в селекційному процесі. Продуктивність культури формується під впливом комплексу морфологічних і фізіолого-біохімічних чинників, серед яких важливе значення мають продуктивність колосу, якість зерна, врожайність і адаптивність. Аналіз цих показників дає змогу ідентифікувати відмінності між створеними зразками та відібрати селекційно-цінні форми. Отримані результати слугують основою для добору перспективних генотипів, що поєднують високу врожайність з адаптивністю та відмінними показниками якості зерна.

Висота рослин є однією з основних морфологічних ознак, що контролюють на всіх етапах селекційного процесу. Природні генетичні особливості спельти зумовлюють її високостебловість (висота стеблостою 120–150 см), що забезпечує потужну надземну біомасу, проте зумовлює схильність до вилягання [180, 181]. Інтенсивні сорти пшениці м'якої озимої за висотою рослин здебільшого є низькостебловими (80–100 см), що сприяє стійкості до вилягання та ефективному використанню поживних речовин для формування колосу й зерна [182, 183]. Гібриди між пшеницею м'якою і спельтою, зазвичай, демонструють проміжне успадкування висоти рослин [30, 54–56, 181]. Проте зустрічаються випадки позитивного домінування, від'ємного успадкування або депресії за цією ознакою.

У колекційних зразків пшениці м'якої озимої спостерігали розмах мінливості за висотою рослин від 75 до 108 см (табл. 4.1). Достовірно поступалися груповому стандарту за висотою рослин зразки 85/22 (75 см), 265/22 (86 см), 291/22 (82 см), 352/22 (80 см) і 357/22 (86 см).

Таблиця 4.1

**Аналіз окремих господарсько-цінних показників колекційних зразків
пшениці м'якої озимої, середнє за 2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Висота рослин, см	Довжина колосу, см	Щільність колосу, шт./10 см колосового стрижня	Маса зерна з колосу, г
Груповий стандарт *	92	10,7	21,2	1,29
84/22	98	10,1	22,0	1,28
85/22	75	12,1	21,5	1,35
90/22	108	11,2	20,5	1,31
94/22	100	9,8	20,4	1,21
148/22	92	9,5	18,9	1,18
265/22	86	10,6	20,8	1,25
291/22	82	10,7	23,4	1,36
304/22	90	9,8	24,5	1,36
326/22	102	11,4	22,8	1,38
348/22	106	12,2	20,5	1,33
339/22	93	10,2	19,6	1,24
344/22	88	8,8	20,5	1,21
352/22	80	10,7	19,6	1,26
357/22	86	11,8	20,3	1,32
375/22	94	11,1	22,5	1,38
<i>НІР₀₅</i>	<i>4</i>	<i>0,5</i>	<i>1,0</i>	<i>0,06</i>

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська

Зразки 148/22, 304/22, 339/22, 344/22 і 375/22 мали висоту стеблостою на рівні групового стандарту, інші – істотно перевищували його. Враховуючи модифіковану класифікацію А. П. Орлюка зі співавторами [152], зразки 85/22, 291/22 і 352/22 віднесено до напівкарликових (висота рослин 60–85 см), зразки

84/22, 94/22, 148/22, 265/22, 304/22, 326/22, 348/22, 339/22, 357/22 і 375/22 – до низькостеблових (висота рослин 85–105 см), зразки 90/22 і 348/22 – до середньостеблових (висота рослин 105–120 см).

Довжина колосу спадково обумовлена морфологічна ознака колосу. У досліджуваних зразків вона варіювала в межах 8,8–12,2 см. Найдовшим колосом вирізнялися зразки 348/22 (12,2 см), 85/22 (12,1 см), 357/22 (11,8 см), 326/22 (11,4 см) і 90/22 (11,2 см), що істотно перевищували груповий стандарт.

Щільність колосу досліджуваних зразків пшениці м'якої озимої була в межах 18,9–24,5 шт. колосків/10 см колосового стрижня. Достовірно перевищували груповий стандарт за цим показником зразки 291/22 (23,4 шт./10 см), 304/22 (24,5 шт./10 см), 326/22 (22,8 шт./10 см), 375/22 (22,5 шт./10 см).

Всі форми пшениці за морфологією колосу можна розділити на різні морфотипи. В основу цього поділу покладено довжину і щільність колосу, а також загальний габітус рослини. Досліджувані зразки належали до морфотипів пшениці м'якої (зразки 84/22, 94/22, 148/22, 265/22, 339/22, 344/22, 352/22) (рис. 4.1 а) або скверхедів (зразки 85/22, 90/22, 291/22, 304/22, 326/22, 348/22, 357/22, 375/22) (рис. 4.1 б).

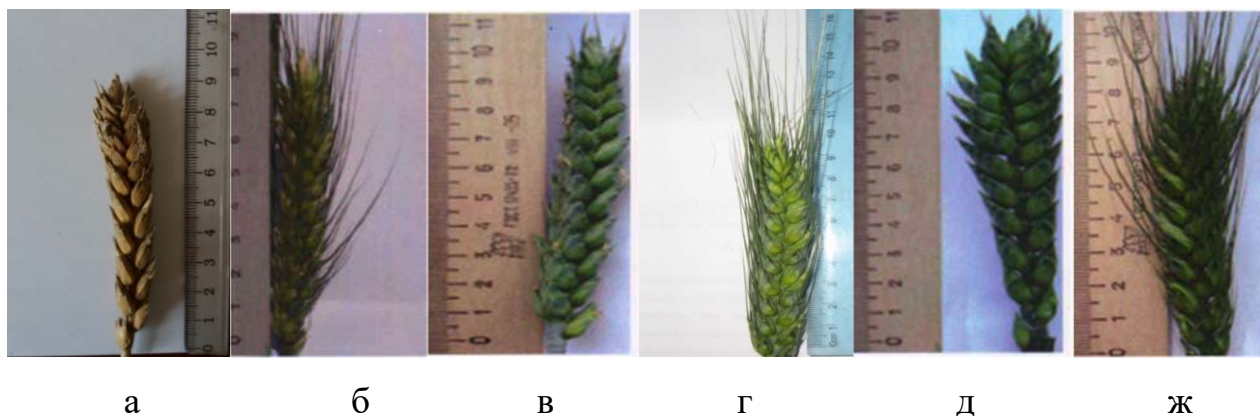


Рис. 4.1. Морфотипи колосу колекційних зразків пшениці: а) зразок 84/22; б) зразок 148/22; в) зразок 352/22; г) зразок 85/22; д) 326/22; ж) зразок 357/22

Форми з типовим колосом пшениці м'якої характеризуються середньою його довжиною (8–12 см) і щільністю (17–22 шт./10 см), мають типову колоскову луску, що забезпечує вільний обмолот зерна з колосу. Вирізняльною

ознакою скверхедів є ущільнена верхня частина суцвіття, що забезпечує його вищу щільність (17–28 шт./10 см), довжина колосу – 8–12 см, обмолот зерна – вільний.

Маса зерна з колосу – основний показник його індивідуальної продуктивності, що тісно корелює з врожайністю. У проведених дослідженнях маса зерна з колосу досліджуваних зразків варіювала в межах 1,18–1,38 г. Найвищою вона була у зразків 326/22 (1,38 г), 375/22 (1,38 г), 291/22 (1,36 г) і 304/22 (1,36 г), що достовірно перевищувало груповий стандарт. Зразки 84/22, 85/22, 90/22, 265/22, 348/22, 339/22, 252/22, 357/22 мали масу зерна з колосу на рівні групового стандарту (1,24–1,35 г), іншу зразки істотно поступалися середньому груповому стандарту.

Врожайність – основний показник ефективності вирощування пшениці, що безпосередньо впливає на економічну ефективність сільськогосподарського виробництва. Вона формується під впливом комплексного взаємозв'язку морфологічних, фізіологічних та біохімічних ознак сорту, факторів середовища та їх взаємодії. Селекція відіграє вирішальну роль у підвищенні врожайності, оскільки дає можливість створювати сорти з покращеними господарсько-цінними ознаками. Міжвидова і міжродова гібридизація індукує широкий формоутворювальний процес, трансгресивну мінливість і отримання нащадків, показники яких виходять за межі спектру мінливості вихідних форм.

У проведених дослідженнях урожайність зразків пшениці м'якої озимої в середньому становила 5,45–6,61 т/га і варіювала за роками від 5,11–6,35 т/га у 2025 р. до 5,82–6,92 т/га – у 2023 р. (табл. 4.2). Варіабельність за роками пов'язана з погодними умовами вирощування культури. Зокрема, оптимальне поєднання кількості опадів (583,5 мм), що рівномірно розподілено за вегетаційним періодом, із середньорічною температурою повітря (9,9 °С) впродовж 2022–2023 сільськогосподарського року забезпечило найвищу врожайність.

Таблиця 4.2

Врожайність колекційних зразків пшениці м'якої озимої, т/га

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт*	6,21	5,92	5,62	5,92
84/22	6,92	6,58	6,31	6,60
85/22	5,87	5,36	5,11	5,45
90/22	5,82	5,48	5,21	5,50
94/22	6,58	6,35	6,21	6,38
148/22	5,87	5,44	5,25	5,52
265/22	5,98	5,67	5,35	5,67
291/22	5,84	5,48	5,36	5,56
304/22	6,08	5,86	5,52	5,82
326/22	6,92	6,56	6,35	6,61
348/22	5,87	5,56	5,28	5,57
339/22	5,91	5,51	5,36	5,59
344/22	6,13	5,95	5,60	5,89
352/22	5,84	5,46	5,21	5,50
357/22	6,17	5,97	5,60	5,91
375/22	5,92	5,87	5,41	5,73
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,29</i>	<i>0,28</i>	<i>0,26</i>	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Подільянка

Несприятливі погодні умови склалися у 2024–2025 сільськогосподарському році, кількість опадів впродовж якого (513,4 мм) хоч і перевищувала аналогічний показник 2023–2024 року (487,2 мм), проте їх нерівномірний розподіл і затяжна посуха, яка тривала від січня до травня перешкождали оптимальному росту і розвитку рослин, що негативно вплинуло на врожайність.

Найвищу середню врожайність за роками досліджень фіксували у зразків 84/22 (6,31–6,92 т/га), 326/22 (6,35–6,91 т/га) і 94/22 (6,21–6,58 т/га), що істотно перевищували груповий стандарт. Зразки 265/22 (5,35–5,98 т/га), 304/22 (5,52–6,08 т/га), 344/22 (5,60–6,13 т/га), 357/22 (5,60–6,17 т/га) і 375/22 (5,41–5,92 т/га) характеризувалися врожайністю на рівні середнього групового стандарту.

Кластерний аналіз зразків пшениці м'якої озимої за врожайністю дозволив диференціювати їх на три групи (рис. 4.2).

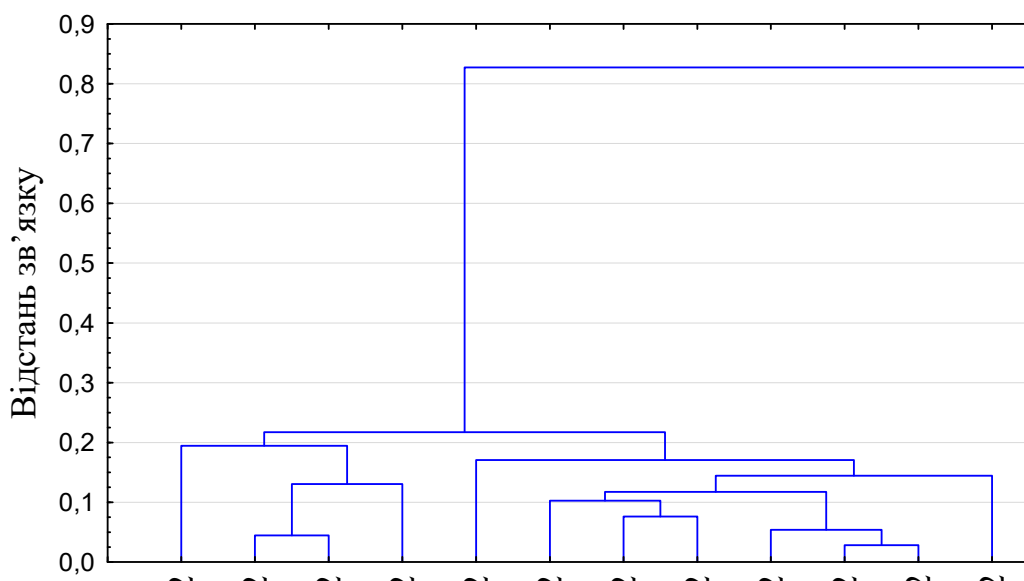


Рис. 4.2. Кластерний розподіл колекційних зразків пшениці м'якої за врожайністю, 2023–2025

Отримана дендрограма свідчить про чітку ієрархічну диференціацію досліджуваних зразків із формуванням двох макрокластерів. Перший макрокластер, представлений зразками 94/22, 326/22 та 84/22 з найвищою врожайністю (6,38–6,61 т/га), істотно відрізняється від основної групи, що підтверджується високим рівнем міжкластерної відстані та вказує на їх високу селекційну цінність і специфічний комплекс господарсько цінних ознак, який забезпечує перевагу за рівнем продуктивності.

Другий макрокластер, до складу якого входять зразки 375/22, 357/22, 344/22, 304/22, 255/22, 348/22, 291/22, 148/22, 352/22, 90/22 та 85/22 з врожайністю 5,45–5,91 т/га, характеризується відносною однорідністю та поступовою внутрішньою диференціацією. Злиття зразків у межах цього

макрокластера відбувається на відносно низьких і середніх рівнях відстані (переважно до 0,25), що вказує на порівняно високу внутрішню однорідність та поступовий характер відмінностей між окремими зразками. Об'єднання другого макрокластера з першим відбувається лише на максимальному рівні відстані, що вказує на суттєву відмінність за врожайністю цієї групи зразків від решти вибірки.

Спельта є древнім видом пшениці, що майже не зазнав цілеспрямованого селекційного вдосконалення, зберіг свою первинну генетичну структуру і містить гени, що контролюють високий вміст у зерні білка і клейковини. Натомість сучасні високоінтенсивні сорти пшениці м'якої, в селекційному процесі на підвищення врожайності, часто втрачали показники якості зерна [174, 178, 179, 181].

Основною метою гібридизації пшениці м'якої зі спельтою є передача до пшениці м'якої високих показників якості зерна і створення форм із підвищеним вмістом в зерні білка і клейковини. За даними вчених [178, 179, 181, 184] ці показники успадковуються від гіршої батьківської форми. Тому для отримання нащадків з високими показниками якості зерна до системи гібридизації зі спельтою необхідно залучати сильні за якістю сорти пшениці м'якої.

Встановлено, що дев'ять із 15 колекційних зразків пшениці м'якої озимої дев'ять істотно перевищували групового стандарту за вмістом в зерні клейковини, а це вказує на позитивний ефект гібридизації пшениці м'якої зі спельтою за оптимального добору компонентів схрещування (табл. 4.3). Найвищим вмістом в зерні клейковини за роками досліджень характеризувались зразки 90/22 (36,4 %), 291/22 (35,8 %) і 348/22 (35,7 %), 85/22 (34,6 %), 148/22 (34,5 %).

Вміст в зерні білка в середньому за 2023–2025 рр. складав 13,7–16,7 % із варіюванням за роками 31,1–38,3 % у 2023 р., 29,6–35,0 % – у 2024 р., 29,7–35,9 % – у 2025 р. (табл. 4.4).

Таблиця 4.3

Вміст клейковини в зерні колекційних зразків пшениці м'якої озимої, %

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	33,6	31,5	32,0	32,4
84/22	31,3	29,5	29,6	30,1
85/22	35,8	33,7	34,2	34,6
90/22	38,3	35,0	35,9	36,4
94/22	31,8	30,0	30,4	30,7
148/22	35,7	33,6	34,1	34,5
265/22	35,1	33,0	33,5	33,9
291/22	36,8	35,4	35,2	35,8
304/22	33,5	31,1	31,6	32,1
326/22	31,1	29,6	29,7	30,1
348/22	36,9	34,8	35,3	35,7
339/22	34,7	32,4	33,0	33,4
344/22	33,5	31,5	32,0	32,3
352/22	34,8	33,2	33,2	33,8
357/22	32,0	29,9	30,3	30,7
375/22	32,8	30,6	31,4	31,6
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	—

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська

Істотне збільшення вмісту в зерні білка відносно середнього групового стандарту зафіксовано у зразків 85/22 (15,5–16,6 %), 90/22 (16,0–17,1 %), 148/22 (15,6–16,6 %), 291/22 (15,9–17,0 %), 348/22 (16,2–17,3 %) і 352/22 (15,0–15,9 %). Зразки 265/22 і 339/22 істотно не поступалися середньому груповому стандарту.

Вміст білка в зерні колекційних зразків пшениці м'якої озимої, %

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	15,5	14,5	14,7	–
84/22	14,8	13,9	14,0	14,2
85/22	16,6	15,5	15,7	15,9
90/22	17,1	16,0	16,3	16,5
94/22	15,2	14,1	14,4	14,6
148/22	16,6	15,6	15,8	16,0
265/22	15,5	14,6	14,8	15,0
291/22	17,0	15,9	16,2	16,4
304/22	15,2	14,4	14,4	14,7
326/22	14,3	13,3	13,6	13,7
348/22	17,3	16,2	16,5	16,7
339/22	15,4	14,4	14,6	14,8
344/22	15,2	14,4	14,4	14,7
352/22	15,9	15,0	15,2	15,4
357/22	15,0	14,0	14,2	14,4
375/22	15,6	14,6	14,8	15,0
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська

Проведений кластерний аналіз за вмістом білка у зерні свідчить про наявність двох чітко відокремлених макрокластерів, які об'єднуються на високому рівні міжкластерної відстані (понад 0,6–0,7), що підтверджує істотну відмінність між ними (рис. 4.3). Перший макрокластер характеризується високою внутрішньою однорідністю та компактністю. До нього входять зразки 348/22, 291/22, 90/22, 148/22 та 85/22 з високим вмістом в зерні білка (15,9–16,7 %).

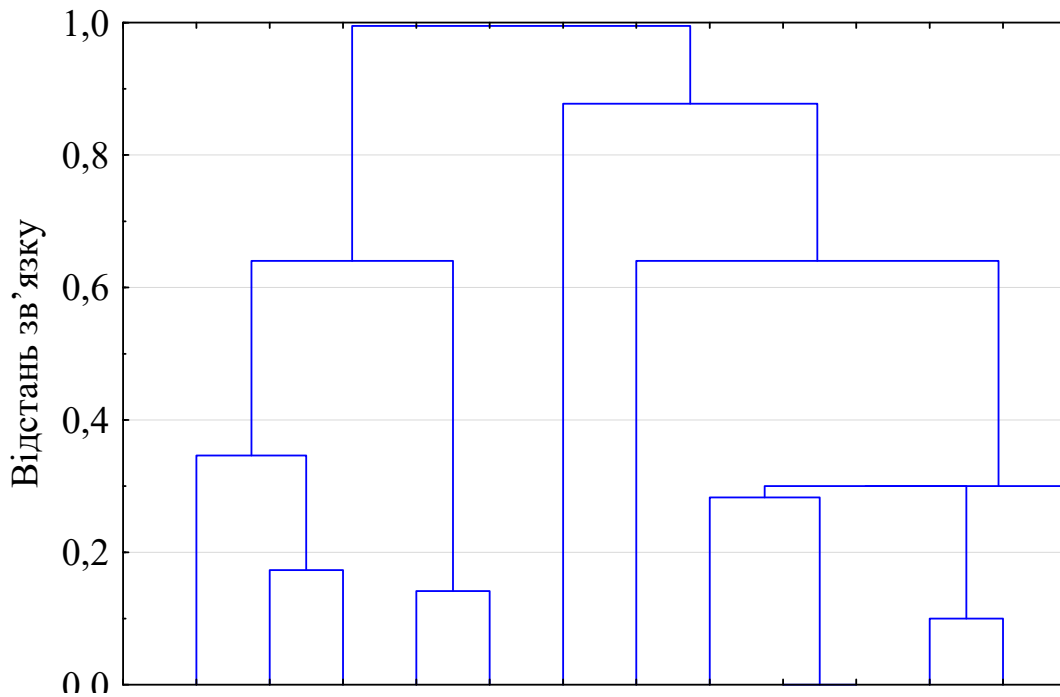


Рис. 4.3. Кластерний розподіл колекційних зразків пшениці м'якої за вмістом білка в зерні, 2023–2025

В межах макрокластеру спостерігаються два компактні підкластери (зразки 291/22 і 90/22, 148/22 і 85/22), які характеризуються мінімальними відстанями злиття, що вказує на близькі значення вмісту в зерні білка.

Другий макрокластер відзначається більшою внутрішньою диференціацією та складнішою організацією і об'єднує зразки 326/22, 352/22, 389/22, 304/22, 375/22, 265/22, 94/22, 357/22 та 84/22 з нижчим вмістом в зерні білка (13,7–15,4 %). У межах цього макрокластера на низьких рівнях міжкластерної відстані формуються компактні підкластери, зокрема, пари зразків 352/22 і 389/22, 304/22 і 375/22, а також 265/22 і 94/22, що свідчить про високий рівень подібності між ними за вмістом в зерні білка. Зразки 357/22 та 84/22 приєднуються до цієї групи на вищому рівні відстані, що вказує на суттєві відмінності за вмістом білка від загальної сукупності.

Седиментація – один із основних показників хлібопекарської якості зерна, що відтворює здатність білків формувати еластичну клейковину. Вищі значення седиментації свідчать про міцність і еластичність білкового комплексу, що безпосередньо впливає на об'єм і структуру тіста при випіканні. У практичній

селекції цей показник використовують швидким і економним способом добору генотипів за високими технологічними і хлібопекарськими властивостями.

У проведених дослідженнях розмах мінливості за показником седиментації становив 33–61 мл (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Седиментація колекційних зразків пшениці м'якої озимої, мл

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	54	50	51	52
84/22	58	53	55	55
85/22	58	54	55	56
90/22	63	58	60	61
94/22	53	49	51	51
148/22	62	57	59	59
265/22	57	52	54	54
291/22	63	58	60	60
304/22	44	40	42	42
326/22	35	32	33	33
348/22	62	57	59	59
339/22	61	56	58	58
344/22	59	55	56	57
352/22	60	56	58	58
357/22	51	47	49	49
375/22	54	49	51	51
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої *Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська*

Встановлено, що дев'ять досліджуваних зразків пшениці м'якої озимої істотно перевищували середній груповий показник за седиментацією. Найвище

її значення зафіксовано у зразків 90/22 (58–63 мл), 291/22 (58–63 мл), 148/22 (57–62 мл), 348/22 (57–62 мл), 339/22 (56–61 мл), 353/22 (58–60 мл), що достовірно перевищувало середній груповий стандарт. Зразки 265/22, 357/22 і 375/22 мали седиментацію на рівні середнього значення (49–57 мл). Зразки 304/22 і 326/22 (33–42 мл) достовірно поступалися середньому груповому стандарту.

Сила борошна характеризує здатність клейковинного комплексу утримувати гази під час бродіння тіста і зберігати об'єм хлібобулочних виробів. Вона об'єднує сумарну еластичність і міцність білкового комплексу та є одним із основних технологічних показників зерна пшениці для хлібопекарської промисловості. Підвищена сила борошна забезпечує формування тіста з оптимальними газотримуючими властивостями, що сприяє збільшенню об'єму хліба і поліпшенню його реологічних і органолептичних властивостей [185, 186].

Встановлено, що у колекційних зразків пшениці м'якої озимої сила борошна в середньому становила 234–344 о. а. з варіюванням ознаки за роками від 224–329 о. а. – у 2024 р. до 245–361 о. а. – у 2023 р. (табл. 4.6). Позитивно вирізнялися за цим показником зразки 90/22 (344 о. а.), 291/22 (334 о. а.), 348/22 (334 о. а.), 148/22, 339/22 і 345/22 (325 о. а.), 84/22 (315 о. а.). Достовірно збільшення сили борошна відносно середнього групового стандарту зафіксовано у 10 досліджуваних генотипів. Враховуючи класифікацію пшениці за силою борошна, зразок 326/22 (234 о. а.) віднесено до добрих філерів, інші досліджувані зразки пшениці м'якої озимої ідентифіковано задовільними поліпшувачами (286–344 о. а.).

Твердість зерна – один із базових показників технологічної якості зерна пшениці, що характеризує щільність та міцність ендосперму, зумовлений особливостями мікроструктури зернівки і характером взаємодії білків і крохмалю, що істотно впливає на борошномельні властивості зерна, якість борошна і його реологічні властивості [187, 188].

Сила борошна колекційних зразків пшениці м'якої озимої, о. а.

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	324	296	309	310
84/22	330	301	314	315
85/22	340	310	323	325
90/22	361	329	343	344
94/22	319	291	304	305
148/22	341	311	324	325
265/22	330	301	314	315
291/22	350	320	333	334
304/22	300	274	285	286
326/22	245	224	233	234
348/22	350	320	333	334
339/22	340	310	323	325
344/22	330	301	314	315
352/22	340	310	323	325
357/22	312	286	298	298
375/22	316	287	299	300
<i>НІР₀₁</i>	3	3	3	—

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Подолянка

Цей показник зумовлений структурою ендосперму і контролюється генетично, зокрема, локусом *Ha* (Hardness) і генами *Pina/pina* і *Pinb/pinb*, що кодують синтез протеїнів пууроіндолінів а і в. Пшениця м'яка характеризується меншою твердістю зерна, оскільки містить функціональні алелі генів *Pina-D1a/pina-D1a* та *Pinb-D1a/pinb-D1a*, що забезпечують м'якозерний тип ендосперму [189, 190]. У спельти зазвичай зустрічаються мутантні форми цих

генів, що продукують нефункціональні пуриноліни, що зумовлює більшу твердість зерна [189].

У колекційних зразків пшениці м'якої озимої твердість зерна в середньому становила 17,0–60,3 о. п. (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Твердість зерна колекційних зразків пшениці м'якої озимої, о. п.

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	53,1	48,9	50,6	50,9
84/22	60,3	55,6	57,4	57,8
85/22	51,8	47,6	49,3	49,6
90/22	63,2	58,1	59,7	60,3
94/22	56,2	51,8	53,5	53,8
148/22	45,1	41,6	42,9	43,2
265/22	59,2	54,3	56,2	56,6
291/22	62,7	57,8	59,7	60,1
304/22	44,7	41,1	42,4	42,8
326/22	17,8	16,5	16,9	17,0
348/22	62,6	58,0	60,0	60,2
339/22	60,7	55,9	57,7	58,1
344/22	58,1	52,8	55,1	55,3
352/22	58,6	54,0	55,8	56,1
357/22	46,1	42,4	43,8	44,1
375/22	52,7	48,5	50,5	50,6
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,5</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	—

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська

Достовірне збільшення цього показника відносно середнього групового зафіксовано у дев'яти зразків, а один – істотно не поступався середньому

стандарту. Найвищу твердість зерна зафіксовано у зразків 90/22 (58,1–63,2 о. п.), 348/22 (58,0–62,6 о. п.), 291/22 (57,8–62,7 о. п.). Враховуючи класифікацію за твердістю зерна, зразки 90/22, 291/22, 348/22 віднесено до твердозерних, зразки 85/22, 94/22, 148/22, 304/22, 326/22, 357/22 і 375/22 – до м'якозерних, зразки 84/22, 265/22, 339/22, 344/22, 352/22 – до напівм'якозерних.

Отже, в результаті аналізу колекційних матеріалів відібрано зразки пшениці м'якої озимої з високими показниками продуктивності, які доцільно використовувати у селекційній роботі донорами генів окремих господарсько-цінних ознак, зокрема, зразки 85/22 і 352/22 (висота стеблостою – 75–80 см, вміст в зерні клейковини – 33,8–34,6 %); зразки 84/22 і 326/22 (врожайність – 6,60–6,61 т/га); зразки 90/22, 291/22 і 348/22 (вміст в зерні клейковини – 35,7–36,4 %, білка – 16,4–16,7 %, сила борошна – 334–344 о. а., седиментація 59–61 мл).

4.3 Адаптивні особливості колекційних зразків пшениці м'якої озимої

Адаптивність є основним критерієм оцінки селекційного матеріалу, оскільки визначає здатність рослин підтримувати стабільний рівень урожайності та якості зерна в мінливих ґрунтово-кліматичних умовах. Вона формується як результат взаємодії генотипу з умовами навколишнього природного середовища й охоплює комплекс морфо-фізіологічних, біохімічних та фенологічних показників, що забезпечують стійкість і продуктивність культури [191, 192].

Для пшениці м'якої озимої особливе значення має поєднання високого генетичного потенціалу продуктивності з пластичністю до стресових факторів навколишнього середовища, зокрема, низькі температури, дефіцит вологи, збудники хвороб, низький агрофон тощо. Висока адаптивна здатність дає змогу зберігати оптимальні темпи росту, формування генеративних органів і зерна навіть за несприятливих умов. Аналіз показників адаптивності дає можливість виділяти генотипи зі стабільною реалізацією потенціалу врожайності за роками

та в різних еколого-географічних зонах. Тому дослідження адаптивності створених форм пшениці м'якої озимої є важливим етапом добору вихідного матеріалу за ведення селекційної роботи.

Для оцінки показників екологічної і генотипової стабільності та взаємодії генотип \times середовище необхідно проводити дослідження у різних ґрунтово-кліматичних умовах або в роки з контрастними погодними умовами. У період проведення досліджень (2023–2025 рр.) погодні умови істотно відрізнялися від середньобогаторічної норми і варіювали за роками. Оптимальні погодні умови фіксували впродовж 2022–2023 сільськогосподарського року, що характеризувався достатнім вологозабезпеченням (583,5 мм) і середньорічною температурою повітря (9,9 °C) близькою до норми. Гірші погодні умови склалися у 2023–2024 році, коли спостерігався суттєвий дефіцит опадів (-98,8 мм до норми), а найгірші – у 2024–2025 році, коли нерівномірний розподіл опадів перешкодив оптимальному розвитку рослин пшениці і формуванню високої продуктивності. Контрастність погодних умов дозволила проаналізувати показники екологічної та генотипової стабільності зразків пшениці м'якої озимої.

Встановлено межі варіювання врожайності колекційних зразків пшениці м'якої озимої 5,45–6,61 т/га (табл. 4.8). Найвищою врожайністю (6,60 т/га) характеризувалися зразки 326/22 і 84/22. Розрахунки екологічної і генотипової дисперсії показали, що переважну частину варіації урожайності визначали спадкові відмінності, оскільки генотипова дисперсія була вищою ($\sigma^2_g = 0,29–0,59$), ніж екологічна ($\sigma^2_e = 0,04–0,39$), що вказує на високий потенціал для селекційного добору за показником продуктивності. Найбільший вплив умов року на формування врожайності зафіксовано у генотипів 265/22 ($\sigma^2_e = 0,39$), 85/22 і 348/22 ($\sigma^2_e = 0,30$), 90/22, 94/22, 291/22 і 326/22 ($\sigma^2_e = 0,28$).

Аналіз взаємодії генотип \times середовище показує вищий вплив взаємодії на формування врожайності зразків пшениці м'якої озимої, ніж вплив лише умов середовища, тобто варіація продуктивності конкретних генотипів за різних умов більша, ніж варіація, зумовлена випадковими екологічними факторами у межах повторень.

**Генотипова та екологічна стабільність колекційних зразків пшениці
м'якої озимої, 2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Урожайність, т/га			σ_e^2 ¹	$\sigma_{g \times e}^2$ ²	h^2 ⁴	b_i ⁵	S_{di}^2 ⁶
	max	min	\bar{x}					
Груповий стандарт *	6,21	5,92	5,92	0,19	0,023	0,25	1,14	0,021
84/22	6,92	6,58	6,60	0,10	0,036	0,33	0,76	0,009
85/22	5,87	5,36	5,45	0,30	0,056	0,44	1,33	0,028
90/22	5,82	5,48	5,50	0,28	0,033	0,32	1,30	0,027
94/22	6,58	6,35	6,38	0,28	0,014	0,16	1,30	0,027
148/22	5,87	5,44	5,52	0,11	0,030	0,29	0,80	0,010
265/22	5,98	5,67	5,67	0,39	0,022	0,23	1,14	0,022
291/22	5,84	5,48	5,56	0,28	0,024	0,25	1,30	0,027
304/22	6,08	5,86	5,82	0,14	0,014	0,16	0,90	0,023
326/22	6,92	6,56	6,61	0,28	0,024	0,25	1,30	0,065
348/22	5,87	5,56	5,57	0,30	0,015	0,17	1,33	0,058
339/22	5,91	5,51	5,59	0,16	0,026	0,27	0,97	0,040
344/22	6,13	5,95	5,89	0,14	0,018	0,20	0,90	0,019
352/22	5,84	5,46	5,50	0,04	0,031	0,30	1,78	0,254
357/22	6,17	5,97	5,91	0,05	0,015	0,17	1,86	0,082
375/22	5,92	5,87	5,73	0,04	0,024	0,25	1,80	0,079
σ_g^2 ³	0,59	0,29	0,32	—				
HIR_{05}	0,29	0,28	—					

Примітка: ¹ σ_e^2 – екологічна дисперсія; ² $\sigma_{g \times e}^2$ – взаємодія генотип \times середовище; ³ σ_g^2 – генотипова дисперсія; ⁴ h^2 – коефіцієнт спадковості; ⁵ b_i – екологічна пластичність (коефіцієнт регресії); ⁶ S_{di}^2 – екологічна стабільність; груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська

Найвищий вплив взаємодії генотип \times середовище на врожайність зафіксовано у зразків 85/22 ($\sigma_{g \times e}^2 = 0,056$), 84/22 ($\sigma_{g \times e}^2 = 0,036$), 90/22 ($\sigma_{g \times e}^2 = 0,033$), 352/22 ($\sigma_{g \times e}^2 = 0,031$), 148/22 ($\sigma_{g \times e}^2 = 0,030$), що вказує на високу

чутливість цих генотипів на зміну умов вирощування. Найнижчий рівень взаємодії генотип \times середовище відмічено у зразків 348/22 і 357/22 ($\sigma^2_{g \times e} = 0,015$), 94/22 і 304/22 ($\sigma^2_{g \times e} = 0,014$), що вказує на їх стабільність і здатність реалізувати генетичний потенціал врожайності за різних умов вирощування.

Коефіцієнт спадковості (h^2) дає змогу оцінити, наскільки стабільно проявляється врожайність конкретного генотипу за роками, тобто яку частку варіації його продуктивності можна віднести до генетичної основи матеріалу. Високі значення h^2 вказують на генетичну стабільність врожайності окремого зразка. У дослідженнях найвищий коефіцієнт спадковості був у зразків 85/22 ($h^2 = 0,44$), 84/22 ($h^2 = 0,36$), 90/22 ($h^2 = 0,32$), 352/22 ($h^2 = 0,30$).

Екологічна пластичність і стабільність визначають здатність генотипів підтримувати високу продуктивність за різних кліматичних та агротехнічних умов. Висока стабільність і помірна пластичність дають можливість генотипам ефективно реалізувати свій потенціал навіть у мінливих або стресових умовах, що особливо важливо для регіонів із непередбачуваним кліматом. Висока пластичність і низька стабільність вказують на чутливість генотипу до зміни умов вирощування.

Високою пластичністю вирізнялися зразки 357/22 ($b_i = 1,86$), 375/22 ($b_i = 1,80$), 352/22 ($b_i = 1,78$), 85/22 і 348/22 ($b_i = 1,33$), 90/22, 94/22, 291/22 і 326/22 ($b_i = 1,30$); середньою – зразок 339/22 ($b_i = 0,97$). Найбільш стабільними були зразки 84/22 ($S^2_{di} = 0,009$), 148/22 ($S^2_{di} = 0,010$), 344/22 ($S^2_{di} = 0,019$). Варто відзначити зразки 85/22 і 90/22, що поєднували високу екологічну пластичність ($b_i = 1,30-1,33$) із середньою стабільністю ($S^2_{di} = 0,027-0,028$) і високим коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,32-0,44$) і зразок 94/22, що мав високу врожайність (6,38 т/га), екологічну пластичність ($b_i = 1,30$) та стабільність ($S^2_{di} = 0,027$).

Гомеостатичність – це властивість рослин зберігати рівень урожайності та інших господарсько-цінних показників за зміни умов вирощування. Вона зумовлена внутрішніми механізмами регуляції фізіологічних процесів, що підтримують сталість обміну речовин, водного режиму, фотосинтезу тощо. Чим

вища гомеостатичність, тим більшу селекційну цінність має генотип. Найбільш цінним є зразок, що поєднує високу врожайність з оптимальною гомеостатичністю. Серед проаналізованих колекційних зразків пшениці м'якої озимої найвищу гомеостатичність зафіксовано у зразків 94/22 і 291/22 (Ном = 299,3), 90/22 (Ном = 296,7), 85/22 (Ном = 288,9) (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

**Параметри адаптивності колекційних зразків пшениці м'якої озимої,
2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Ном–К ¹	Sc–К ²	As ³	Ia ⁴
Груповий стандарт *	254,5–1	7,4–1	90,2	1,04
84/22	216,8–1	6,5–1	93,2	0,94
85/22	288,9–1	7,9–1	89,6	1,09
90/22	296,7–1	8,0–1	89,9	1,11
94/22	299,3–1	8,0–1	90,0	1,11
148/22	213,5–1	6,4–1	92,9	0,92
265/22	253,8–1	7,1–1	87,8	0,95
291/22	299,3–1	8,0–1	90,0	1,11
304/22	142,8–2	6,3–1	91,2	0,89
326/22	186,2–2	7,9–1	89,8	1,10
348/22	195,4–2	7,8–1	89,5	1,08
339/22	114,7–2	7,0–1	92,0	0,99
344/22	219,1–1	7,3–1	92,5	1,05
352/22	23,9–3	5,8–2	95,2	0,86
357/22	47,8–3	6,0–1	95,2	0,89
375/22	42,7–3	5,8–2	95,4	0,87

Примітка: ¹ Ном – гомеостатичність; ² Sc – коефіцієнт селекційної цінності; ³ As – коефіцієнт агрономічної стабільності; ⁴ Ia – індекс адаптивності; груповий стандарт – сорти пшениці м'якої озимої Золотоколоса, Фаворитка, Легенда миронівська

Коефіцієнт селекційної цінності (Sc) – це інтегральний показник, що комплексно характеризує цінність генотипу для селекції, враховуючи його продуктивність, стабільність, пластичність і гомеостатичність. Вказує на здатність сорту або лінії поєднувати високу врожайність з екологічною стабільністю. Генотипи з високим коефіцієнтом селекційної цінності не лише забезпечують високу врожайність, але й зберігають її за різних умов вирощування. Встановлено, що найвищу селекційну цінність мають зразки 90/22, 94/22 і 291/22 ($Sc = 8,0$), 85/22 і 326/22 ($Sc = 7,9$), 348/22 ($Sc = 7,8$).

Коефіцієнт агрономічної стабільності (As) дає змогу визначити, наскільки стабільною є врожайність конкретного генотипу за роками, на різних ділянках або за зміни кліматичних умов. Дає можливість відбирати сорти, які одночасно мають високу продуктивність і стабільність, що важливо для забезпечення постійного врожаю в умовах мінливого клімату. Високі значення коефіцієнта агрономічної стабільності свідчать про незначну варіабельність врожайності та оптимальну адаптованість генотипу до дії стресових факторів середовища. Серед зразків пшениці м'якої озимої найвищим коефіцієнтом агрономічної стабільності характеризувались зразки 375/22 ($As = 95,4$), 352/22 і 257/22 ($As = 95,2$), 84/22 ($As = 93,2$).

Індекс адаптивності (Ia) відтворює не лише абсолютну врожайність конкретного генотипу, а й його відносну стабільність порівняно з середнім рівнем врожайності всіх зразків досліджу. Він дає можливість відібрати генотипи, які одночасно поєднують високий потенціал врожайності з низькою чутливістю до зміни умов вирощування. Генотипи з високим Ia характеризуються стійким проявом ознак та меншою залежністю від зовнішніх чинників. Найвищим індексом адаптивності характеризувалися зразки 90/22, 94/22 і 291/22 ($Ia = 1,11$), 326/22 ($Ia = 1,10$), 85/22 ($Ia = 1,09$), 348/22 ($Ia = 1,08$).

Кластерний аналіз дав змогу диференціювати колекційні зразки пшениці м'якої озимої за параметрами адаптивності. За гомеостатичністю проаналізовані зразки формують два макрокластери в межах яких виділяються компактні мікрокластери. Перший макрокластер об'єднує зразки пшениці

м'якої озимої 291/22, 94/22, 90/22, 85/22, 148/22, 344/22, 84/22, 265/22, 348/22 і 326/22 з високою гомеостатичністю ($Hom = 213,5-299,3$). Відстань зв'язку між зразками велика (40–50), що вказує на значні відмінності зразків в межах кластеру за гомеостатичністю.

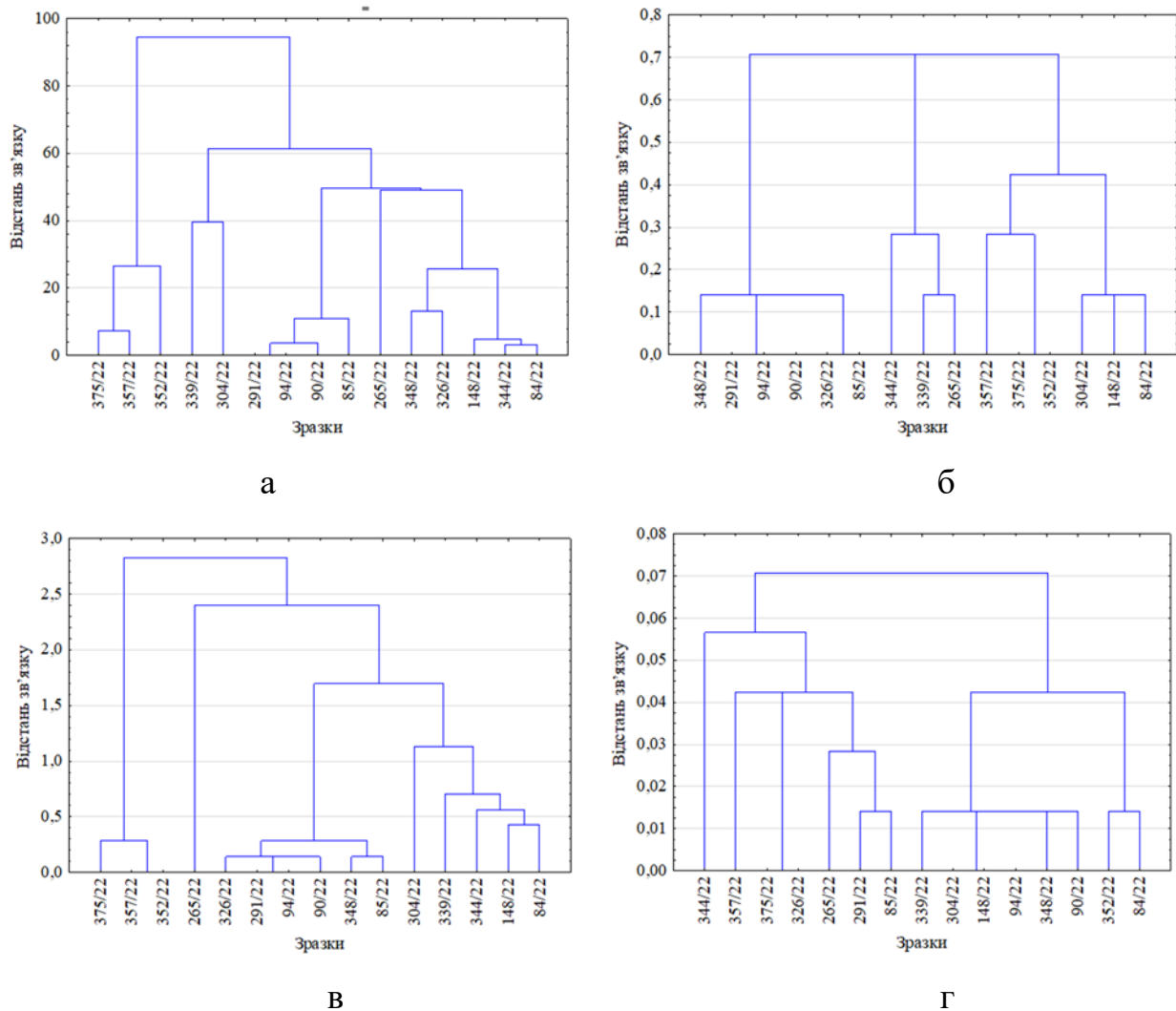


Рис. 4.4. Кластерний розподіл колекційних зразків пшениці м'якої за параметрами адаптивності, 2023–2025

а) за гомеостатичністю; б) за селекційною цінністю;

в) за агрономічною стабільністю; г) за індексом адаптивності

Другий макрокластер включає зразки 339/22, 304/22, 375/22, 357/22, 352/22 з найнижчою гомеостатичністю (рис. 4.4 а). Зразки цього кластеру приєднуються до зразків першого кластеру на відстані зв'язку понад 80, що

свідчить про істотну відмінність між двома групами зразків за гомеостатичністю.

За селекційною цінністю виділено три кластери. Перший об'єднує зразки 348/22, 291/22, 94/22, 90/22 і 326/22 з найвищою селекційною цінністю ($Sc = 7,8-8,0$); другий – зразки 344/22, 339/22 і 265/22, 304/22, 148/22, 84/22, розташований на однаковій відстані зв'язку з першим і третім кластером, що вказує на подібність зразків цього кластеру за селекційною цінністю до двох крайніх кластерів; третій, найвіддаленіший кластер включає зразки 357/22, 375/22 і 352/22 з найнижчою селекційною цінністю (рис. 4.4 б).

За коефіцієнтом агрономічної стабільності сформовано три кластери: перший – зразки 375/22, 357/22 і 352/22; другий – зразки 304/22, 339/22, 344/22, 148/22 і 84/22, розміщуються на однаковій відстані зв'язку (до 0,5), що свідчить про високу однорідність зразків в межах кластеру; третій – зразки 326/22, 291/22, 94/22, 90/22, 348/22 і 85/22 з найнижчою агрономічною стабільністю (рис. 4.4 в).

Отже, визначення параметрів адаптивності дозволило відібрати перспективні генотипи з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок 94/22, що поєднує високу врожайність (6,38 т/га), екологічну пластичність ($b_i = 1,30$) та стабільність ($S^2_{di} = 0,027$), гомеостатичність ($Hom = 299,3$), селекційну цінність ($Sc = 8,0$) і зразки 85/22 і 90/22, що поєднували високу екологічну пластичність ($b_i = 1,30-1,33$) із середньою стабільністю ($S^2_{di} = 0,027-0,028$), високим коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,32-0,44$), гомеостатичністю ($Hom = 286,9-296,7$) та індексом адаптивності ($Ia = 1,09-1,11$).

Висновки за розділом 4:

1. Проведено порівняльний аналіз колекційних зразків пшениці м'якої озимої за показниками продуктивності та адаптивності. Встановлено, що чотири досліджувані зразки істотно перевищували груповий стандарт за масою зерна з колосу (1,36–1,38 г); три – за врожайністю (6,21–6,92 т/га); сім досліджуваних зразків істотно перевищували середній груповий стандарт за вмістом в зерні

клейковини (32,3–36,4 %) і білка (15,0–17,3 %); дев'ять – за седиментацією (57–63 мл); 10 – за силою борошна (315–344 о. а.); дев'ять – за твердістю зерна (53,8–60,3 о. п.).

2. Виділено зразки пшениці м'якої озимої з високими показниками продуктивності, що можуть слугувати цінним вихідним матеріалом для селекційного поліпшення пшениці, зокрема, зразки 85/22 і 352/22 (висота рослин – 75–80 см, вміст клейковини – 33,8–34,6 %) – донорами генів низькостебловості; зразки 84/22 і 326/22 (врожайність – 6,60–6,61 т/га) – в селекції на підвищення продуктивності; зразки 90/22, 291/22 і 348/22 (вміст в зерні клейковини – 35,7–36,4 %, білка – 16,4–16,7 %, сила борошна – 334–344 о. а.) – в селекції на поліпшення показників якості зерна.

3. Визначення параметрів адаптивності дало змогу відібрати перспективні генотипи пшениці м'якої озимої з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок 94/22, що поєднує високу врожайність (6,38 т/га), екологічну пластичність ($b_i = 1,30$) та стабільність ($S^2_{di} = 0,027$), гомеостатичність ($Hom = 299,3$), селекційну цінність ($Sc = 8,0$) і зразки 85/22 і 90/22, що поєднували високу екологічну пластичність ($b_i = 1,30–1,33$) із середньою стабільністю ($S^2_{di} = 0,027–0,028$) і високим коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,32–0,44$), гомеостатичністю ($Hom = 286,9–296,7$) та індексом адаптивності ($Ia = 1,09–1,11$).

За результатами досліджень опубліковано три наукові праці [179, 193, 194].

РОЗДІЛ 5

СЕЛЕКЦІЙНА ЦІННІСТЬ КОЛЕКЦІЙНОГО ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ ОЗИМОЇ

Створення нових високопродуктивних сортів пшениці спельти озимої неможливе без аналізу вихідного матеріалу за рівнем прояву господарсько-цінних ознак та розроблення науково-обґрунтованих систем добору батьківських пар гібридизації. Високий рівень генетичної різноманітності, поєднання господарсько-цінних ознак і адаптивного потенціалу вихідного матеріалу формують передумови для цілеспрямованого добору генотипів з високою продуктивністю, якістю зерна і стійкістю до несприятливих чинників навколишнього природного середовища.

Ефективність селекційного процесу істотно залежить від залучення в схеми гібридизації вихідного матеріалу з високою врожайністю, широкою екологічною пластичністю, гомеостатичністю, підвищеною стійкістю до абіотичних і біотичних стресів та генетично зумовленими показниками якості зерна, що визначає актуальність оцінки селекційної цінності вихідного матеріалу пшениці спельти озимої.

Дослідження, спрямовані на аналіз вихідного матеріалу пшениці спельти озимої, сприяють підвищенню ефективності селекційного процесу і формують передумови для створення нових сортів з високим потенціалом продуктивності, адаптивності та якості зерна, що є актуальним завданням селекції.

5.1. Аналіз продуктивності колекційних зразків пшениці спельти озимої

Висота рослин є однією з важливих морфологічних ознак пшениці спельти озимої, що суттєво впливає на адаптивність, продуктивність і стійкість посівів до вилягання. Спельта належить до високостеблових форм, висота рослин якої

може сягати понад 130 см. Це зумовлює їх підвищену чутливість до несприятливих погодних умов, зокрема, надмірного зволоження та сильних вітрів. В зв'язку з цим створення низькостеблових форм спельти та їх аналіз є першочерговим питанням селекції культури.

Висота рослин спельти – кількісна генетично зумовлена ознака з контролем комплексу генів *Rht/rht*, що локалізовані в хромосомах геному D, а також низки полігенів-модифікаторів, які зумовлюють варіабельність прояву ознаки залежно від генотипу та умов середовища [195, 196]. У пшениці спельти переважають функціональні алелі генів *Rht/rht*, що зумовлюють інтенсивний ріст стебла. На відміну від сортів пшениці м'якої, у спельти, зазвичай, відсутні мутантні напівкарликові алелі *Rht-B1b* і *Rht-D1b*, що забезпечують формування низькостеблових форм [196, 197]. Крім генів *Rht/rht*, на формування висоти рослин у спельти впливають QTL-локуси, що контролюють довжину міжвузлів, інтенсивність подовження стебла та темпи росту вегетативної маси. Їх дія часто має адитивний характер та істотно залежить від умов вирощування, що зумовлює високу фенотипову мінливість ознаки [198].

У колекційних зразків пшениці спельти озимої висота рослин в середньому варіювала в межах 89–115 см (табл. 5.1). Найнижчими рослинами характеризувались зразки 66/22 (89 см), 127/22 і 272/22 (95 см), 202/22 (93 см), 312/22 (90 см), що достовірно поступалися середньому груповому стандарту за висотою рослин. Зразки спельти 10/22 (98 см), 155/22 і 185/22 (108 см) і 295/22 (103 см) мали висоту рослин на рівні середнього стандарту. У зразків 25/22, 44/22, 125/22, 245/22, 248/22 і 305/22 висота рослин становила 110–118 см, що перевищувало середній груповий стандарт на 7–15 см за $HP_{05} = 5$.

Враховуючи класифікацію А. П. Орлюка зі співавторами зразки пшениці спельти озимої 10/22, 66/22, 127/22, 202/22, 277/22, 295/22, 312/22 віднесено до низькостеблових (висота рослин – 89–103 см), зразки 25/22, 44/22, 125/22, 155/22, 185/22, 145/22, 248/22, 305/22 – до середньостеблових (висота рослин – 108–118 см).

Таблиця 5.1

**Аналіз господарсько-цінних показників колекційних зразків пшениці
спельти озимої, середнє за 2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Висота рослин, см	Довжина колосу, см	Щільність колосу, шт./10 см	Маса зерна з колосу, г
Груповий стандарт *	103	14,0	17,1	1,17
10/22	98	13,5	17,0	1,15
25/22	110	12,8	18,8	1,21
44/22	112	14,1	17,0	1,16
66/22	89	12,5	16,8	1,12
127/22	95	13,6	16,9	1,08
125/22	110	15,1	16,6	1,16
155/22	108	14,8	16,9	1,35
185/22	108	14,6	16,8	1,12
202/22	93	15,3	17,0	1,24
245/22	118	12,8	17,2	1,25
248/22	115	13,8	16,7	1,21
277/22	95	14,3	16,8	1,14
295/22	103	14,5	16,9	1,02
305/22	110	13,2	17,4	1,11
312/22	90	14,6	17,1	1,19
<i>НІР₀₅</i>	<i>5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,05</i>

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Достовірно перевищували середній груповий стандарт за масою зерна з колосу зразки 155/22 (1,35 г), 202/22 (1,24 г), 245/22 (1,25 г); за довжиною колосу – зразки 155/22 (14,8 см), 125/22 (15,1 см), 202/22 (15,3 см); за щільністю колосу – зразок 25/22 (18,8 шт./10 см).

Аналіз врожайності колекційних зразків свідчить про чітко виражену мінливість між зразками та за роками. Загалом простежується тенденція до зниження врожайності від 2023 р. (3,78–4,95 т/га) до 2025 р. (3,62–4,65 т/га) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Врожайність колекційних зразків пшениці спельти озимої, т/га

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє	Якість обмолоту, %
	2023	2024	2025		
Груповий стандарт *	4,27	3,98	3,88	4,04	82
10/22	4,21	3,92	3,81	3,98	81
25/22	4,32	3,96	3,85	4,04	83
44/22	4,25	3,94	3,88	4,02	83
66/22	4,15	3,88	3,75	3,93	80
127/22	4,05	3,82	3,62	3,83	78
125/22	4,25	3,91	3,86	4,01	82
155/22	4,95	4,71	4,65	4,77	90
185/22	4,16	3,85	3,77	3,93	80
202/22	4,55	4,15	4,02	4,24	85
245/22	4,62	4,22	4,12	4,32	87
248/22	4,32	4,01	3,95	4,09	82
277/22	4,22	3,93	3,83	3,99	81
295/22	3,78	3,65	3,55	3,66	74
305/22	3,87	3,68	3,62	3,72	76
312/22	4,28	4,01	3,96	4,08	82
<i>НІР₀₅</i>	<i>0,20</i>	<i>0,19</i>	<i>0,19</i>	–	4

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Позитивно вирізнявся зразок 155/22 (4,65–4,95 т/га), що істотно перевищував середній груповий показник. Високою врожайністю

характеризувалися зразки 245/22 (4,32 т/га), 202/22 (4,24 т/га), 248/22 (4,09 т/га), 312/22 (4,08 т/га) та 25/22 (4,04 т/га), що мали врожайність на рівні середнього показника.

Якість обмолоту зерна спельти є комплексною ознакою, що визначається морфо-анатомічними особливостями колосового стрижня та колоскових лусок і має складну полігенну генетичну природу. Основним чинником генетичного контролю якості обмолоту зерна є ген Q/q , що визначає щільність і форму колосу [199–201]. Крім того, на якість обмолоту впливає ген Tg/tg та інші QTL, що локалізовані на хромосомах 2AS, 2BS і 5AL, які за взаємодії з геном Q/q визначають щільність та ламкість колосового стрижня [200, 201].

Якість обмолоту зерна за оцінки вихідного матеріалу спельти – один із найважливіших показників, оскільки створення форм з високою якістю обмолоту зерна дозволить підвищити врожайність і зменшити затрати на механізоване збирання. У проведених дослідженнях якість обмолоту зерна варіювала в межах 74–90 %. Найвищою якістю обмолоту характеризувалися зразки 155/22 (90 %), 245/22 (87 %) і 202/22 (85 %), які характеризувались високою врожайністю (4,24–4,77 т/га), що вказує на їх комплексну селекційну цінність. Зразки 10/22, 25/22, 44/22, 66/22, 127/22, 125/22, 185/22, 248/22, 277/22, 312/22 мали якість обмолоту зерна на рівні середнього групового стандарту (80–83 %).

Основною перевагою спельти відносно пшениці м'якої є високий вміст в зерні білка (до 20–25 %) і клейковини (біля 45–50 %). Проте, реологічні властивості тіста (індекс деформації клейковини, стабільність тіста за даними фаринографа) у спельти зазвичай нижчі, ніж у пшениці м'якої, що пояснюється відмінностями у співвідношенні компонентів клейковини та їх молекулярним складом [202–206].

Вміст клейковини в зерні колекційних зразків пшениці спельти озимої в середньому за період досліджень становив 36,9–49,8 % (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Вміст клейковини в зерні колекційних зразків пшениці спельти озимої, %

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	41,0	42,3	42,7	42,0
10/22	45,4	46,8	47,2	46,5
25/22	41,1	42,3	42,7	42,1
44/22	48,7	50,2	50,6	49,8
66/22	42,1	43,4	43,8	43,1
127/22	38,5	39,7	40,0	39,4
125/22	40,2	41,4	41,8	41,1
155/22	39,8	41,0	41,4	40,7
185/22	38,8	40,0	40,4	39,7
202/22	41,1	42,3	42,7	42,1
245/22	44,5	45,8	46,3	45,5
248/22	42,2	43,5	43,9	43,2
277/22	36,1	37,2	37,5	36,9
295/22	39,2	40,4	40,8	40,1
305/22	40,1	41,3	41,7	41,0
312/22	37,7	38,8	39,2	38,6
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Найвищий вміст клейковини фіксували у номера 44/22 – в середньому 49,8 % і у зерні зразків 10/22 (46,5 %), 66/22 (43,1 %), 245/22 (45,5 %), 248/22 (43,2 %), що істотно перевищувало середній груповий стандарт. Зразки 25/22 і 202/22 (42,1 %) за вмістом клейковини істотно не відрізнялися від середнього стандарту.

Вміст білка в зерні колекційних зразків пшениці спельти озимої фіксували у межах 15,4–20,8 % (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Вміст білка в зерні колекційних зразків пшениці спельти озимої, %

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	17,1	17,6	17,8	17,5
10/22	18,9	19,5	19,7	19,4
25/22	17,1	17,6	17,8	17,5
44/22	20,3	20,9	21,1	20,8
66/22	17,5	18,1	18,2	18,0
127/22	16,0	16,5	16,7	16,4
125/22	16,8	17,3	17,4	17,1
155/22	16,6	17,1	17,2	17,0
185/22	16,2	16,7	16,8	16,5
202/22	17,1	17,6	17,8	17,5
245/22	18,5	19,1	19,3	19,0
248/22	17,6	18,1	18,3	18,0
277/22	15,0	15,5	15,6	15,4
295/22	16,3	16,8	17,0	16,7
305/22	16,7	17,2	17,4	17,1
312/22	15,7	16,2	16,3	16,1
<i>НІР₀₁</i>	0,2	0,2	0,2	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Достовірне збільшення цього показника відносно середнього групового стандарту зафіксовано у зразків 10/22 (19,4 %), 44/22 (20,8 %), 66/22 (17,5 %), 245/22 (19,0 %), 248/22 (18,0 %), а зразки 25/22 і 202/22 (17,5 %) мали вміст в зерні білка на рівні середнього групового стандарту. Варто відзначити зразок 245/22, що поєднував високу врожайність (4,32 т/га) з високим вмістом в зерні білка (19,0 %) і клейковини (45,5 %).

Седиментація зразків пшениці спельти озимої в середньому за 2023–2025 рр. становила 53–67 мл (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Седиментація колекційних зразків пшениці спельти озимої, мл

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	59	61	58	59
10/22	63	65	62	63
25/22	60	62	59	60
44/22	65	67	64	65
66/22	61	63	60	61
127/22	55	57	54	55
125/22	57	59	56	57
155/22	58	60	57	58
185/22	54	56	53	54
202/22	62	64	61	62
245/22	67	69	66	67
248/22	63	65	62	63
277/22	52	54	51	52
295/22	55	57	54	55
305/22	57	59	56	57
312/22	53	55	52	53
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Найвищою вона була у зразків 245/22 (67 мл), 44/22 (65 мл), 10/22 і 248/22 (63 мл), 202/22 (62 мл), 66/22 (61 мл), 25/22 (60 мл), що достовірно перевищували середній груповий стандарт.

Варіабельність за силою борошна у зразків пшениці спельти озимої була у межах 287–431 о. а. (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Сила борошна колекційних зразків пшениці спельти озимої, о. а.

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	318	328	334	327
10/22	340	350	357	349
25/22	300	309	315	308
44/22	420	433	441	431
66/22	310	319	326	318
127/22	280	288	294	287
125/22	300	309	315	308
155/22	350	361	368	359
185/22	290	299	305	298
202/22	330	340	347	339
245/22	380	391	399	390
248/22	320	330	336	329
277/22	280	288	294	287
295/22	290	299	305	298
305/22	300	309	315	308
312/22	280	288	294	287
<i>НІР₀₁</i>	3	3	3	–

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Достовірне збільшення сили борошна відносно середнього групового стандарту фіксували у зразків 10/22 (349 о. а.), 44/22 (431 о. а.), 155/22 (359 о. а.), 202/22 (339 о. а.) і 245/22 (390 о. а.). Згідно класифікації пшениці за силою борошна зразок 44/22 віднесено до добрих поліпшувачів ($W = 431$ о. а.), інші

досліджувані зразки ідентифіковано задовільними поліпшувачами ($W = 287\text{--}290$ о. а.).

Твердість зерна у середньому за період досліджень варіювала в межах $52,6\text{--}65,1$ о. п. (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Твердість зерна колекційних зразків пшениці спельти озимої, о. п.

Селекційний матеріал	Роки дослідження			Середнє
	2023	2024	2025	
Груповий стандарт *	56,2	58,5	59,1	57,9
10/22	63,2	65,7	66,4	65,1
25/22	58,1	60,4	61,0	59,8
44/22	62,3	64,8	65,4	64,2
66/22	56,8	59,1	59,6	58,5
127/22	54,2	56,4	56,9	55,8
125/22	52,2	54,3	54,8	53,8
155/22	53,5	55,6	56,2	55,1
185/22	51,1	53,1	53,7	52,6
202/22	59,2	61,6	62,2	61,0
245/22	61,2	63,6	64,3	63,0
248/22	56,8	59,1	59,6	58,5
277/22	54,2	56,4	56,9	55,8
295/22	53,5	55,6	56,2	55,1
305/22	52,2	54,3	54,8	53,8
312/22	55,2	57,4	58,0	56,9
<i>НІР₀₁</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>	—

Примітка: груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Найвищу твердість зерна фіксували у зразків 10/22 (65,1 о. п.), 44/22 (64,2 о. п.), 245/22 (63,0 о. п.), 202/22 (61,0 о. п.), що достовірно перевищували

середній груповий стандарт. Згідно класифікації пшениці за твердістю зерна, зразки пшениці спельти озимої 10/22, 44/22, 245/22 і 202/22 віднесено до твердозерних, зразки 125/22, 185/22 і 305/22 – до м'якозерних, інші досліджувані генотипи – до напівм'якозерних.

Кластерний аналіз дозволив диференціювати зразки пшениці спельти озимої за показниками якості зерна. Відмічено високу диференціацію за вмістом в зерні білка і клейковини. Усі зразки об'єднуються в єдину систему на високій відстані зв'язку (близько 5,5–6,0), однак на нижчих рівнях чітко простежується поділ на три кластери (рис. 5.1 а, 5.1 б).

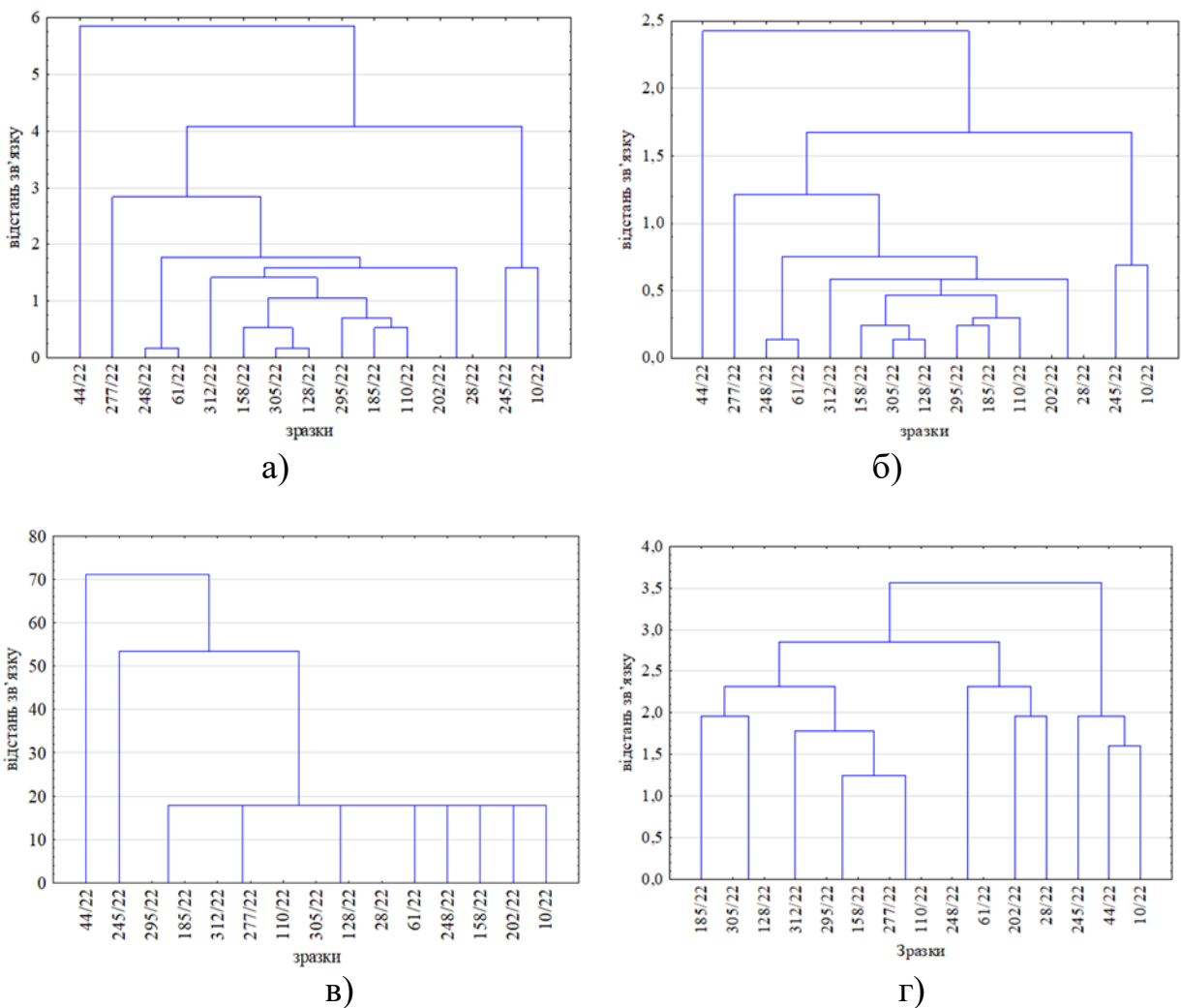


Рис. 5.1. Кластерний розподіл колекційних зразків пшениці спельти озимої за показниками якості зерна, 2023–2025

а) за вмістом клейковини в зерні; б) за вмістом білка в зерні;

в) за силою борошна; г) за твердістю зерна

Перший включає зразок 44/22 з найвищим вмістом білка і клейковини (відповідно 20,8 % і 49,8 %), ізольований від інших, що свідчить про його високу селекційну цінність. Другий об'єднує зразки 10/22 і 245/22 з нижчим вмістом клейковини. Третій є найбільш варіабельним, оскільки об'єднує найбільшу кількість зразків (277/22, 248/22, 66/22, 155/22, 305/22, 125/22, 295/22, 185/22, 312/22), поєднуються на невеликій відстані зв'язку (2,0–3,0), що вказує на однорідність вибірки за вмістом білка і клейковини.

За силою борошна досліджувані зразки формують два кластери (рис. 5.1 в): перший – зразки 44/22 і 245/22, ізольовані від інших на високій відстані зв'язку, що свідчить про високі значення досліджуваного показника. Другий кластер характеризується високою вирівняністю, оскільки всі зразки знаходяться на однаковій відстані зв'язку. Він об'єднує 13 зразків пшениці спельти.

За твердістю зерна досліджувані зразки формують три кластери (рис. 5.1 г): перший – зразки 10/22, 44/22 і 245/22 з найвищою твердістю зерна; другий – зразки 25/22, 202/22, 66/22 і 248/22 з нижчою твердістю зерна; третій – зразки 127/22, 277/22, 155/22, 395/22, 312/22, 185/22, 305/22 і 125/22 з найнижчою твердістю зерна.

Стійкість пшениці спельти до грибкових хвороб є одним з основних чинників стабільності врожайності та якості зерна. У сучасних агроекосистемах рослини постійно зазнають впливу патогенів, найбільш шкодочинними серед яких є збудники, бруї та жовтої іржі, борошнистої роси, фузаріозу колосу і септоріозу. Оцінка стійкості сортів дозволяє виділити генотипи з високою резистентністю, що забезпечує ефективну реалізацію генетичного потенціалу врожайності в різних екологічних умовах і сприяє зменшенню витрат на захист рослин.

Пшениця спельта вирізняється підвищеною природною стійкістю до окремих збудників грибкових хвороб, зокрема, борошнистої роси і бруї іржі. Молекулярні дослідження виявили маркери, асоційовані зі стійкістю до цих патогенів, що визначає спельту цінним матеріалом для генетичного поліпшення резистентності сучасних сортів пшениці [207, 208]. Проте, висока резистентність до хвороб притаманна лише природнім популяціям спельти. У селекційних сортів і зразків вона може знижуватися через інтрогресію чужорідного генетичного матеріалу [209].

У процесі досліджень зафіксовано частку ураження рослин колекційних зразків пшениці спельти озимої борошнистою россою на рівні 1,8–13,5 %, бурою іржею – 8,5–24,1 %, фузаріозом колосу – 0,0–12,5 %, 0,0–6,9 % (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

**Стійкість до хвороб колекційних зразків пшениці спельти озимої,
2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Частка ураження рослин							
	борошнеста роса		бура іржа		фузаріоз колосу		септоріоз	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
Груповий стандарт *	6,9	7	17,4	5	4,2	8	3,4	8
10/22	4,1	8	8,5	7	0,0	9	0,0	9
25/22	6,8	7	14,2	6	2,5	8	3,6	8
44/22	8,2	7	16,9	5	3,3	8	4,6	8
66/22	8,7	7	17,2	5	3,5	8	4,2	8
127/22	3,5	8	18,7	5	4,5	8	4,2	8
125/22	1,8	8	14,2	6	0,0	9	0,0	9
155/22	2,5	8	13,1	6	0,0	9	0,0	9
185/22	8,6	7	16,9	5	8,8	7	4,8	8
202/22	9,1	7	24,1	5	0,0	9	3,6	8
245/22	6,8	7	23,6	5	4,5	8	3,8	8
248/22	12,5	6	18,8	5	4,8	8	5,8	7
277/22	13,5	6	24,1	5	3,9	8	6,9	7
295/22	4,1	8	19,2	5	3,6	8	3,9	8
305/22	5,9	7	14,5	6	12,5	7	2,2	8
312/22	6,9	7	16,8	5	10,8	7	3,9	8
<i>НІР₀₅</i>	0,3	–	0,8	–	0,2	–	0,2	–

Примітка. * 1 – частка ураження рослин, %; 2 – бал стійкості; груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Найнижчий відсоток ураження рослин борошнистою росою фіксували у зразків 10/22 (4,1 %), 127/22 (3,5 %), 125/22 (1,8 %), 155/22 (2,5 %), 295/22 (4,5 %), що визначалися високостійкими до ураження борошнистою росою (8 балів). Стійким до бурої іржі (7 балів) виявився зразок 10/22., а помірною стійкістю (6 балів) – зразки 25/22, 44/22, 125/22, 155/22, 305/22, що мали інтенсивність ураження на рівні 10–15 %. Надвисокостійкими до фузаріозу колосу (9 балів) були зразки 10/22, 125/22, 155/22, 202/22, рослини яких не уражувалися патогеном, а вісім генотипів демонстрували високу стійкість до фузаріозу (8 балів). Зразки 10/22, 125/22 і 155/22 характеризувались відсутністю ознак ураження септоріозом (9 балів).

Аналіз стійкості до хвороб зразків пшениці спельти озимої дозволив відібрати зразки 10/22, 125/22 і 155/22, що характеризуються комплексною високою стійкістю до борошнистої роси, фузаріозу колосу і септоріозу (8–9 балів) і помірною стійкістю до бурої іржі (6 балів).

Отже, в результаті проведених досліджень виділено зразки пшениці спельти озимої з високими показниками продуктивності, які доцільно використовувати у селекційній роботі донорами генів окремих господарсько-цінних ознак, зокрема, зразок 10/22 (висота рослин – 89 см, вміст білка – 19,4 %, клейковини – 46,5 %); зразок 155/22 (врожайність – 4,65–4,95 т/га); зразки 10/22, 44/22 і 245/22 (вміст клейковини – 45,5–19,8 %, білка – 19,0–20,8 %, седиментація 63–67 мл, сила борошна – 349–431 о. а.); зразки 10/22, 125/22 і 155/22 (стійкість до борошнистої роси, фузаріозу колосу і септоріозу – 8–9 балів, бурої іржі – 6 балів).

5.2 Адаптивні особливості колекційних зразків пшениці спельти озимої

Підвищення адаптивного потенціалу є актуальним напрямком селекції спельти, оскільки висока адаптивність забезпечує реалізацію генетичного

потенціалу продуктивності навіть за несприятливих умов вирощування. Добір генотипів спельти з високою пластичністю та стабільністю дає змогу створювати сорти, здатні формувати стабільний урожай за різного рівня зволоження, температурного режиму та агрофону, що підвищує ефективність їх використання у виробництві й розширює ареал вирощування культури.

В результаті досліджень встановлено межі варіювання врожайності зразків пшениці спельти озимої 3,55–4,95 т/га (табл. 5.9). Найвищою врожайністю характеризувався зразок 155/22 (в середньому 4,77 т/га). Аналіз екологічної і генотипової дисперсії вказує на значення генотипу у формуванні врожайності, оскільки $\sigma^2_g > \sigma^2_e$, що вказує на високий потенціал для селекційного відбору за продуктивністю. Найбільший вплив умов року на формування врожайності зафіксовано у генотипів 202/22 ($\sigma^2_e = 0,076$), 245/22 ($\sigma^2_e = 0,070$) і 25/22 ($\sigma^2_e = 0,060$).

Взаємодія генотип \times середовище ($\sigma^2_g \times e = 0,018\text{--}0,071$) суттєво не відрізняється від екологічної дисперсії ($\sigma^2_e = 0,013\text{--}0,076$), що вказує на помірний вплив умов вирощування на реалізацію генетичного потенціалу врожайності та стабільність апробованих зразків спельти за роками.

Коефіцієнт спадковості (h^2) характеризує ступінь стабільності прояву врожайності конкретного генотипу, тобто показує частку дисперсії продуктивності, що зумовлена генетичними особливостями. У колекційних зразків пшениці спельти коефіцієнт спадковості був високим ($h^2 = 0,48\text{--}0,87$), що вказує на переважний вплив генетичних чинників на формування врожайності. Найвищим він був у зразків 155/22 ($h^2 = 0,087$), 295/22 ($h^2 = 0,071$), 305/22 ($h^2 = 0,070$) і 312/22 ($h^2 = 0,068$).

Розрахунки екологічної пластичності свідчать, що високопластичними були зразки 25/22, 127/22, 125/22, 202/22, 245/22, у яких коефіцієнт регресії становив $b_i = 1,04\text{--}1,37$, а середньопластичними – зразки 10/22, 44/22, 66/22, 185/22, 248/22, 277/22, 312/22, у яких коефіцієнт регресії складав $b_i = 0,98\text{--}1,02$. Інші зразки пшениці спельти віднесено до низькопластичних ($b_i = 0,56\text{--}0,79$).

**Генотипова та екологічна стабільність колекційних зразків пшениці
спельти озимої, 2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Урожайність, т/га			σ_e^2 ¹	$\sigma_{g \times e}^2$ ²	h^2 ⁴	b_i ⁵	S_{di}^2 ⁶
	max	min	\bar{x}					
Груповий стандарт *	4,27	3,88	4,04	0,041	0,038	0,64	1,00	0,005
10/22	4,21	3,81	3,98	0,043	0,039	0,56	1,02	0,005
25/22	4,32	3,85	4,04	0,060	0,056	0,52	1,22	0,008
44/22	4,25	3,88	4,02	0,039	0,037	0,48	0,98	0,005
66/22	4,15	3,75	3,93	0,042	0,039	0,67	1,01	0,005
127/22	4,05	3,62	3,83	0,046	0,045	0,59	1,04	0,005
125/22	4,25	3,86	4,01	0,045	0,039	0,58	1,04	0,006
155/22	4,95	4,65	4,77	0,025	0,028	0,87	0,79	0,003
185/22	4,16	3,77	3,93	0,042	0,036	0,54	1,02	0,005
202/22	4,55	4,02	4,24	0,076	0,071	0,53	1,37	0,010
245/22	4,62	4,12	4,32	0,070	0,068	0,51	1,31	0,009
248/22	4,32	3,95	4,09	0,039	0,037	0,65	0,98	0,005
277/22	4,22	3,83	3,99	0,041	0,037	0,57	1,00	0,005
295/22	3,78	3,55	3,66	0,013	0,027	0,71	0,56	0,002
305/22	3,87	3,62	3,72	0,017	0,018	0,70	0,65	0,002
312/22	4,28	3,96	4,08	0,041	0,046	0,68	1,00	0,094
σ_g^2 ³	0,12	0,07	0,08	—				
<i>НІР</i> ₀₅	0,20	0,19		—				

Примітка: ¹ σ_e^2 – екологічна дисперсія; ² $\sigma^2 g \times e$ – взаємодія генотип \times середовище; ³ σ_g^2 – генотипова дисперсія; ⁴ h^2 – коефіцієнт спадковості; ⁵ b_i – екологічна пластичність (коефіцієнт регресії); ⁶ S_{di}^2 – екологічна стабільність; груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Варто відзначити високу стабільність колекційних зразків пшениці спельти за врожайністю ($S_{di}^2 = 0,002$ – $0,010$), за винятком номера 312/22, що був низькостабільним ($S_{di}^2 = 0,094$). Позитивно вирізнявся зразок 155/22, що

поєднував високу врожайність (4,77 т/га) з високим рівнем успадкування ($h^2 = 0,87$) та стабільністю ознаки ($S^2_{di} = 0,003$).

Найвищу гомеостатичність фіксували у зразка 155/22 ($Ном = 121,8$), що поєднувалося з високим коефіцієнтом селекційної цінності ($Sc = 5,1$), коефіцієнтом агрономічної стабільності ($As = 98,8$) та індексом адаптивності ($Ia = 1,05$) (табл. 5.10).

Таблиця 5.10

**Параметри адаптивності колекційних зразків пшениці спельти озимої,
2023–2025 рр.**

Селекційний матеріал	Ном–К ¹	Sc ²	As ³	Ia ⁴
Груповий стандарт *	89,0–1	4,4	98,2	1,03
10/22	86,8–1	4,4	98,2	0,99
25/22	88,4–1	4,5	97,9	1,02
44/22	85,7–1	4,4	98,3	1,01
66/22	85,8–1	4,3	98,2	0,98
127/22	85,4–1	4,3	98,1	0,96
125/22	84,1–1	4,4	98,1	1,00
155/22	121,8–1	5,1	98,8	1,05
185/22	82,7–1	4,3	96,3	0,97
202/22	97,6–1	4,8	95,3	1,02
245/22	99,9–1	4,8	95,5	1,03
248/22	88,7–1	4,5	96,5	1,01
277/22	86,8–1	4,4	96,4	1,08
295/22	77,2–2	3,9	97,9	1,09
305/22	75,1–2	4,0	97,6	1,19
312/22	89,0–1	4,4	98,2	1,11

Примітка: ¹ Ном – гомеостатичність; ² Sc – коефіцієнт селекційної цінності;

³ As – коефіцієнт агрономічної стабільності; ⁴ Ia – індекс адаптивності; груповий стандарт – сорти пшениці спельти озимої Зоря України, Європа

Цей зразок також характеризувався найвищою за дослідом врожайністю (4,77 т/га) та високим коефіцієнтом успадкування ($h^2 = 0,87$), що свідчить про стабільну реалізацію потенціалу врожайності за різних умов вирощування і високу перспективність зразка за селекційної роботи. Високою гомеостатичністю характеризувались також зразки 245/22 ($Hom = 99,9$) і 202/22 ($Hom = 97,6$), що поєднувалось з високою врожайністю (4,24–4,32 т/га) і високою екологічною пластичністю ($b_i = 1,31–1,37$), а це вказує на їх здатність реалізовувати генетичний потенціал продуктивності за різних умов вирощування і практичну цінність у селекції на адаптивність.

Зразки 277/22, 295/22, 305/22 і 312/22 характеризувались високим індексом адаптивності ($I_a = 1,08–1,19$), проте інші показники адаптивності та врожайність цих генотипів були на низькому рівні. Найвищий коефіцієнт агрономічної стабільності фіксували у зразків 155/22 ($A_s = 98,8$), 10/22, 66/22 і 312/22 ($A_s = 98,2$), 44/22 ($A_s = 98,3$), 125/22 і 127/22 ($A_s = 98,1$).

Отже, визначення параметрів адаптивності колекційних зразків пшениці спельти озимої дало можливість відібрати перспективні генотипи з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок 155/22, що характеризується високою врожайністю (4,77 т/га), гомеостатичністю ($Hom = 121,8$), коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,87$), селекційною цінністю ($Sc = 5,1$) і зразки 202/22 і 245/22, що поєднували високу врожайність (4,24–4,32 т/га) з екологічною пластичністю ($b_i = 1,31–1,37$), стабільністю ($S^2_{di} = 0,009–0,010$), коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,51–0,53$), гомеостатичністю ($Hom = 97,6–99,9$) та індексом адаптивності ($I_a = 1,02–1,03$).

Висновки за розділом 5:

1. За апробації колекційних зразків пшениці спельти озимої за показниками продуктивності та адаптивності виділено п'ять низькостеблових зразків (висота рослин 89–95 см). Встановлено, що три зразки істотно перевищували груповий стандарт за масою зерна з колосу (1,24–1,35 г); один –

– за врожайністю (4,77 т/га); п'ять зразків істотно перевищували середній груповий стандарт за вмістом в зерні клейковини (43,1–49,8 %), білка (18,0–20,8 %) та силою борошна (339–431 о. а.).

2. Виділено зразок пшениці спельти озимої 10/22 (висота рослин – 89 см, вміст білка – 19,4 %, клейковини – 46,5 %), що доцільно використовувати в селекції на зниження висоти стеблостою та якість зерна. Зразки 155/22 (врожайність – 4,65–4,95 т/га), 10/22, 44/22 і 245/22 (вміст клейковини – 45,5–19,8 %, білка – 19,0–20,8 %, седиментація 63–67 мл, сила борошна – 349–431 о. а.) ефективно залучати до селекційних програм поліпшення показників продуктивності та якості зерна, а зразки 10/22, 125/22 і 155/22 (стійкість до борошнистої роси, фузаріозу колосу і септоріозу – 8–9 балів, бурої іржі – 6 балів) – в селекції на імунітет.

3. За аналізу параметрів адаптивності колекційних зразків пшениці спельти озимої виділено зразки з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок 155/22, що характеризується високою врожайністю (4,77 т/га), гомеостатичністю ($Hom = 121,8$), селекційною цінністю ($Sc = 5,1$) і зразки 202/22 і 245/22, що поєднували високу врожайність (4,24–4,32 т/га) з екологічною пластичністю ($b_i = 1,31–1,37$), стабільністю ($S^2_{di} = 0,009–0,010$) і коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,51–0,53$), гомеостатичністю ($Hom = 97,6–99,9$).

За матеріалами досліджень опубліковано три наукові праці [210–212].

РОЗДІЛ 6

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОГІДРОПОНІКИ ДЛЯ УКОРІНЕННЯ РОСЛИННОГО МАТЕРІАЛУ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ

Дослідження морфогенетичних процесів і механізмів регуляції морфогенезу рослин є одним із пріоритетних напрямів сучасної аграрної біотехнології та генетичної інженерії рослин, що інтенсивно розвиваються і перебувають у центрі уваги наукової спільноти [213, 214]. Роботи в цій сфері ґрунтуються на використанні комплексних агробіотехнологічних підходів, що дають змогу цілеспрямовано впливати на реалізацію генетичних програм росту та диференціації клітин, а також відтворювати й регулювати онтогенетичні процеси в ізольованій культурі тканин і органів за оптимізованих умов контрольованого середовищного забезпечення [215–218].

Аерогідропонна технологія, як сучасний високотехнологічний метод безсубстратного культивування рослин з використанням уніфікованих живильних середовищ, що подаються безпосередньо до кореневої системи за умов інтенсивної аерації, дають змогу ефективно досліджувати фізіолого-біохімічні процеси в інтактних рослинах [219–221]. Вони забезпечують точне регулювання мінерального живлення, газообміну та водного режиму, можливість детального аналізу дії ендогенних регуляторів росту та зовнішніх чинників середовища на формування морфогенетичних структур за умов високого ступеня керованості параметрів культивування, сприяють підвищенню відтворюваності результатів і скороченню тривалості отримання вихідного матеріалу [222–224].

Використання аерогідропонних технологій є доцільним на етапах мікроклонального розмноження, стимулювання ризогенезу та адаптації клонованих рослин до умов *ex vitro*, оскільки це забезпечує отримання генетично вирівняного вихідного матеріалу з підвищеною фізіологічною стійкістю [220, 221, 223]. Вирощування рослин за регульованих параметрів

середовища спрощує поступову зміну умов культивування від *in vitro* до автотрофного розвитку в системах *ex vitro*, що сприяє зростанню частки успішно акліматизованих генотипів і знижує ймовірність виникнення соматональної мінливості. Додатковою перевагою аерогідропонної технології є можливість просторового візуального контролю за розвитком кореневої системи в динаміці без її пошкодження, що істотно підвищує інформативність морфологічних і біометричних оцінок. Крім того, застосування аерогідропоніки дає змогу моделювати різні рівні абіотичного стресу, зокрема дефіцит або надлишок елементів живлення, водний і температурний стрес, що розширює можливості дослідження адаптивного потенціалу рослин.

Процес адаптації має складний багатокомпонентний характер і зумовлюється генетично детермінованими особливостями експлантів (рівнем тканинної диференціації, потенціалом коренеутворення, фізіологічним віком), умовами навколишнього середовища [225, 226]. Визначальним чинником у цьому процесі є якість регенерантів, зокрема, рівень розвитку кореневої системи, інтенсивність фотосинтетичної діяльності, гормональний статус тощо [224–226]. Перенесення рослин із культури *in vitro* у ґрунтові умови вирощування часто супроводжується додатковими стресовими чинниками, пов'язаними з дією фітопатогенів і мінливістю фізико-хімічних параметрів субстрату, що обґрунтовує необхідність застосування біологічних засобів захисту та адаптогенних препаратів для підвищення приживлюваності регенерантів у польових умовах.

Аерогідропонна технологія дає змогу здійснювати контроль фізіолого-біохімічних параметрів росту рослин, зокрема, коригувати мінеральне живлення кореневої системи відповідно до потреб конкретного генотипу, підтримувати концентрацію вуглекислого газу в повітрі на рівні, що сприяє активізації фотосинтезу, а також регулювати температуру, вологість і тривалість фотоперіоду, створюючи максимально сприятливі умови для морфогенезу та адаптаційного розвитку рослин.

Метою досліджень було розроблення біотехнологічного підходу для інтенсифікації ризогенезу та підвищення адаптивного потенціалу ліній пшениці м'якої озимої, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. із застосуванням аерогідропонної технології та моделювання фізіолого-генетичних механізмів формування кореневої системи за переходу рослин від умов *in vitro* до *ex vitro*.

За гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. в окремих випадках формувалося морфологічно змінене, деформоване, не виповнене насіння, що, зазвичай, мало низьку життєздатність. З метою підвищення виходу гібридного матеріалу використовували культуру зрілих зародків, що передбачає отримання рослинного матеріалу в ізолюваній культурі на штучному живильному середовищі. Для укорінення та адаптації рослин використовували аерогідропонну установку «Minivit».

Гібридні матеріали з культури *in vitro*, що мали два–три первинні корінці та інтенсивний перебіг ризогенного процесу в ізолюваній культурі вирощували за температури 20–22 °С, 16-ти годинного фотоперіоду з інтенсивністю освітлення 3–4 кЛк і відносною вологістю повітря 78 %. Для адаптації температуру поступово знижували до 12–16 °С. Для ризогенезу рослин використовували модифіковане живильне середовище Мурасіге–Скуга ($\frac{1}{2}$ MS) за доповнення 1,0 мг індолілоцтової кислоти, 0,5 мг гетероауксину, 0,3 мг 6-бензиламінопурину та 1,0 мг гіберелової кислоти.

Мікророслини розміщували у посадкових стрічках аерогідропонної установки, конструктивні особливості якої забезпечують контрольоване подавання живильного середовища безпосередньо до кореневої системи, підтримуючи оптимальний рівень аерації та сприятливі умови для її подальшого розвитку (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Рослини пшениці м'якої озимої у посадкових стрічках аерогідропонної установки

За аналізу морфогенезу кореневої системи рослинного матеріалу пшениці м'якої озимої в умовах аерогідропоніки встановлено чотири основні етапи розвитку, що відтворюють послідовність морфологічних і фізіологічних змін за впливу контрольованих факторів середовища:

1. Етап адаптації експлантів до змодельованих умов культивування на оптимізованому живильному середовищі, під час якого відбувається активація механізмів трофічної регуляції та стабілізація осмотичного балансу, що забезпечує вирівнювання фізіологічного стану рослин і підготовку їх клітинних структур до подальших морфогенетичних змін.

2. Фаза індукції ризогенезу, під час якої відбувається підвищення морфогенетичної компетентності клітин кореня і формування корневих волосків за впливу регуляторів росту ауксинової природи.

3. Період реактивації меристеми та посилення клітинної проліферації, що зумовлює диференціацію бічних коренів і формування розгалуженої кореневої системи та підвищення її поглинальної здатності, необхідної для інтенсифікації мінерального живлення і подальшого росту рослин.

4. Стадія активного формування мичкуватої кореневої системи, що відзначається активацією генетичної системи контролю ризогенезу,

інтенсифікацією трофічного метаболізму та морфогенетичною оптимізацією архітектоніки кореня.

У дослідженнях проведено порівняльний аналіз інтенсивності ризогенезу рослин пшениці м'якої озимої за ізолюваних умов культури *in vitro* та аерогідропонного культивування. Отримані результати підтверджують вплив типу середовища на варіабельність темпів морфогенетичної активності та структурної організації кореневої системи, що вказує на різний рівень фізіолого-біохімічної регуляції процесів ризогенезу під впливом чинників середовища і способів екзогенного забезпечення рослин (рис. 6.2).

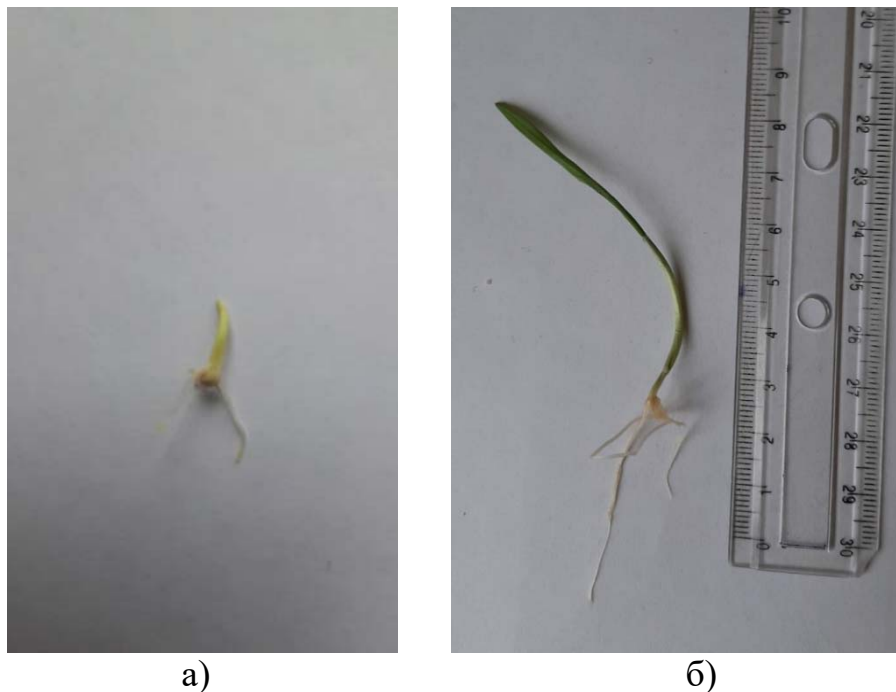


Рис. 6.2. Укорінення рослинного матеріалу пшениці м'якої озимої за використання аерогідропонної технології:

а) початкова фаза ризогенезу; б) інтенсивне галуження коренів.

Аналіз морфогенетичних процесів росту й розвитку рослин пшениці м'якої озимої за моделювання культурального середовища *in vitro* та аерогідропонного культивування свідчить, що незалежно від способу екзогенного забезпечення до 86 % експлантів демонстрували активний ризогенез і формували розгалужену кореневу систему (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Оцінка укорінення клонованих рослин пшениці м'якої озимої

Показник	Умови укорінення		HIP ₀₁
	культура <i>in vitro</i>	аерогідропонна установка	
Частка укорінених рослин, %	86,3 ± 1,3	85,9 ± 1,5	1,0
Формування калюса в базальній частині клону, %	0,3 ± 0,1	0,0 ± 0,0	–
Кількість сформованих первинних коренів у рослин, шт.	3,5 ± 0,2	5,2 ± 0,7	0,6
Інтенсивність наростання кореневої системи на 15-ту добу культивування, мм	20,1 ± 1,2	40,1 ± 0,4	0,9

Встановлено, що варіації між часткою укорінення рослин за дослідними варіантами перебували в межах статистичної похибки, що свідчить про ідентичну ефективність обох технологічних підходів у стимуляції диференціації корневих структур та забезпеченні стабільної морфогенетичної реакції генотипів за контрольованих умов культивування.

Аналіз отриманих результатів вказує на істотну залежність кількісних та якісних параметрів ризогенезу від умов культивування. Використання аерогідропонної технології забезпечувало формування рослинами 5,2 ± 0,7 шт. коренів, що свідчить про підвищення морфогенетичної активності корневих меристем. За ізольованої культури *in vitro* цей показник становив 3,5 ± 0,2 шт., тобто на 32,7 % менше, порівняно з середовищем з вищим рівнем доступності екзогенних елементів.

Результати досліджень засвідчили, що укорінення рослин пшениці за аерогідропонної системи має генетично детермінований характер. Аналіз ризогенезу рослин пшениці різного походження свідчить про істотні генотипові відмінності між варіантами дослідів (табл. 6.2).

Укорінення клонованих рослин пшениці м'якої озимої за використання аерогідропонної установки

Показник	Зразок / походження					НІР ₀₁
	Фаворитка / контроль	84/22 / Золотоколоса × Зоря України	148/22 / Фаворитка × Зоря України	10/22 / Легенда миронівська × Зоря України	391 / Панна × Зоря України	
Частка укорінених рослин, %	81,2 ± 1,2	81,8 ± 1,5	71,7 ± 1,7	75,6 ± 1,5	78,8 ± 1,2	1,2
Кількість сформованих первинних коренів у рослин, шт.	3,4 ± 0,9	3,7 ± 0,5	4,9 ± 0,7	4,2 ± 0,7	4,3 ± 0,6	0,3
Інтенсивність наростання кореневої системи на 15-ту добу культивування, мм	35,5 ± 0,6	26,5 ± 0,8	34,6 ± 1,1	35,3 ± 0,9	35,5 ± 1,0	0,5

Найвищу частку укорінених рослин (81,8 %) спостерігали у гібридного матеріалу, створеного за участю сорту пшениці м'якої озимої Золотоколоса. Істотно нижчу (75,6–78,8 %) – у гібридних форм, створених за використання вихідним матеріалом сортів пшениці м'якої озимої Легенда миронівська і Панна, а найнижчий (71,7 %) – у зразка отриманого за участі сорту Фаворитка. Натомість, зразки створені за гібридизації сорту пшениці м'якої озимої Панна із сортом пшениці спельти озимої Зоря України характеризувалися вищими показниками інтенсивності росту (35,5 мм) та галуження (4,3 шт./рослину)

кореневої системи, що свідчить про генетичну детермінованість морфогенетичного потенціалу ризогенних тканин.

Найвищу кількість первинних коренів (4,9 шт.) фіксували у зразків, створених за використання сорту Фаворитка. Істотні варіювання спостерігали також у межах окремих селекційних форм компонентів гібридизації, що свідчить про внутрішньогенотипову мінливість і полігенний контроль ризогенезу.

Для стимулювання процесу формування кореневої системи до живильного середовища додавали гіберелінову кислоту (ГК₃) і 6-бензиламінопурин (БАП) у оптимальних концентраціях щодо складу середовища, розробленого для індукції ризогенезу рослин пшениці м'якої озимої у ізольованій культурі (1,0 і 0,3 мг/л відповідно). Встановлено, що комбінована дія ауксинів і цитокінінів зумовлювала активацію клітинної проліферації, ініціювала диференціацію ризогенних клітинних ліній та підвищення морфогенетичної компетентності експлантів, що загалом сприяло посиленню біосинтетичної активності корневих меристем і розвитку функціонально повноцінної мичкуватої кореневої системи.

Варто відмітити, що застосування аерогідропонної технології сприяє формуванню морфологічно та функціонально зрілої кореневої системи, що дає змогу пересаджувати укорінені та адаптовані рослини безпосередньо до відкритого ґрунту без додаткової фази акліматизації. Рослини не укорінені в ізольованій культурі, потребують поетапної адаптації до умов середовища *ex vitro* із залученням спеціалізованих адаптаційних камер або фітотронів, що зумовлює додаткові витрати часу та ресурсів.

Отже, аерогідропонна технологія є біотехнологічно ефективним та економічно доцільним механізмом дорощування рослин, отриманих за використання культури зрілих зародків, оскільки забезпечує прискорене отримання вихідного селекційного матеріалу, зокрема, за реалізації програм гібридизації пшениці м'якої озимої.

Висновки за розділом 6:

1. Встановлено високу ефективність використання аерогідропонних технологій для укорінення та адаптації клонованих рослин пшениці м'якої озимої. Це забезпечує скорочення термінів отримання та підвищення якості селекційного матеріалу, придатного для використання в селекційних програмах створення вихідних форм і сортів пшениці м'якої озимої.

2. Модифіковано склад живильного середовища, за додавання половинної концентрації макро- та мікроелементів за прописом Мурасіге–Скуга ($\frac{1}{2}$ MS), 1,0 мг/л індолілоцтової кислоти, , 0,5 мг/л гетероауксину, 0,3 мг/л 6-бензиламінопурина та 1,0 мг/л гіберелінової кислоти, що забезпечує формування галуженої кореневої системи рослин, отриманих за ізольованої культури зрілих зародків.

3. Визначено оптимальні умови для формування акліматизованих рослин із розгалуженою, фізіологічно активною кореневою системою, зокрема, температура 20–22 °С, 16-годинний фотоперіод з інтенсивністю освітлення 3–4 клк і відносною вологістю 75 % з поступовим зниженням температури до 12–16 С.

4. Охарактеризовано основні етапи морфогенезу кореневої системи за аерогідропонного культивування, що передбачає фази адаптації, індукції ризогенезу, формування латеральних коренів і розвитку мичкуватої кореневої системи.

За результатами досліджень опубліковано одну наукову працю [227]

ВИСНОВКИ

У дисертації обґрунтовано нові підходи щодо створення вихідного матеріалу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. і використання біотехнологічної ланки та селекційного добору цінних генотипів, що сприяє розширенню генетичного різноманіття та створенню високопродуктивних сортів пшениці м'якої і пшениці спельти озимих.

1. Розроблено нові технології створення вихідного матеріалу пшениці м'якої та пшениці спельти озимих за використання біотехнологічної ланки, що сприяють прискоренню селекційного процесу і дають змогу отримувати константні високопродуктивні генотипи.

2. Підтверджено, що гібридизація видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. є ефективним методом індукування генетичної варіабельності, трансгресивної мінливості та створення цінного вихідного матеріалу.

3. Проаналізовано рівень перехресної здатності видів *Triticum aestivum* L. і *Triticum spelta* L. Встановлено, що у пшениці м'якої озимої вищий рівень перехресної сумісності (16,9–38,4 %) порівняно зі спельтою (14,2–30,6 %). Найвищим рівнем сумісності вирізнялися сорти пшениці м'якої озимої Богдана (28,3–38,4 %) і Легенда миронівська (28,1–33,8 %) та сорт пшениці спельти озимої Європа (18,7–38,4 %).

4. Встановлено, що незалежно від виду материнської форми (*Triticum aestivum* L. або *Triticum spelta* L.) кількість зерен у колосі та маса зерна з колосу у гібридів F₁ успадковується за типом позитивного домінування. У зразків, отриманих за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. довжина колосу успадковується за типом часткового від'ємного успадкування; висота рослин – за типом проміжного успадкування, часткового від'ємного успадкування або депресії. За гібридизації *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L. довжина колосу успадковується за типом проміжного успадкування; висота рослин – за типом часткового позитивного домінування.

5. Встановлено, що морфотипи пшениці з різною формою колосу за врожайністю та масою зерна з колосу розміщуються у такій послідовності: пшениця м'яка (5,94–6,51 т/га, 1,30–1,46 г) \approx скверхеди (5,95–6,42 т/га, 1,28–1,48 г) > спельтоїди (4,15–4,60 т/га, 1,16–1,28 г) > спельти (3,92–4,35 т/га, 1,11–1,22 г) > субкомпактоїди (3,80–4,15 т/га, 1,03–1,15 г) > компактоїди (3,30–3,84 т/га, 0,92–1,05 г), а за вмістом в зерні білка і клейковини – спельти (19,1–20,0 %, 42,1–44,0 %) > спельтоїди (15,9–17,2 %, 35,3–37,8 %) > пшениця м'яка (14,5–15,1 %, 31,8–33,2 %) \approx скверхеди (14,4–15,5 %, 31,6–34,1 %) > компактоїди (14,5–15,0 %, 31,8–33,0 %) > субкомпактоїди (14,3–14,8 %, 31,5–32,6 %).

6. Проведено порівняльний аналіз колекційних зразків пшениці м'якої озимої за показниками продуктивності та адаптивності, що дозволило диференціювати їх за рівнем селекційної цінності. Встановлено, що зразки 84/22, 94/22 і 326/22 істотно перевищували груповий показник за врожайністю (6,21–6,92 т/га), а зразки 85/22, 90/22, 148/22, 265/22, 291/22, 348/22, 339/22 і 352/22 – за вмістом в зерні клейковини (32,3–36,4 %) і білка (15,0–17,3 %), показником седиментації (57–63 мл), силою борошна (315–344 о. а.), твердістю зерна (53,8–60,3 о. п.). Виділено зразки з комплексним поєднанням високих показників продуктивності, що доцільно використовувати в селекційних програмах донорами генів окремих ознак, зокрема, зразки 85/22 і 352/22 (висота рослин – 75–80 см, вміст клейковини 33,8–34,6 %); зразки 84/22 і 326/22 (врожайність – 6,60–6,61 т/га); зразки 90/22, 291/22 і 348/22 (вміст клейковини – 35,7–36,4 %, білка – 16,4–16,7 %, сила борошна – 334–344 о. а.).

7. За гібридизації *Triticum aestivum* L. \times *Triticum spelta* L. створено і виділено зразки пшениці спельти озимої з високими показниками продуктивності, що доцільно використовувати в селекційному процесі створення нових сортів культури, зокрема, зразок 10/22 (висота стеблостою – 89 см, вміст білка – 19,4 %, клейковини – 46,5 %, стійкість до фузаріозу колосу і септоріозу – 9 балів); зразок 155/22 (врожайність – 4,77 т/га, стійкість до фузаріозу колосу і септоріозу – 9 балів); зразки 44/22 і 245/22 (вміст клейковини

– 45,5–49,8 %, білка – 19,0–20,8 %, седиментація 63–67 мл, сила борошна – 349–431 о. а.).

8. Визначено параметри адаптивності колекційних зразків пшениці м'якої та пшениці спельти озимих, що дало можливість відібрати перспективні генотипи з високим рівнем адаптивного потенціалу, зокрема, зразок пшениці м'якої озимої 94/22, що поєднує високу врожайність (6,38 т/га), екологічну пластичність ($b_i = 1,30$) і стабільність ($S^2_{di} = 0,027$), гомеостатичність ($Hom = 299,3$), селекційну цінність ($Sc = 8,0$) і зразки пшениці спельти озимої 155/22, 202/22, 245/22, що характеризується високою врожайністю (4,22–4,77 т/га), гомеостатичністю ($Hom = 97,6–121,8$), екологічною пластичністю ($b_i = 1,31–1,37$), стабільністю ($S^2_{di} = 0,009–0,010$), коефіцієнтом спадковості ($h^2 = 0,51–0,53$).

9. Вперше розроблено положення щодо використання аерогідропоніки в адаптаційних процесах пшениці м'якої озимої за перенесення рослин з культури *in vitro* в культуру *ex vitro*. Доведено високу ефективність використання аерогідропонних технологій для укорінення та адаптації гібридних рослин пшениці м'якої озимої, отриманих за використання ізольованої культури зрілих зародків.

10. Модифіковано склад живильного середовища за додавання половинної концентрації макро- та мікроелементів за прописом Мурасіге–Скуга ($1/2 MS$), 1,0 мг/л індолілоцтової кислоти, 0,5 мг/л гетероауксину, 0,3 мг/л 6-бензиламінопурину і 1,0 мг/л гіберелінової кислоти, що дало можливість отримати запрограмовану кількість укоріненого адаптованого до умов навколишнього середовища рослинного матеріалу пшениці м'якої озимої.

11. Охарактеризовано основні етапи морфогенезу кореневої системи за аерогідропонного культивування, що передбачають фази адаптації, індукції ризогенезу, формування латеральних коренів і розвитку мичкуватої кореневої системи.

РЕКОМЕНДАЦІ СЕЛЕКЦІЙНІЙ ПРАКТИЦІ

Для використання у теоретичних і прикладних селекційних програмах рекомендуються:

– вдосконалені технології селекційного процесу створення вихідного матеріалу пшениці м'якої та пшениці спельти озимих з високими показниками продуктивності, за використання контрольованої гібридизації видів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. та біотехнологічної ланки, що забезпечить розширення генетичного різноманіття і створення нових сортів;

– створені зразки пшениці м'якої озимої з високими показниками продуктивності донорами генів окремих ознак, зокрема, зразки 85/22 і 352/22 – в селекції на низькостебловість; зразки 84/22 і 326/22 – на підвищену продуктивність; зразки 90/22, 291/22 і 348/22 – на поліпшення показників якості зерна;

– створені зразки пшениці спельти озимої з комплексом господарсько-цінних ознак, зокрема, зразок 10/22, що доцільно використовувати в селекції на зниження висоти рослин; зразки 155/22, 10/22, 44/22 і 245/22 – в селекції на поліпшення показників продуктивності та якості зерна; зразки 10/22, 125/22 і 155/22 – на імунітет;

– технології індукції ризогенезу та вкорінення рослин за використання аерогідронних установок для прискореного розмноження й адаптації вихідного матеріалу в селекції пшениці м'якої озимої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Селекція пшениці м'якої озимої за використання пшенично-житніх транслокацій в умовах центрального Лісостепу: монографія / Кириленко В. В., Дубовик Н. С., Гуменюк О. В., Вологдіна Г. Б., Лось Р. М., Дубовик Д. Ю. К.: Компрінт, 2021. 221 с.
2. Вечерська Л. А. Особливості розширення генетичного різноманіття вихідного матеріалу пшениці полби звичайної методом гібридизації. Дис. доктора філософії. Харків, 2021. 241 с.
3. Нінієва А. К., Козуб Н. О., Созінов І. О. та ін. Характеристика зразків *Triticum spelta* L. за показниками якості зерна та електрофоретичними спектрами запасних білків. *Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів*. 2013. Т. 11. № 1. С. 96–105.
4. Новак Ж. М., Жекова О. І. Характеристика пшениці озимої *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2011. № 75. С. 128–132.
5. Діордієва І. П. Характеристика спельтоподібних форм пшениці, створених за гібридизації *Triticum Aestivum* L. × *Triticum Spelta* L. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2020. № 1. С. 29–34.
6. Diordiieva I., Riabovol L., Riabovol Ia., Serzhuk O., Novak A., Kotsiuba S. The characteristic of wheat collection samples created by *Triticum aestivum* L./*Triticum spelta* L. Hybridization. *Agronomy research*. 2018. Vol. 16. № 4. P. 45–53. DOI: <http://dx.doi.org/10.15159/ar.18.181>
7. Рибалка О. І., Поліщук С. С., Червоніс М. В., Моргун М. В., Моргун Б. В. Унікальна пшениця спельта (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) з темно-фіолетовим зерном. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. Т. 56. № 5. С. 419–430.
8. Суворова К. Ю., Леонов О. Ю., Усова З. В., Хухрянська М. М., Криштопа М. А., Богуславський Р. Л. Характеристика селекційних ліній пшениці спельти озимої (*Triticum spelta* L.) в умовах східного лісостепу України. *Селекція і насінництво*. 2023. Вип. 123. С. 48–56.

9. Babenko L. M., Hospodarenko H. M., Rozhkov R. V., Pariy Y. F., Pariy M. F., Babenko A. V., Kosakivska I. V. *Triticum spelta*: Origin, biological characteristics and perspectives for use in breeding and agriculture. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. № 9 (2). P. 250–257. DOI: <https://doi.org/10.15421/021837>.
10. Poltoretskyi S., Hospodarenko H., Liubych V., Poltoretska N., Demydas H. Toward the theory of origin and distribution history of *Triticum spelta* L. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8. P. 263–268. DOI: https://doi.org/10.15421/2018_336.
11. Luo V.-C., Yang Z.-L., You F. M. The structure of wild and domesticated emmer wheat populations, gene flow between them, and the site of emmer domestication. *Theor. Appl. Genet.* 2007. № 114(6). P. 947–959. DOI:10.1007/s00122-006-0474-0
12. Kislev M. Emergence of wheat agriculture. *Palorient*. 1984. № 10(2). P. 61–70. <https://doi.org/10.3406/paleo.1984.940>
13. Alvarez J. B., Guzman C. Spanish ancient wheat: a genetic resource for wheat quality breeding. *Adv Crop Sci Tech.* 2013. № 1(101). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000101>
14. Моргун Б. В., Радченко О. М., Дубровна О. В. Пшениця спельта: біологічні властивості та господарське значення. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. Т. 57. № 2. С. 117–136.
15. Полянецька І. О. Селекційно-генетичне покращення *Triticum spelta* L. Та використання її в селекції *Triticum aestivum* L. Автореф. дис. к. с.-г. н. Чабани: ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2012. 245 с.
16. Biel W., Jaroszewska A., Stankowski S., Sobolewska M., Kępińska-Pacelik J. Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. *European Food Research and Technology*. 2021. Vol. 247. P. 1525–1538. DOI: 10.1007/s00217-021-03729-7.
17. Liu M., Zhao Q., Qi F., Stiller J., Tang S., Miao J., Vrána J., Holušová K., Liu D., Doležel J., Manners J. M., Han B., Liu C. Sequence divergence between spelt

and common wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. Vol. 131. № 5. P. 1125–1132. DOI: 10.1007/s00122-018-3064-z

18. Ruibal-Mendieta N. L., Delacroix D. L., Mignolet E., Pycke J.-M., Marques C., Rozenberg R., Petitjean G., Habib-Jiwan J.-L., Meurens M., Quetin-Leclercq J., Delzenne N. M., Larondelle Y. Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) as a source of breadmaking flours and bran naturally enriched in oleic acid and minerals but not phytic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. Vol. 53. № 7. P. 2751–2759. DOI: 10.1021/jf048506e.

19. Xie Q., Mayes S., Sparkes D. L. Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat. *Crop Sci.* 2015. № 55. № 6. P. 2753–2765. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.12.0842>

20. Curzon A. Y., Kottakota C., Nashef K., Abbo S., Bonfl D. J. та ін. Assessing adaptive requirements and breeding potential of spelt under Mediterranean environment. *Sci. Reports*. 2021. № 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86276-1>

21. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О. Амінокислотний склад білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Вісник УНУС*. 2016. Вип. 2. С. 44–48.

22. Zaika M., Filipčev B. Spelt vs common wheat: potential advantages and benefits. *Acta Innovations*. 2020. № 35. P. 58–65. DOI: 10.32933/ActaInnovations.35.4.

23. Hamed A. M., Simsek S. Hulled Wheats: A Review of nutritional properties and processing methods. *Cereal Chem.* 2014. № 91. P. 97–104. <https://doi.org/10.1094/cchem09-13-0179-rw>

24. Filipcevic B., Simurina O., Bodroza-Solarov M., Obrecht D. Comparison of the bread-making performance of spelt varieties grown under organic conditions in the environment of northern Serbia and their responses to dough strengthening improvers. *Hemijaska Industrija*. 2013. № 67. P. 443–453. <https://doi.org/10.2298/hemind120606083f>

25. Любич В. В., Желєзна В. В. Хлібопекарські властивості зерна пшениці спельти залежно від удобрення і тривалості зберігання. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 75–84.
26. Escarnot E., Agneessens R., Wathelet B., Paquot M. Quantitative and qualitative study of spelt and wheat fibres in varying milling fractions. *Food Chem.* 2010. № 122. P. 857–863. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.047>
27. Bonafaccia G., Galli V., Francisci R., Mair V., Skrabanja V., Kreft I. Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chem.* 2000. № 68. P. 437–441. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(99\)00215](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(99)00215)
28. Abdel-Aal E-S. M., Rabalski I. Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grain products. *Food Chem.* 2008. № 111. P. 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.050>
29. Моргун В. В., Січкач С. М., Починок В. М., Нінієва А. К., Чугункова Т. В. Характеристика колекційних зразків спельти (*Triticum spelta* L.) за елементами структури продуктивності та хлібопекарською якістю. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. № 2. С. 112–119. <https://doi.org/10.15407/frg2016.02.112>
30. Господаренко Г. М., Костогриз П. В., Любич В. В., Парій М. Ф., Полторецький С. П., Полянецька І. О., Рябовол Л. О., Рябовол Я. С., Сухомуд О. Г. Пшениця спельта: монографія. К.: Стік груп Україна. 2016. 300 с.
31. Rapp M., Beck H., Gutler H., Heilig W., Starck N., Rmer P., Cuendet C., Uhlig F., Kurz H., Wjrschum T. & Longin C. F. H. Spelt: Agronomy, quality, and favor of its breads from 30 varieties tested across multiple environments. *Crop Sci.* 2017. Vol. 57. № 2. P. 739–747. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.05.0331>
32. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Реєстр сортів рослин, допущених до використання в Україні. Доступно за адресою: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>
33. Парій Ф. М., Сухомуд О. Г., Любич В. В. Оцінка господарсько-цінних властивостей нового сорту пшениці спельти озимої Зоря України. *Насінництво*. 2013. № 5. С. 5–6.

34. Діордієва І. П. Лінії пшениці спельта Уманського НУС. *Генетичні ресурси рослин*. 2018. Вип. 23. С. 25–34.
35. Заїка Н. В., Карпук Л. М. Урожайність та якість зерна спельти (*Triticum spelta* L.) в умовах Лісостепу України. *Агробіологія*. 2023. № 1. С. 114–122. DOI: 10.33245/2310-9270-2023-179-1-114-122.
36. Моргун В. В., Радченко О. М., Дубровна О. В. Пшениця спельта: біологічні властивості та господарське значення. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. № 57(2). С. 117–136. <https://doi.org/10.15407/frg2025.02.117>
37. Карпишин О. В., Мойсієнко В. В. Ріст і розвиток рослин спельти озимої залежно від елементів органічної технології вирощування. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Вип. 71(1). С. 77–90. DOI: 10.32636/01308521.2025-(77)-1-7
38. Столяр С. Г., Трембіцька О. І. Оцінка стійкості районованих і перспективних сортів спельти озимої до септоріозу в Поліссі України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 76(2). С. 81–90. DOI: 10.32636/01308521.2024-(76)-2-8
39. Діордієва І. П. Параметри адаптивності зразків пшениці спельта за показниками якості зерна. *Збірник наукових праць УНУС*. 2023. Вип. 102. С. 135–142. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-102-1-135-142>.
40. Нінієва А. К., Козуб Н. О., Созінов І. О., Рибалка О. І., Леонов О. Ю., Твердохліб О. В., Богуславський Р. Л. Характеристика зразків *Triticum spelta* L. за показниками якості зерна та електрофоретичними спектрами запасних білків. *Вісник українського товариства генетиків і селекціонерів*. 2013. Т. 11, № 1. С. 96–105.
41. Твердохліб О. В., Богуславський Р. Л. Видове різноманіття пшениці, напрямки і перспективи його використання. *Збірник наукових праць УНУС*. 2012. Вип. 80. С. 37–47.
42. Твердохліб О. В., Голік О. В., Нінієва А. К., Богуславський Р. Л. Спельта і полба в органічному землеробстві. *Посібник українського хлібороба*. 2013. С. 154–155.

43. Moskalets V., Knyazyuk O., Bordiug N., Ishchuk O., Matkovska S. Extension of the forming process in the selection of winter common wheat for productivity and quality by using the gene pool of related wheat species within the framework of food security. *Scientific Horizons*. 2023. № 26(6). P. 43–57. <https://doi.org/10.48077/scihor6.2023.43>
44. Kopecky D., Martín A., Smykal P. Interspecific hybridization and plant breeding: From historical retrospective through work of Mendel to current crops. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2022. № 58(3). doi: 10.17221/19/2022-CJGPB.
45. Motsnyi I. I., Lytvynenko M. A., Molodchenkova O. O., Sokolov V. M., Fayt V. I., Sechniak V. Yu. Development of winter wheat starting material using interspecific crossing in breeding for increased protein content. *Cytology and Genetics*. 2019. № 53(2). P. 113–123. doi: 10.3103/S0095452719020075.
46. Laugerotte J., Baumann U., Sourdille P. Genetic control of compatibility in crosses between wheat and its wild or cultivated relatives. *Plant Biotechnology Journal*. 2022. № 20(5). P. 812–832. doi: 10.1111/pbi.13784.
47. Місюра І. І., Гуменюк О. В., Кириленко В. В. *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf., *Triticum spelta* L. в селекції пшениці озимої. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку» (4–5 березня). Біла Церква, 2021. С. 38–40.
48. Вечерська Л. А., Реліна Л. І., Голік О. В. Пшениця полба: переваги, недоліки і перспективи. *Вісник УНУС*. 2018. Вип. 2. С. 10–17.
49. Wang Y., Wang Z., Chen Y., Lan T., Wang X. та ін. Genomic insights into the origin and evolution of spelt (*Triticum spelta* L.) as a valuable gene pool for modern wheat breeding. *Plant Comm*. 2024. № 5. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.100883>
50. Koenig A., Konitzer K., Wieser H., Koehler P. Classification of spelt cultivars based on differences in storage protein compositions from wheat. *Food Chem*. 2015. №168. P. 176–182. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.07.040

51. Pietrusińska-Radzio A., Bilska-Kos A., Bocianowski J. Characterization of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) genotypes using DArTseq technology. *Journal of Applied Genetics*. 2025. Vol. 66. DOI: 10.1007/s13353-025-01037-4.
52. Zhang X., Jia H., Li T., Wu J., Nagarajan R., Lei L., Powers C., Kan C. C., Hua W., Liu Z. TaCol-B5 modifies spike architecture and enhances grain yield in wheat. *Science*. 2022. Vol. 376. P. 180–183. DOI: 10.1126/science.abm0717.
53. Cao S., Xu D., Hanif M., Xia X., He Z. Genetic architecture underpinning yield component traits in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2020. Vol. 133. P. 1811–1823. doi: 10.1007/s00122-020-03562-8.
54. Діордієва І. П. Теоретичні основи створення вихідного матеріалу в селекції за показниками якості зерна пшениці та тритикале озимих. Автореф. дис. д. с.-г. н.: 06.01.05. Умань, 2025. 44 с.
55. Рябовол Я. С. Теоретичне обґрунтування систем гібридизації і створення вихідного матеріалу в селекції зернових культур. Автореф. дис. д. с.-г. н.: 06.01.05. Умань, 2020. 54 с.
56. Полянецька І. О. Селекційно-генетичне покращення *Triticum spelta* L. та використання її в селекції *Triticum aestivum* L. Дис. к. с.-г. н. Чабани: ННЦ «Інститут землеробства НААН», 2012. 214 с.
57. Січкач С. М., Моргун В. В., Дубровна О. В. Успадкування морфологічних ознак у гібридів F₁–F₂ *Triticum spelta* × *T. aestivum*. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48. № 4. С. 344–355.
58. Якимчук Р. А. Характер успадкування морфологічних ознак та елементів продуктивності у гібридів спельтоїдний хемомутант × пшениця м'яка озима. *Вісник харківського національного аграрного університету серія біологія*, 2017. Вип. 3 (42). С. 92–101.
59. Бурденюк-Тарасевич Л. А. Характер успадкування ознак *T. spelta* L. чорнобильськими мутантами пшениці м'якої озимої. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2013. Т. 13. С. 135–139.
60. Діордієва І. П., Ташлицький Є. М., Прокопчук Л. В. Аналіз низькостеблових форм пшениці спельта (*Triticum spelta* L.) за господарсько-

цінними показниками. *Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі*: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції (29–31 жовтня 2024). Умань: УНУС, 2024. С. 29–30.

61. Rajnincová D., Gálová Z., Petrovičová L., Chňapek M. Comparison of nutritional and technological quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and hybrid wheat (*Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L.). *Journal of Central European Agriculture*. 2018. Vol. 19. No. 2. P. 437–452. DOI: 10.5513/JCEA01/19.2.2146

62. Ratajczak K., Sulewska H., Grayna S., Matysik P. Agronomic traits and grain quality of selected spelt wheat varieties versus common wheat. *J. Crop Improv.* 2020. № 34(5). P. 654–675. <https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1761921>

63. Січкач С. М., Моргун В. В., Дубровна О. В. Характер успадкування морфологічних ознак колоса у гібридів *Triticum spelta* × *Triticum aestivum*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2016. Т. 18. С. 149–153.

64. Wang J., Barański M., Korkut R., Kalee H. A., Wood L., Billsborrow P., Janovska D., Leifert A., Winter S., Willson A. Performance of modern and traditional spelt wheat (*Triticum spelta*) varieties in rain-fed and irrigated, organic and conventional production systems in a semi-arid environment; results from exploratory field experiments in Crete, Greece. *Agronomy*. 2021. Vol. 11(5). Article 890. DOI: 10.3390/agronomy11050890.

65. Salarov M., Filipchev B. Spelt vs common wheat: potential advances and benefits. *Acta Innovations*. 2020. № 35. P. 58–65. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.35.4>

66. Alvarez J. B., Guzmán C. Interspecific and intergeneric hybridization as a source of variation for wheat grain quality improvement. *Theor. Appl. Genet.* 2018. Vol. 131. № 2. P. 225–251. doi: 10.1007/s00122-017-3042-x

67. Feledyn-Szewczyk B. The influence of morphological features of spelt wheat *Triticum aestivum* ssp. *spelta* and common wheat *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* varieties on the competitiveness against weeds in organic farming system. *J. Food, Agricult. Environ.* 2013. № 11 (1). P. 416–421.

68. Rapčan I., Galić Subašić D., Ranogajec L., Hajduk S. Organic farming of spelt (*Triticum spelta* L.) and economic results. *Agronomy*. 2020. Vol. 82. № 3. P. 135–146. DOI: 10.33128/ag.82.3.4.
69. Stefan L., Sanchez-Martin J., Kurth T., Keller B., Herren G., Krattinger S. G., Strebel S., Ampuero Kragten S., Camp K.-H., Levy Häner L. A genotype–phenotype approach to discriminate Central European spelt landraces from modern wheat-spelt intercrosses in the Swiss context. *Euphytica*. 2024. Vol. 220. Article 143. DOI: 10.1007/s10681-024-03400-8.
70. Ключевич М. М. Спельта – цінна харчова та лікувальна культура. Сучасні аспекти збереження здоров'я людини: збірник праць XV Міжнародної міждисциплінарної наук.-практ. конф. (8–9 квітня). Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2022. С. 100–104.
71. Діордієва І. П. Характеристика спельтоподібних форм пшениці, створених за гібридизації *Triticum Aestivum* L. × *Triticum Spelta* L. *Агробіологія*. 2020. Вип. 157. С. 29–35.
72. Власенко В. А., Кочмарський В. С., Колючий В. Т., Коломієць Л. А., Хоменко С. О., Солоня В. Й. Селекційна еволюція миронівських пшениць: монографія. Миронівка, 2012. 326 с.
73. Місюра І. І., Гуменюк О. В., Кириленко В. В. Спельта (*Triticum spelta* L.), як донор корисних ознак в селекції пшениці озимої. Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: зимові диспути : II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція (4–5 лютого). Дніпро, 2021. Т. 2. С. 135–136.
74. Місюра І. І., Гуменюк О. В., Кириленко В. В. Зав'язування зерна пшениці озимої в F₁ при схрещуванні сортів *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. Генетика та селекція сільськогосподарських культур – від молекули до сорту : матеріали V інтернет-конференції молодих учених (м. Київ, 21 вересня 2021 р.). Київ, 2021. С. 5.
75. Garg M., Kaur S., Sharma F., Kumari A., Tiwari V., Sharma S., Kapoor P., Sheoran B., Goyal A., Krishania M. Rising demand for healthy anthocyanin

biofortified colored wheat is a new research trend. *Front. Nutr.* 2022. № 9. P. 1–23. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.878221>

76. Abdel-Aal E.-S., Hucl P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.* 1999. № 76(3). P. 350–354. <https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.3.350>

77. Li L., Zhang H., Liu J., Huang T., Zhang X., Xie H., Guo Y., Wang Q., Zhang P., Qin P. Grain color formation and analysis of correlated genes by metabolome and transcriptome in different wheat lines at maturity. *Frontiers in Nutrition.* 2023. Vol. 10. Article 1112497. DOI: 10.3389/fnut.2023.1112497.

78. Geisslitz S., Longin C. F. H., Scherf K. A., Koehler, P. Comparative study on gluten protein composition of ancient (einkorn, emmer and spelt) and 132 modern wheat species (durum and common wheat). *Foods.* 2019. № 8(9). <https://doi.org/10.3390/foods8090409>

79. Кириленко В. В., Гуменюк О. В., Дубовик Н. С., Гетьман О. О. Селекційна цінність вихідного матеріалу *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. для розширення генетичного різноманіття пшениці озимої. *Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (м. Біла Церква, 4–5 березня 2021 р.). Біла Церква: БНАУ, 2021. С. 74–76.

80. Місюра І. І., Гуменюк О. В., Кириленко В. В. *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf., *Triticum spelta* L. в селекції пшениці озимої. *Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (м. Біла Церква, 4-5 березня 2021 р.). Біла Церква: БНАУ, 2021. С. 38–40.

81. Metakovsky E., Melnik V. A., Pascual L., Wrigley C. W. Gliadin genotypes worldwide for spring wheats (*Triticum aestivum* L.). Genetic diversity and grain-quality gliadin alleles during the 20th century. *Journal of Cereal Science.* 2019. Vol. 87. P. 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.03.008>

82. Popovych Yu. A., Blagodarova O. M., Chebotar S. V. Polymorphism of Gli-A1 and Gli-D1 loci in ukrainian and foreign bread wheat cultivars and lines.

Agricultural Science and Practice. 2024. Vol. 11. № 3. P. 23–42.
<https://doi.org/10.15407/agrisp11.03.023>

83. Gras P. W., Andersen R. S., Keentok M. et al Gluten protein functionality in wheat Flour processing: a review. *Aust J Agric Res*. 2001. № 52. P. 1311–1323.
<https://doi.org/10.1071/AR01068>

84. Lee M. H., Kang C.-S., Choi M.-G., Choi J.-S., Kim M.-J., Yoon M., Kim K.-M., Choi C. Development of PCR-based markers for the identification of wheat HMW glutenin subunit alleles at the Glu-A1 and Glu-D1 loci. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 32008. DOI: 10.1038/s41598-025-13609-9

85. Metakovsky E. V., Melnik V. A., Vaccino P. et al Comparison of alleles at the Gli-1 loci of common wheat by means of two-dimensional electrophoresis of gliadin and RFLP analysis. *Cytol Genet*. 2018. № 52(1). P. 11–20.
doi.org/10.3103/S0095452718010085

86. Popovych Yu. A., Blagodarova O. M., Chebotar S. V. Genetic variation of Gli-B1 locus in Ukrainian bread wheat varieties and lines. *Biopolym Cell*. 2021. №37(5). P. 379–388. <https://doi.org/10.7124/bc.000a63>

87. Січкач С. М., Великожон Л. Г., Дубровна О. В., Моргун Б. В. Аналіз локусів Glu-1 у зразків малопоширених видів пшениці та їх гібридів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2018. Т. 23. С. 120–125.

88. Діордієва І. П., Лівіцький В. В., Щербина В. А. Ступінь домінування та характер успадкування селекційно-цінних ознак у гібридів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (31 березня 2023)*. Біла Церква, 2023. С. 120–122.

89. Akel W., Thorwarth P., Mirdita V., Weissman E. A., Liu G., Würschum T., Longin C. F. H. Can spelt wheat be used as heterotic group for hybrid wheat breeding? *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. Vol. 131. No. 4. P. 973–984. DOI: 10.1007/s00122-018-3052-3.

90. Wiwart M., Szafrńska A., Suchowilska E. Grain of Hybrids Between Spelt (*Triticum spelta* L.) and Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) as a New Raw

Material for Breadmaking. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2023. № 73(1). P. 265–277. DOI:10.31883/pjfns/170870

91. Бабій М. М. Створення вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) за гібридизації з пшеницею спельтою (*Triticum spelta* L.). Збірник наукових праць УНУ. 2025. Вип. 107. С. 84–99. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-107-1-84-99

92. CIMMYT. Accelerating Genetic Gains (AGG) in Maize and Wheat for Improved Livelihoods. [Електронний ресурс]. Доступно за адресою: <https://www.cimmyt.org/projects/agg/>

93. Advancing wheat breeding through rapid marker-selectable trait introgression [Електронний ресурс]. CIMMYT. February 22, 2024. Режим доступу: <https://www.cimmyt.org/blogs/advancing-wheat-breeding-through-rapid-marker-selectable-trait-introgression/>

94. Kaur R., Dhillon G. S., Kaur A., Kaur S., Toor P.I., Kaur D., Kumar A., Mavi G. S., Grewal S. K., Sharma A., Srivastava P., Chhuneja P., Kaur S. Marker-assisted introgression of genes into rye translocation leads to the improvement in bread making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Heredity* (Edinb). 2022. № 128(6). P. 531–541. doi: 10.1038/s41437-022-00538-w

95. Velu G., Singh R. P., Crespo-Herrera L., Juliana P., Dreisigacker S., Valluru R., Stangoulis J., Sohu V. S., Mavi G. S., Mishra V. K., Balasubramaniam A., Chatrath R., Gupta V., Singh G. P., Joshi A. K. Genetic dissection of grain zinc concentration in spring wheat for mainstreaming biofortification in CIMMYT wheat breeding. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. doi: 10.1038/s41598-018-31951-z

96. Kumar J., Saini D.K., Kumar A., Kumari S., Gahlaut V., Rahim M. S., Pandey A. K., Garg M., Roy J. Biofortification of *Triticum* species: a stepping stone to combat malnutrition. *BMC Plant Biology*. 2024. Vol. 24. doi: 10.1186/s12870-024-05161-x.

97. Kalapa S. L., Prakash S. Biofortification for enhancement of zinc (Zn) and iron (Fe) content in wheat (*Triticum aestivum* L.): a comprehensive review. *Plant Cell*

Biotechnology and Molecular Biology. 2024. Vol. 25. No. 5-6. P. 64–75. DOI: 10.56557/pcbmb/2024/v25i5-68695

98. Huertas-García A. B., Tabbita F., Alvarez J. B., Sillero J. C., Ibba M. I., Rakszegi M., Guzmán C. Genetic variability for grain components related to nutritional quality in spelt and common wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023. Vol. 71. №. 28. P. 10598–10606. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02365>

99. Ram H., Naeem A., Rashid A., Kaur C., Ashraf M. Y., Malik S. S., Aslam M., Mavi G. S., Tutus Y., Yazici M. A., Govindan V., Cakmak I. Agronomic biofortification of genetically biofortified wheat genotypes with zinc, selenium, iodine, and iron under field conditions. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. Article 1455901. DOI: 10.3389/fpls.2024.1455901

100. Волощук Г. Д. Суспензійна культура пшениці *Triticum aestivum* L. та її використання в генетико-селекційних дослідженнях. Автореф. дис. канд. біол. наук. Київ, 2000. 20 с.

101. Heysen J. W., Nabors M. W., MacKinnon C., Dykes T. A., Demott K. J., Kautzman D. C., Mujeeb-Kazi A. Long-term, high-frequency plant regeneration and the induction of somatic embryogenesis in callus cultures of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Z. Pflanzenzüchtg.* 1985. № 94. P. 21–233.

102. Михальська С. І., Комісаренко А.Г. Актуальні напрями сучасних біотехнологій пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. Т. 54, № 3. С. 187–213. DOI: 10.15407/frg2022.03.187

103. Моргун В. В., Дубровна О. В., Моргун Б. В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48. № 3. С. 196–214.

104. Волощук С. І., Волощук Г.Д., Гірко В.С. Використання клітинних технологій *in vitro* в селекції озимої пшениці на стійкість до грибних патогенів. *Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть*. 2001. Т. 1. С. 625–634.

105. Kunach V. A. Genome variability in plant somatic cells. 5ю Growth and mitotic regime variations during adaptation to maintenance *in vitro*. *Biopolymers and Cell*. 1999. № 15(5). P. 343–359. DOI:10.7124/bc.000530

106. Smulders M. J. M., de Klerk G. J. Epigenetics in plant tissue culture. *Plant Growth Regul.* 2011. № 63. P. 137–146. DOI 10.1007/s10725-010-9531-4
107. Дубровна О. В., Моргун Б. В., Бавол А. В. Біотехнології пшениці: клітинна селекція та генетична інженерія. К.: Логос, 2014. 375 с.
108. Рябовол Л. О., Фесько М. В. Отримання вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої за використання культури незрілих зародків. *Збірник наукових праць УНУС.* 2025. Вип. 106. С. 146–152.
109. Arzani A., Mirodjagh S. Response of durum wheat cultivars to immature embryo culture, callus induction and in vitro salt stress. *Plant Cell, Tissue Organ Cult.* 1999. № 58. P. 67–72.
110. Patnaik D., Khurana P. Wheat biotechnology: A minireview plant biotechnology. *Electronic J. Biotechnol.* 2001. № 4. P. 74–102
111. Рябовол Я. С., Рябовол Л. О., Діордієва І. П. Створення вихідного матеріалу за використання ембріокультури та віддаленої гібридизації в селекції пшениці м'якої озимої. *«Землеробство та рослинництво: теорія і практика».* 2023. Вип. 1 (3). С. 116–122.
112. Guan X., Peng J., Fu D. Technology for Production of Wheat Doubled Haploid via Maize Pollen Induction—Updated Review. *Agronomy.* 2024. № 14(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy14020375>
113. Bakhshi T., Bozorgipour R., Bakhtiar F., Afshari F., Sharif moghaddasi M. Production of Wheat Doubled Haploid Lines and Assessment of Their Tolerance to Yellow Rust. *Advances in Environmental Biology.* 2011. № 5(5). P. 982–988.
114. Ben-Saad R., Ben-Ramdhan W., Zouari N. Marker-free transgenic durum wheat cv. Karim expressing the ALSAP gene exhibits a high level of tolerance to salinity and dehydration stresses. *Mol. Breed.* 2012. № 30(1). P. 521–533.
115. Bliffeld M., Mundy J., Potrykus I., Futterer J. Genetic engineering of wheat for increased resistance to powdery mildew disease. *Theor. Appl. Genet.* 1999. № 98. P. 1079–1086.

116. Brinch-Pederson H., Oleson A., Rasmussen S., Holm P. Generation of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) for constitutive accumulation of an *Aspergillus* phytase. *Mol. Breed.* 2000. № 6. P. 195–206.
117. Borisjuk N., Kishchenko O., Eliby S., Schramm C., Anderson P., Jatayev S., Kurishbayev A., Shavrukov Y. Genetic Modification for Wheat Improvement: From Transgenesis to Genome Editing. *Biomed Res Int.* 2019. №10. doi: 10.1155/2019/6216304
118. De Buck S., De Wilde C., Van Montagu M., Depicker A. T-DNA vector backbone sequences are frequently integrated into the genome of transgenic plants obtained by *Agrobacterium*-mediated transformation. *Molecular Breeding.* 2000. № 6. P. 459–468.
119. Bechtold N., Pelletier G. In planta *Agrobacterium*-mediated transformation of adult *Arabidopsis thaliana* plants by vacuum infiltration. *Methods in Molecular Biology.* 1998. № 82. P. 259–266. <https://doi.org/10.1385/0-89603-391-0:259>
120. Wang K., Liu H., Du L., Ye X. Generation of marker-free transgenic hexaploid wheat via an *agrobacterium*-mediated co-transformation strategy in commercial Chinese wheat varieties. *Plant Biotechnology Journal.* 2017. № 15(5). P. 614–623. doi: 10.1111/pbi.12660
121. Моргун В. В., Гаврилюк М. М., Оксьом В. П. та ін. Впровадження у виробництва нових, стійких до стресових факторів, високопродуктивних сортів озимої пшениці, створених на основі використання хромосомної інженерії та маркер-допоміжної селекції. *Наука та інновації.* 2014. Т. 10. № 5. С. 40–48.
122. Wang D. L., Yang P. P., Wang S. J. Stacking of multiple resistance genes in wheat via transgenic approaches. *Triticeae Genomics and Genetics.* 2025. Vol. 16, № 3. P. 120–129. DOI: 10.5376/tgg.2025.16.0013.
123. Zhang Y., Liang Z., Zong Y., Wang Y., Liu J., Chen K., Qiu J.-L., Gao C. Efficient and transgene-free genome editing in wheat through transient expression of CRISPR/Cas9 DNA or RNA. *Nature Communications.* 2016. Vol. 7. Article 12617. DOI: 10.1038/ncomms12617.

124. Горбатюк І. Р., Бавол А. В., Моргун Б. В. Агробактеріальна трансформація in planta пшениці озимої сорту Золотоколоса та ярої сорту Bobwhite. *Збірник наукових праць Інституту молекулярної біології та генетики НАН України*. 2011. Вип. 11. С. 237–241.

125. Song L., Wang R., Yang X., Zhang A., Liu D. Molecular markers and their applications in marker-assisted selection (MAS) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture*. 2023. №13(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture13030642>

126. Pradhan A. M., Paul M., Subaşı I., Singh A., Singh V. Marker-Assisted Selection for Drought Resistance in Wheat: A Review of Recent Advances. *Plant Science Archives*. 2022. <https://doi.org/10.51470/PSA.2022.7.1.09>

127. Khoshro H. H., Abdi H. Application of Marker-Assisted Selection in Wheat Quality Breeding Program. *Wheat*. 2023. DOI:10.5772/intechopen.113944.

128. Bennur S.V., Ram M., Shalini Marker-assisted breeding techniques for the development of gluten-free wheat varieties: a comprehensive review. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 2024. Vol. 27. Issue 5. P. 256–267. DOI: 10.9734/JABB/2024/v27i5785

129. Zhang S., Zhang R., Gao J., Song G., Li J., Li W., Qi Y., Li Y., Li G. CRISPR/Cas9-mediated genome editing for wheat grain quality improvement. *Plant Biotechnol J*. 2021. № 19(9). P. 1684–1686. doi: 10.1111/pbi.13647

130. Elsharawy H., Refat M. CRISPR/Cas9 genome editing in wheat: enhancing quality and productivity for global food security-a review. *Funct Integr Genomics*. 2023. №23(3). doi: 10.1007/s10142-023-01190-1.

131. Waites J., Achary V. M. M., Syombua E. D., Hearne S. J., Bandyopadhyay A. CRISPR-mediated genome editing of wheat for enhancing disease resistance. *Frontiers in Genome Editing*. 2025 № 7. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2025.1542487>

132. Ma Y. X., Yang S., Lang S. P. Application of CRISPR/Cas9 in wheat genetic improvement. *Bioscience Methods*. 2024. Vol. 15. № 6. P. 315–326. DOI: 10.5376/bm.2024.15.0031

133. Zhang N., Tang L., Li S., Liu L., Gao M., Wang S., Chen D., Zhao Y., Zheng R., Soleymaniniya A., Zhang L., Wang W., Yang X., Ren Y., Sun C., Wilhelm M., Wang D., Li M., Chen F. Integration of multi-omics data accelerates molecular analysis of common wheat traits. *Nature Communications*. 2025. Vol. 16. DOI:10.1038/s41467-025-57550-x

134. Sehgal D., Dhakate P., Ambreen H., Shaik K.H.B., Rathan N.D., Anusha N. M., Deshmukh R., Vikram P. Wheat Omics: Advancements and Opportunities. *Plants (Basel)*. 2023. №12(3). doi: 10.3390/plants12030426.

135. Yao Y., Guo W., Gou J., Hu Z., Liu J., Ma J., Zong Y., Xin M., Chen W., Li Q., Wang Z., Zhang R., Uauy C., Baloch F.S., Ni Z., and Sun Q. Wheat2035: Integrating pan-omics and advanced biotechnology for future wheat design. *Mol. Plant*. 2025. № 18. P. 272–297. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2025.01.005>

136. Zhang N., Qi X., Wu L., Wang Z., Ma H., Zhu X., Liu J., Niu W., Guo S., He Y., Jiang P., Wang W., Chen S., Wang X., Ni Z., Liu C., Liu D. Accelerating wheat breeding by haploid induction. *The Crop Journal*. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2025.04.004>

137. Eliby S., Bekkuzhina S., Kishchenko O., Iskakova G., Kylyshbayeva G., Jatayev S., Soole K., Langridge P., Borisjuk N., Shavrukov Y. Developments and prospects for doubled haploid wheat. *Biotechnol Adv*. 2022. doi: 10.1016/j.biotechadv.2022.108007.

138. Chang Y., Tang H., Wang S., Li X., Huang P., Zhang J., Wang K., Yan Y., Ye X. Efficient induction and rapid identification of haploid grains in tetraploid wheat by editing genes TtMTL and pyramiding anthocyanin markers. *Frontiers in Plant Science*. 2024. № 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1346364>

139. Sun G., Zhang H., Liu X., et al. Matrilineal empowers wheat pollen with haploid induction potency by triggering postmitosis reactive oxygen species activity. *New Phytologist*. 2022. №233(6). P. 2110–2123. <https://doi.org/10.1111/nph.17963>

140. Ishii T., Karimi-Ashtiyani R., Houben A. Haploidization via chromosomeelimination: means and mechanisms. *Annual Review of Plant Biology*. 2016. № 67. P. 421–438.

141. Liu H, Wang K, Jia Z, Gong Q, Lin Z, Du L, Pei X, Ye X. Efficient induction of haploid plants in wheat by editing of TaMTL using an optimized agrobacterium-mediated CRISPR system. *Journal of Experimental Botany*. 2020. № 71. P. 1337–1349. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz529>
142. Gupta V., Kumar S., Singroha G., Mishra C. N., Kumar R., Tiwari V. Induction of haploids in wheat using Wheat × Maize system of chromosome elimination. *Journal of Wheat Research*. 2016. № 8(2). P. 43–48.
143. Недвига М. В. Головчук А. Ф. Копитко П. Г. Ґрунти Уманщини в дослідженнях В. В. Докучаєва. *Вісник Харківського НАУ ім. В. В. Докучаєва*. 2009. С. 30–38.
144. Недвига М. В. Морфологічні критерії та генезис сучасних ґрунтів України. Київ: Сільгоспосвіта. 1994. 344 с.
145. Василенко А. М., Мелешко Ю. В., Дмитренко О. В., Романенко В. М. *Агрохімічна характеристика та стан родючості ґрунтів Черкаської області*. Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2022. 64 с.
146. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник. За ред. В. О. Єщенка. Вінниця: ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
147. Griffing B. Analysis of quantitative gene-action by constant parent regression and related techniques. *Genetics*. V. 35. P. 303–321.
148. Даскалев Х., Йорданом А., Огнянова А. Гетерозис при домастите. *Българська академия на науките*. 1967. 179 с.
149. Beyl G. M., Atkins R. E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Jowa. J. Sci.* V. 77. № 3. P. 345–358.
150. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / уклад.: Ткачик С. О., Лещук Н. В., Присяжнюк О. І. та ін.; Український інститут експертизи сортів рослин; ред.: Ткачик С. О. — Вінниця : Український інститут експертизи сортів рослин, 2016. 82 с.
151. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості

продукції рослинництва / Міністерство аграрної політики та продовольства України; Український інститут експертизи сортів рослин. Вінниця, 2023. 162 с.

152. Орлюк А. П., Гончар О. М., Усик Л. О. Генетичні маркери пшениці. К: Алефа, 2006. 144 с.

153. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966. V. 6. № 1. P. 34–40.

154. Falconer D. S., Mackay T. F. C. Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Harlow, 1996. 464 p.

155. Літун П. П., Кириченко В. В. Генотип × середовище у селекції рослин. Харків, 2004. 140 с.

156. Finlay K. W., Wilkinson G. N. The Analysis of Adaptation in a Plant-Breeding Programme. *Australian Journal of Agricultural Research.* 1963. № 14. P. 742–754. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9630742>.

157. Трибель С. О., Гетьман М. В., Стригун О. О., Ковалишина Г. М., Андриющенко А. В. *Методологія оцінювання стійкості сортів пшениці проти шкідників і збудників хвороб* / за ред. С.О. Трибеля. К., Колобіг, 2010. 392 с.

158. Diordiieva I., Babii M., Korol E. Degree of dominance and the level of inheritance of traits by hybridization *Triticum spelta* L. × *Triticum compactum* Host. *Modern vision of implementing innovations in scientific studies: II International Scientific and Theoretical Conference (October, 20 2023).* Sofia, Republic of Bulgaria, 2023. P. 52–53.

159. Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://me.gov.ua/view/b8128ff4-0e02-4c41-9ec0-53c28daab0d1> (Дата звернення: 07.01.2026).

160. Грищенко О. М., Жемойда В. Л. Успадкування цінних господарських ознак у F₁ квасолі звичайної овочевого напрямку використання. *Селекція і насінництво.* 2016. Т. 110. С. 45–52.

161. Лучна І. С. Успадкування основних елементів продуктивності у гібридів F₁ пшениці озимої в процесі створення стійкого до хвороб вихідного матеріалу. *Селекція і насінництво.* 2014. № 103. С. 154–159.

162. Бойчук І. В. Агроекологічна оцінка сортів пшениці м'якої озимої і використання їх як вихідного матеріалу в адаптивній селекції. Дис. к. с.-г. н.: 06.01.05. Херсон: херсонський державний аграрний університет, 2012. 192 с.

163. Дубовик Н. С. Прояв господарських ознак у гібридних поколіннях пшениці м'якої озимої за використання пшенично-житніх транслокацій у Правобережному Лісостепу. Дис. к. с.-г. н.: 06.01.05. Центральне: Миронівський інститут пшениці, 2020. 241 с.

164. Diordiieva I., Riabovol L., Riabovol Ia., Serzhuk O., Novak A., Kotsiuba S. The characteristic of wheat collection created by *Triticum aestivum* L./*Triticum spelta* L. hybridization. *Agronomy research*. 2018. Vol. 16. № 5. P. 2005–2015. <https://doi.org/10.15159/AR.18.181>.

165. Ji Z., Liu X., Yan F., Wu S., Du Y. The Genetic Basis of Wheat Spike Architecture. *Agriculture*. 2025. Vol. 15. № 15. Article 1575. DOI: 10.3390/agriculture15151575.

166. Wang M., Lu J., Liu R., Li Y., Ao D., Wu Y., Zhang L. Identification and validation of a major quantitative trait locus for spike length and compactness in the wheat (*Triticum aestivum* L.) line Chuanyu12D7. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article 1186183. DOI: 10.3389/fpls.2023.1186183.

167. Фанін Я. С., Литвиненко М. А. Урожайність та елементи продуктивності рослин у сучасних вітчизняних і закордонних сортах озимої м'якої пшениці. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 38. DOI:10.37406/2706-9052-2023-1.10.

168. Господаренко Г. М., Любич В. В., Рябовол Я. С., Коховська І. В. Урожайність і якість зерна пшениці м'якої озимої залежно від сорту. *Наукові праці ІБКіЦБ*. 2021. № 29. С. 144-151.

169. Bazaliy H. G., Usyk L. O. Adaptive capacity of winter wheat varieties and breeding material under the conditions of the South Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Vol. 14. № 2. P. 183–189.

170. Messina C. D., Cooper M. Breeding crops for drought-affected environments and improved climate resilience. *The Plant Cell*. 2022. 35 № 1. P. 162–186. DOI:10.1093/plcell/koac321.

171. Prado K., Holland B. L., McSpadden Gardener B., Lundquist P. K., Santiago J. P., VanBuren R., Rhee S. Y., Ort D. R. Building climate-resilient crops: genetic, environmental, and technological strategies for heat and drought stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 2025. №76(16). P. 4395–4413 <https://doi.org/10.1093/jxb/eraf111>.

172. Benitez-Alfonso Y., Soanes B.K., Zimba S., Sinanaj B., German L., Sharma V., Bohra A., Kolesnikova A., Dunn J.A., Martin A.C., Khashi u Rahman M., Saati-Santamaría Z., García-Fraile P., Ferreira E.A., Frazão L.A., Cowling W.A., Siddique K.H.M., Pandey M.K., Farooq M., Varshney R.K., Chapman M.A., Boesch C., Daszkowska-Golec A., Foyer C.H. Enhancing climate change resilience in agricultural crops. *Current Biology*. 2023. Vol. 33, № 23. P. R1246–R1261. DOI: 10.1016/j.cub.2023.10.028.

173. Баган А.В., Маслівець О. Нові підходи до адаптивної селекції за умов змін клімату. *Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільськогосподарських культур: матеріали III всеукр. наук.-практ. інтернет-конф.* (м. Полтава, 31 берез. 2025 р.). Полтава: ПДАУ, 2025. С. 72–74.

174. Suvorova K. Yu., Leonov O. Yu., Usova Z. V., Khukhryanska M. M., Kryshchyna N. A., Bohuslavskiy R. L. Characteristics of winter spelt wheat (*Triticum spelta* L.) breeding lines in the eastern forest-steppe of Ukraine. *Селекція і насінництво*. 2023. № 123. DOI:10.30835/2413-7510.2023.283648.

175. Sugar E., Fodor N., Sandor R., Bonis P., Vida G., Arendas T. Spelt wheat: An alternative for sustainable plant production at low N-levels. *Sustainability*. 2019. № 11. DOI:10.3390/su11236726.

176. Escarnot E., Agneessens R., Wathelet B., Paquot M. Quantitative and qualitative study of spelt and wheat fibres in varying milling fractions. *Food Chemistry*. 2010. № 122. P. 857–863. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.02.047.

177. Dinu M., Whittaker A., Pagliai G., Benedettelli S., Sofi F. Ancient wheat species and human health: Biochemical and clinical implications. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2018. № 52. P. 1–9. DOI:10.1016/j.jnutbio.2017.09.001.

178. Diordiieva I. Breeding results on productivity and grain quality of winter wheat. Proc. Of int. science conf. “*Theoretical foundations of modern science and practice*”. Melbourne, Australia 06-07 April 2020. P. 34–38.

179. Діордієва І. П., Бабій М. М. Аналіз вихідного матеріалу, створеного за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. за технологічними властивостями. «*Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі*»: Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції (11–13 жовтня). Умань, 2023. С. 46–48.

180. Liu G., Xu S. B., Ni Z. F., Xie C. J., Qin D. D., Li J., Lu L. H., Zhang J. P., Peng H. R., Sun Q. X. Molecular dissection of plant height QTLs using recombinant inbred lines from hybrids between common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt wheat (*Triticum spelta* L.). *Chinese Science Bulletin*. 2011. № 18. P. 1897–1903. DOI:10.1007/s11434-011-4506-z.

181. Diordiieva I. P., Riabovol L. O., Riabovol Ya. S., Serzhuk O. P., Nakloka Iu. I., Nakloka O. P., Karychkovska S. P. Breeding and genetic improvement of soft winter wheat with the use of spelt wheat. *Agronomy research*. 2022. Vol. 20. Iss. 1. P. 91–102.

182. Korkhova M., Smirnova I., Panfilova A., Mykolaichuk V. Influence of varietal characteristics of winter wheat and weather conditions on lodging resistance and productivity. *Scientific Horizons*. 2023. 26 № 12. С. 42–53. DOI:10.48077/scihor12.2023.42.

183. Філіцька О. О., Лозінський М. В. Вплив метеорологічних умов і генотипу на формування порядкових міжвузлів головного стебла у різних за висотою сортах пшениці м'якої озимої. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 121–130. DOI:10.32848/agrar.innov.2022.15.18.

184. Рибалка О. І. Якість зерна пшениці та її поліпшення: монографія. Київ: Логос, 2011. 480 с.

185. Pycia K., Juszczak L. Rheological characteristics of wheat dough containing powdered hazelnuts or walnuts oil cakes. *Foods*. 2023. Vol. 13 № 1. P. 140. DOI:10.3390/foods13010140
186. Diósi G., Móre M. Role of the farinograph test in the wheat flour quality determination. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. 2015. Vol. 8 № 1. P. 104–110. DOI:10.1515/ausal-2015-0010
187. Veha A., Szabó P.B., Gyimes E. Different method to determine the kernel hardness of Hungarian winter wheat varieties. *7th International Conference Integrated Systems for Agri-Food Production (SIPA)*. Nyíregyháza, Hungary, 2011. P. 10–12.
188. Pasha I., Anjum F.M., Morris C.F. Grain hardness: a major determinant of wheat quality. *Food Science and Technology International*. 2010. Vol. 16 № 6. P. 511–522. DOI:10.1177/1082013210379691
189. Morris C. F. Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Molecular Biology*. 2002. Vol. 48. P. 633–647. DOI:10.1023/A:1014837431178
190. Wen Q., Lu S., Qiao P., Chen L., Hu Y. The effects of elite puroindoline gene alleles on the kernel hardness of Chinese winter wheat. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. № 12. P. 2998. DOI:10.3390/agronomy14122998
191. Ghaed-Rahimi L., Heidari B., Dadkhodaie A. Genotype × environment interactions for wheat grain yield and antioxidant changes in association with drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2015. Vol. 61, № 2. P. 153–171. DOI: 10.1080/03650340.2014.926004.
192. Mohammadi R., Abdipour M., Rahmati M., Armion M., Mehri N., Mehraban A. Genotype × environment interaction analysis and climatic factors impacts on grain yield in rainfed durum wheat trials in Iran. *BMC Plant Biology*. 2025. Vol. 25, art. 1065. DOI: 10.1186/s12870-025-07099-0.
193. Діордієва І. П., Сержук О. П., Бабій М. М. Селекційна цінність вихідного матеріалу, створеного за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі» присвяченої 100-річчю

кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології ім. І. П. Чучмія Уманського НУС, 04 листопада 2022 року. Умань, 2022. С. 15

194. Бабій М. М., Діордієва І. П. Урожайність і якість зерна зразків пшениці м'якої озимої, створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць УНУС*. 2025. Вип. 106. С. 67–73. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-66-73

195. Würschum T., Langer S. M., Longin C. F. H. Genetic control of plant height in European winter wheat cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015. Vol. 128. № 5. P. 865–874. DOI:10.1007/s00122-015-2476-2.

196. Zhou C., Xiong H., Fu M., Guo H., Zhao L., Xie Y., Gu J., Zhao S., Ding Y., Li Y., Li X., Liu L. Genetic mapping and identification of Rht8-B1 that regulates plant height in wheat. *BMC Plant Biology*. 2023. Vol. 23, art. 333. DOI: 10.1186/s12870-023-04343-3.

197. Pearce S., Saville R., Vaughan S. P., Chandler P. M., Wilhelm E. P., Sparks C. A., Al-Kaff N., Korolev A., Boulton M. I., Phillips A. L., Hedden P., Nicholson P., Thomas S. G. Molecular characterization of Rht-1 dwarfing genes in hexaploid wheat. *Plant Physiology*. 2011. Vol. 157, № 4. P. 1820–1831. DOI: 10.1104/pp.111.183657.

198. Geisslitz S., Schierenbeck M., Börner A., Scherf K.A. Semi-dwarfing reduced height genes hardly influenced gluten protein composition while extreme dwarfing genes decreased glutenins in wheat. *Food Science & Nutrition*. 2025. Vol. 13, № 8, e70649. DOI: 10.1002/fsn3.70649.

199. Faris J. D., Zhang Z., Chao S., et al. Molecular characterization of the major wheat domestication gene Q. *Genetics*. 2003. Vol. 164. № 1. P. 311–321.

200. Sharma J. S., Running K. L. D., Xu S. S., Zhang Q., Peters Haugrud A. R., Sharma S., McClean P. E., Faris J. D. Genetic analysis of threshability and other spike traits in the evolution of cultivated emmer to fully domesticated durum wheat. *Molecular Genetics and Genomics*. 2019. Vol. 294, № 3. P. 757–771. DOI: 10.1007/s00438-019-01544-0.

201. Greenwood J. R., Finnegan E. J., Watanabe N., Trevaskis B., Swain S. M. New alleles of the wheat domestication gene Q reveal multiple roles in growth and reproductive development. *Development*. 2017. Vol. 144, № 11. P. 1959–1965. DOI: 10.1242/dev.146407.
202. Schober T.J., Bean S.R., Kuhn M. Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: a rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. *Cereal Science*. 2006. Vol. 44. P. 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.05.007>
203. Belcar J., Sobczyk A., Sobolewska M., Stankowski S., Gorzelany J. Characteristics of technological properties of grain and flour from ancient varieties of wheat (einkorn, emmer and spelt). *Acta Universitatis Cibiniensis, Series E: Food Technology*. 2020. Vol. 24. № 2.
204. Geisslitz S., Longin C. F. H., Scherf K. A., Koehler P. Comparative study on gluten protein composition of ancient (einkorn, emmer and spelt) and modern wheat species (durum and common wheat). *Foods*. 2019. Vol. 8, № 9, 409. DOI: 10.3390/foods8090409.
205. Tóth V., Láng L., Vida G., Mikó P., Rakszegi M. Characterization of the protein and carbohydrate related quality traits of a large set of spelt wheat genotypes. *Foods*. 2022. Vol. 11, № 14, 2061. DOI: 10.3390/foods11142061.
206. Sobczyk A., Pycia K., Stankowski S., Jaworska G., Kuźniar P. Evaluation of the rheological properties of dough and quality of bread made with the flour obtained from old cultivars and modern breeding lines of spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). *Journal of Cereal Science*. 2017. Vol. 77. P. 35–41. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.07.013.
207. Dumalasová V., Grausgruber H., Zelba O., Hanzalová A., Buerstmayr H., Weyermann V. Spelt wheat resistance to rusts, powdery mildew, leaf blotch and common bunt. *Cereal Research Communications*. 2025. Vol. 53. P. 451–467. DOI: 10.1007/s42976-024-00516-4.
208. Dinkar V., Jha S.K., Mallick N., Niranjana M., Agarwal P., Sharma J.B., Vinod. Molecular mapping of a new recessive wheat leaf rust resistance gene

originating from *Triticum spelta*. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, art. 22113. DOI: 10.1038/s41598-020-78679-3

209. Goriewa-Duba K., Duba A., Suchowilska E., Wiwart M. An analysis of the genetic diversity of bread wheat x spelt breeding lines in terms of their resistance to powdery mildew and leaf rust. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 5, art. 658. DOI: 10.3390/agronomy10050658.

210. Діордієва І. П., Бабій М. М. Створення вихідного матеріалу пшениці спельта з оптимальною структурою колосу. *Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання): матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції (19–20 березня 2024)*. Умань, 2024. С. 120–122.

211. Diordiieva I. P., Riabovol I. S., Riabovol L. O., Babii M. M., Fedorenko S. V., Serzhuk O. P., Maslovata S. A., Liubchenko A. I., Novak Z. M., Liubchenko I. O. Breeding and genetic improvement of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) by interspecific hybridization. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. № 3. P. 463–469. <https://doi.org/10.15421/022465>.

212. Діордієва І. П., Сержук О. П., Бабій М. М. Адаптивність зразків пшениці спельта озимої, створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць УНУС*. 2024. Вип. 104. С. 185–192. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-104-1-185-191>.

213. Гіль Л. С., Пашковський А. В., Сулима К. Т. Сучасне овочівництво закритого і відкритого ґрунту. Практичне керівництво. Житомир: «Рута», 2012. 468 с.

214. Soffer H., Burger David W. Studies on plant propagation using the aérohydroponic method. *Acta Hortic*. 1988. 230. 261–270.

215. Рябовол Я. С., Рябовол Л. О. Адаптація клонованого матеріалу жита озимого за перенесення в польові умови вирощування. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції*. Кам'янець-Подільський, 2016. С. 52–54.

216. Murashige T. Skoog F. A revised media for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiology Plant*. 1962. № 15. P. 473–497.

217. Teale W. D., Paponov I. A., Palme K. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.* 2006. V. 7. № 1. P. 847–859.

218. Рябовол Я. С., Рябовол Л. О. Використання аерогідропонних технологій для укорінення рослин жита озимого. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції *Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції*. Кам'янець-Подільський, 2015. С. 70–71.

219. Benton J. Jones Jr. Hydroponics. A Practical Guide for the Soilless Grower. CRC Press, 2004. 440 p.

220. Howard M. Resh. Hydroponic Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. CRC Press, 2012.

221. Wagan M. A., Wagan Ф. А. A study on hydroponic farming system of wheat for sustainable development of agriculture. *International Journal of Agricultural Economics*. 2022. Vol. 7 No. 1 P. 1–3. DOI 10.11648/j.ijae.20220701.11

222. Grigas A., Steponavičius D., Bručienė I., Krikštolaitis R., Krilavičius T., Steponavičienė A., Savickas D. Optimization of hydroponic wheat sprouts as an alternative livestock feed yield and biochemical composition under different fertilization regimes. *Plants*. 2025. Vol.14 No.14 Article 2166. DOI 10.3390/plants14142166

223. Madaik S., Thalyari J. Soil less cultivation aeroponics and hydroponics. *Advances and Trends in Agricultural Sciences*. 2025. P. 49–74. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/387957007_Soil_Less_Cultivation_Aeroponics_and_Hydroponics

224. Garzón J., Montes L., Garzón J. M., Lampropoulos G. Systematic review of technology in aeroponics: introducing the technology adoption and integration in sustainable agriculture model. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 10, Article 2517. DOI

10.3390/agronomy13102517

225. Reyes J. L., Montoya R., Ledesma C., Ramírez R. Development of an aeroponic system for vegetable production. *Acta Horticulturae*. 2012. № 947. P. 153–156. DOI:10.17660/ActaHortic.2012.947.18

226. Tkachenko O. V., Evseeva N. V., Kargapolova K. Y., Denisova A. Y., Pozdnyakova N. N., Kulikov A. A., Burygin G. L. Rhizobacteria increase the adaptation potential of potato microclones under aeroponic conditions. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11. № 7. DOI:10.3390/microorganisms11071866

227. Фесько М. В., Бабій М. М. Укорінення рослинного матеріалу пшениці м'якої озимої за використання аерогідропоніки. Збірник наукових праць УНУ. 2025. Вип. 107. С. 286–293. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-107-1-286-293

ДОДАТКИ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ***Статті у наукових виданнях, включених до Міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science***

1. Diordiieva I. P., Riabovol I. S., Riabovol L. O., **Babii M. M.**, Fedorenko S. V., Serzhuk O. P., Maslovata S. A., Liubchenko A. I., Novak Z. M., Liubchenko I. O. Breeding and genetic improvement of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) by interspecific hybridization. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. № 3. P. 463–469. <https://doi.org/10.15421/022465>. (20 % авторства: проведення польових і лабораторних досліджень, узагальнення отриманих результатів).

Статті у наукових фахових виданнях України та, що включені до міжнародних наукометричних баз даних:

2. Діордієва І. П., Сержук О. П., **Бабій М. М.** Адаптивність зразків пшениці спельта озимої, створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць УНУС*. 2024. Вип. 104. С. 185–192. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-104-1-185-191>. (30 % авторства: проведення польових і лабораторних досліджень, статистичний аналіз і узагальнення отриманих результатів).

3. **Бабій М. М.** Створення вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) за гібридизації з пшеницею спельтою (*Triticum spelta* L.). *Збірник наукових праць УНУ*. 2025. Вип. 107. С. 84–99. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-107-1-84-99

4. **Бабій М. М.**, Діордієва І. П. Урожайність і якість зерна зразків пшениці м'якої озимої, створених за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. *Збірник наукових праць УНУС*. 2025. Вип. 106. С. 67–73. DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-66-73. (80 % авторства: проведення польових і лабораторних досліджень, статистичний аналіз і узагальнення отриманих результатів).

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Діордієва І. П., Сержук О. П., **Бабій М. М.** Селекційна цінність вихідного матеріалу, створеного за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі» присвяченої 100-річчю кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології ім. І. П. Чучмія Уманського НУС: Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (04 листопада). Умань: УНУС, 2022. С. 15
6. Diordiieva I., **Babii M.**, Korol E. Degree of dominance and the level of inheritance of traits by hybridization *Triticum spelta* L. × *Triticum compactum* Host. *Modern vision of implementing innovations in scientific studies: II International Scientific and Theoretical Conference* (October, 20). Sofia, Republic of Bulgaria, 2023. P. 52–53.
7. Діордієва І. П., **Бабій М. М.** Ступінь домінування та аналіз гетерозисного ефекту селекційно цінних ознак у гібридів *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. «Селекційно-генетична наука і освіта» (Парієві читання): Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (20–22 березня). Умань: УНУС, 2023. С. 04 листопада 2022 року. Умань: УНУС, 2022. С. 64–66.
8. Діордієва І. П., **Бабій М. М.** Аналіз вихідного матеріалу, створеного за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. за технологічними властивостями. «Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі»: Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції (11–13 жовтня). Умань: УНУС, 2023. С. 46–48.
9. Діордієва І. П., **Бабій М. М.** Створення вихідного матеріалу пшениці спельта з оптимальною структурою колосу. «Селекційно-генетична наука і освіта» (Парієві читання): XIII Міжнародна науково-практична конференція (18–20 березня). Умань: УНУС, 2024. С. 120–122.

ПОГОДЖЕНО
Ректор Уманського національного
університету

Олена ГРИБЧАТЕНКО


ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ФГ «Поляна лісова»,
Уманського району,
Черкаської області

Володимир ЛЮБЧЕНКО


АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

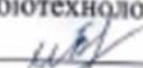
Замовник – ФГ «Поляна лісова» Уманського району, Черкаської області в особі директора.

Даним актом стверджується, що результати наукової роботи Рябовол Л. О. за темою: «Створення вихідного матеріалу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. та використання біотехнологічної ланки», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено у ФГ «Поляна Лісова».

1. Вид впровадження – зразок пшениці м'якої озимої 84/22.
2. Характеристика масштабів впровадження – у 2024 р. на площі 2 га.
3. Новизна результатів науково-дослідної роботи встановлено підвищення рівня врожайності на 18 %, вмісту в зерні білка на 1,4 %.
4. Економічний ефект – 3178грн/га.
5. Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення врожайності та в зерні вмісту білка, збереження родючості ґрунту, охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання коштів та енергоресурсів господарства.

Даний акт участі в фінансових операціях не бере.

Від Уманського національного
університету відповідальний за
впровадження аспірант кафедри
генетики, селекції рослин та
біотехнології


22.05 2025 Микола БАБІЙ

Від ФГ «Поляна лісова»,
Уманського району,
Черкаської області
Директор


Володимир ЛЮБЧЕНКО



ПОГОДЖЕНО
 Ректор Уманського національного
 університету
 Олена НЕПОЧАТЕНКО
 2025

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ФГ «Кримяне»,
 Уманського району,
 Черкаської області
 Іван ЛЮБЧЕНКО
 2025

АКТ

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ


Замовник – ФГ «Кримяне» Уманського району, Черкаської області в особі директора.

Даним актом стверджується, що результати наукової роботи Бабія М. М. за темою: «Створення вихідного матеріалу за гібридизації *Triticum aestivum* L. × *Triticum spelta* L. та використання біотехнологічної ланки», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено у ФГ «Кримяне».

1. Вид впровадження – зразок пшениці м'якої озимої 84/22.
2. Характеристика масштабів впровадження – у 2024 р. на площі 2 га.
3. Новизна результатів науково-дослідної роботи встановлено підвищення рівня врожайності на 20 %, вмісту в зерні білка на 1,0 %.
4. Економічний ефект – 3255 грн/га.
5. Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення врожайності та в зерні вмісту білка, збереження родючості ґрунту, охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання коштів та енергоресурсів господарства.

Даний акт участі в фінансових операціях не бере.

Від Уманського національного університету відповідальний за впровадження аспірант кафедри генетики, селекції рослин та біотехнології


 Микола БАБІЙ
 2025

Від ФГ «Кримяне»,
 Уманського району,
 Черкаської області
 Директор


 Іван ЛЮБЧЕНКО
 2025



Замовник — СТОВ «Урожай», Черкаської області в особі директора.

Даним актом стверджується, що результати наукової роботи Діордієвої І. П. за темою: «Теоретичні основи створення вихідних матеріалів у селекції за показниками якості зерна пшениці та тритикале озимих», виконаної в Уманському національному університеті, впроваджено у СТОВ «Урожай».

1. Вид впровадження – зразок пшениці спельта озимої 123.
2. Характеристика масштабів впровадження — у 2025 р. на площі 2 га.
3. Новизна результатів науково-дослідної роботи — встановлено підвищення рівня врожайності на 22 %, поліпшення якості обмолоту зерна на 20 %.
4. Економічний ефект – 3630 грн/га.
5. Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення врожайності та в зерні вмісту білка, збереження родючості ґрунту, охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання коштів та енергоресурсів господарства.

Даний акт участі в фінансових операціях не бере.

Від Уманського національного університету відповідальна за впровадження доцент кафедри генетики, селекції рослин біотехнології
Ірина ДІОРДІЄВА
10.11 2025

Від СТОВ «Урожай», Черкаської області
Директор
Олександр КАЧУР
2025