

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
МИРОНІВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПШЕНИЦІ ІМЕНІ В.М. РЕМЕСЛА

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

ТОПКО РОСТИСЛАВ ІГОРОВИЧ

УДК: 631.526.3:631.527:633.11“324”

### ДИСЕРТАЦІЯ

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНА ДІАГНОСТИКА СОРТІВ ТА СЕЛЕКЦІЙНИХ  
ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ NDVI ІНДЕКСУ В УМОВАХ  
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

201 «Агрономія»

(20 «Аграрні науки та продовольство»)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

\_\_\_\_\_Топко Ростислав Ігорович

Науковий керівник:  
Ковалишина Ганна Миколаївна  
доктор с.-г. наук, професор

с. Центральне – 2023

## АНОТАЦІЯ

*Топко Р. І.* Мультиспектральна діагностика сортів та селекційних ліній пшениці озимої з використанням NDVI індексу в умовах Лісостепу України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» (20 «Аграрні науки та продовольство»). Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла, с. Центральне, 2023.

У дисертаційній роботі наведено узагальнення сучасного стану досягнень у селекції пшениці озимої в Україні та світі. Викладено результати з використання методу спектральної польової діагностики культури для удосконалення і пришвидшення селекційної роботи.

У вступі висвітлено актуальність теми, її зв'язок із науковими програмами, планами і темами, мету досліджень, яка полягала в удосконаленні і впровадженні польової діагностики в Лісостепу України.

У роботі наведені результати аналізу літературних джерел з досягнення в селекції пшениці озимої в Україні та світі, основні напрямки селекційної роботи з даною культурою, а також сучасний стан селекції та основні завдання над якими повинні працювати селекційні установи. Наведені результати досягнень провідних селекційних установ України зі створення сортів пшениці озимої із застосування сучасних методів селекції. Описана історія становлення методів селекції як у нашій державі, так і за кордоном.

Описано характеристику ґрунтово-кліматичних умов місця проведення досліджень, проаналізовано погодні умови, що склалися упродовж 2018 – 2021 рр., а також представлена тенденція їх зміни протягом останніх тридцяти років. Погодні умови, що склались упродовж трьох вегетаційних років досліджень по-різному вплинули як на результати продуктивності досліджуваних зразків, так і на результати їх фенотипування. Температурний режим вегетаційного періоду за роки дослідження був дещо вищим за середньобагаторічний показник (за останні 30 років). Подано опис вихідного матеріалу, що використовували у експериментальній частині, а саме: нові сорти – МПП Ассоль, Балада миронівська,

Грація миронівська, МП Ювілейна, МП Лада, МП Дніпрянка та сорт-стандарт Подолянка і селекційні лінії – Еритроспермум 55023, Лютесценс 22198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107.

Описані нові та вже існуючі методи аналізу і методика проведення досліджень. З використанням GGE-біплоту та АММІ аналізу проведено комплексну оцінку генотипів за продуктивністю та стабільністю. За допомогою REML/BLUP-аналізу визначено генетичні параметри та генотипові значення для ряду досліджених ознак. На основі отриманих даних розраховано селекційні індекси за сукупністю ознак. Встановлено можливість використання спектральних вегетаційних індексів, отриманих з БПЛА, у селекційному процесі. Більш точна ідентифікація генотипів за комплексом ознак забезпечується поєднаним застосуванням багатовимірних статистичних методів, селекційних індексів і показників NDVI

Отримано результати спектральних обліків пшениці озимої, а також їх зв'язок із морфо-біологічними показниками під час трьох основних фенологічних фаз, а саме: періоду осіннього припинення вегетації, часу відновлення весняної вегетації та періоду цвітіння. За результатами аналізу даних морфо-біологічного та спектрального аналізу, в середньому за три роки, перед перезимівлею кращими сортами пшениці озимої за першого строку сівби (5 жовтня) виявилися: МП Лада (NDVI=0,48), МП Ювілейна, МП Дніпрянка (NDVI=0,46) та лінії Лютесценс 55198 (NDVI=0,47), Еритроспермум 55023, Лютесценс 37519 та Лютесценс 60049 (NDVI=0,46). У сорту стандарту Подолянка значення індексу було нижчим (NDVI=0,45). Дані сорти переважали стандарт і за біометричними показниками (висота, кількість листків, кількість стебел, а також за масою рослин). На момент часу відновлення весняної вегетації (ЧВВВ) до кращих сортів і селекційних ліній пшениці озимої за основними біометричними показниками (висота рослин, кількість листків та маса рослин) відносились: МП Дніпрянка, МП Лада, Балада миронівська, Лютесценс 37519 і Еритроспермум 55023. Вони також відрізнялися найвищим значенням NDVI індексу (0,56–0,58 при 0,56 у Подолянки). За другого строку сівби (15 жовтня) виокремили сорт МП Дніпрянка та селекційні лінії

Лютесценс 37519 і Еритроспермум 55023, що переважали стандарт за висотою, кількістю листків, стебел та масою рослин. Сорти МПП Лада та Балада миронівська були на рівні або переважали за деякими морфологічними та спектральними показниками сорт-стандарт Подолянку. Результати досліджень в період цвітіння дозволяють стверджувати, що у 2018/2019 та 2020/2021 вегетаційних роках для першого строку сівби (5 жовтня) кращими виявились сорти: МПП Лада, МПП Дніпрянка та селекційні лінії: Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 і Лютесценс 60107. Вони перевищували сорт стандарт Подолянку за NDVI індексом на 0,1–0,33 і результатами врожайності – 0,37–2,33 т/га, відповідно. За результатами другого строку сівби (15 жовтня) кращими виявились сорт МПП Лада та селекційні лінії Лютесценс 55198 і Лютесценс 60049. МПП Дніпрянка, Лютесценс 37519 та Лютесценс 60107 перевищували сорт стандарт Подолянку за значенням NDVI індексу та рівнем врожайності лише у 2018/2019 вегетаційному році досліджень. До сортів, що також переважали сорт стандарт, за обох сприятливих років досліджень, віднесено МПП Ассоль та Грація миронівська.

Погодні умови, що склались упродовж трьох років досліджень (2019-2021 рр.) були досить контрастними за показниками температури і кількості опадів. Проте, серед досліджуваного селекційного матеріалу за першого (5 жовтня) строку сівби ми виділити кращі лінії за вмістом білка – Лютесценс 55198 (12,8 %), Еритроспермум 55023 (11,9 %), Лютесценс 37519 (11,7 %) та Лютесценс 60107 (10,7 %) За другого (15 жовтня) строку сівби, кращими сортами та селекційними лініями за даним показником вирізнялись – Лютесценс 60049 (12,8 %), МПП Дніпрянка (12,3 %), Еритроспермум 55023 (12,3 %), Лютесценс 37519 (12,3 %), Грація миронівська (11,4 %) та Лютесценс 55198 (11,4 %).

За показником склоподібності зерна за першого строку сівби (5 жовтня) можна виділити наступні генотипи – Лютесценс 55198 (94,3 %), Лютесценс 37519 (91,0 %), МПП Лада (89,3 %), МПП Дніпрянка (87,3 %), Балада миронівська (86,7 %) та Еритроспермум 55023 (86,3 %). За другого строку сівби сорти – Балада миронівська (86,7 %), МПП Лада (85,0 %), МПП Дніпрянка (81,7 %) та Грація миронівська (79,3 %) і селекційні лінії – Лютесценс 60049 (81,3 %) та Лютесценс

55198 (80,7 %). За вмістом сирої клейковини можна виокремити сорт Грація миронівська, для якого цей показник має значення 26,2 %. Для всіх досліджуваних селекційних ліній значення показника вмісту сирої клейковини варіювало від 26,0 % до 29,9 %. За другого (15 жовтня) строку сівби вищий відсоток вмісту сирої клейковини в зерні відмічено у сортів Грація миронівська (29,9 %), МПП Дніпрянка (27,4 %) та селекційних ліній – Лютесценс 60049 (29,1 %), Еритроспермум 55023 (28,4 %), Лютесценс 55198 (27,4 %) та Лютесценс 37519 (27,1 %).

Представлені статистичні обрахунки отриманих результатів під час проведення запланованих досліджень. Встановлено доцільність використання спектральних вегетаційних індексів, отриманих із БПЛА, у селекційному процесі. Більш точна ідентифікація високоперспективних генотипів за комплексом ознак забезпечується поєднаним застосуванням багатовимірних статистичних методів, селекційних індексів із безпосереднім використанням показників NDVI. Метод REML/BLUP, у поєднанні з багатовимірними методами АММІ та GGE-біплет із графічним виділенням генотипів за індексом Z, дозволяє визначити перспективний селекційний матеріал за комплексом ознак. Виділено кращі лінії: Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107 і сорти: МПП Лада та МПП Дніпрянка для подальшого використання в програмах селекції. Перспективою подальших досліджень є підвищення точності оцінки і добору потенційно високоврожайних і стабільних ліній пшениці в селекційних програмах за допомогою дистанційного зондування з обмеженням використання традиційних деструктивних методів.

Розраховано економічну ефективність вирощування нових сортів миронівської селекції. Наведено орієнтовні витрати для впровадження методу польової спектральної діагностики, а також приклади розрахунків рівня очікуваного прибутку для отримання окупності вкладених інвестицій. На основі проведеної роботи можна зробити висновок, що рівень витрат для впровадження в селекційну практику дистанційного фенотипування на сьогодні не є надто дорогим і становить 389 670 грн, а збільшення доходу на 1 га від вирощування нових сортів Миронівської селекції становить 1 926,5 грн з ПДВ, в порівнянні із сортом

стандартом Подолянка. Даний метод є доступним для швидкого інтегрування, в порівнянні із іншими методами, що використовуються в селекції особливо в іноземних установах.

**Ключові слова:** *пшениця озима, NDVI індекс, спектральна оцінка, морфологічні показники, час припинення осінньої вегетації, час відновлення весняної вегетації, цвітіння пшениці, вихідний матеріал, сорт, селекційна лінія.*

## SUMMARY

*Topko R. I.* Multispectral diagnosis of varieties and breeding lines of winter wheat using the NDVI index in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 201 “Agronomy”, branch of knowledge 20 (Agricultural Sciences and Food). The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 2023.

The dissertation summarizes the current state of achievements in winter wheat breeding in Ukraine and worldwide. The results of using the method of spectral field diagnostics of the crop to improve and accelerate breeding work are presented.

The introduction highlights the relevance of the topic, its connection with scientific programs, plans and topics, the purpose of the research, which was to improve and implement field diagnostics in the Forest-Steppe of Ukraine.

The work presents the results of the analysis of literary sources on achievements in winter wheat breeding in Ukraine and worldwide, the main directions of breeding work with this crop, as well as the current state of breeding and the main tasks that breeding institutions should work on. The results of the achievements of the leading breeding institutions of Ukraine in the creation of winter wheat varieties using modern breeding methods are presented. The history of the development of breeding methods both in our country and abroad is outlined.

The characteristics of the soil and climatic conditions of the place of research are described, the weather conditions during 2018–2021 are analyzed, and the trend of their changes during the last thirty years is presented. The weather conditions during the three vegetation years of the research had different effects on both the productivity results of the studied samples and the results of their phenotyping. The temperature regime of the growing season during the years of the study was slightly higher than the long-term average (for the last 30 years). The specification of the wheat source material used in the experimental part is given, namely: new varieties MIP Assol, Balada myronivska, Hratiia myronivska, MIP Yuvileina, MIP Lada, MIP Dniprianka, and the standard

variety Podolianka as well as breeding lines Erythrosperrum 55023, Lutescens 22198, Lutescens 37519, Lutescens 60049, and Lutescens 60107.

New and existing methods of analysis and research methods are described. When using GGE-biplot and AMMI analysis, a comprehensive evaluation of genotypes for productivity and stability was carried out. With REML/BLUP analysis, genetic parameters and genotypic values were determined for a number of investigated traits. On the basis of the obtained data, breeding indices were calculated for a set of traits. The possibility of using spectral vegetation indices obtained from UAV (drone) in breeding process has been established. More accurate identification of genotypes by a set of traits is provided by the combined use of multivariate statistical methods, breeding indices and NDVI indicators.

The results of spectral records of winter wheat were obtained, as well as their relationship with morpho-biological indices during three main phenological phases, namely: at autumn vegetation dormancy onset date, at the renewal of spring vegetation date, and flowering period. Based on the results of morpho-biological and spectral analysis, in an average of three years, before overwintering, the best winter wheat genotypes for the first sowing date (October 5) were the varieties MIP Lada (NDVI=0.48), MIP Yuvileina, MIP Dniprianka (NDVI=0.46) and the lines Lutescens 55198 (NDVI=0.47), Erythrosperrum 55023, Lutescens 37519, and Lutescens 60049 (NDVI=0.46). In the standard variety Podolianka, the value of the index was lower (NDVI=0.45). These varieties and lines exceeded the standard in terms of biometric indicators (height, number of leaves, number of stems, as well as plant weight). At the time of the restoration of spring vegetation, the best varieties and breeding lines of winter wheat according to the main biometric indicators (plant height, number of leaves and plant weight) included were MIP Dniprianka, MIP Lada, Balada myronivska, Lutescens 37519, and Erythrosperrum 55023. They also were distinguished by the highest value of the NDVI index (0.56–0.58 with 0.56 in Podolianka). For the second sowing date (October 15), the variety MIP Dniprianka and the breeding lines Lutescens 37519 and Erythrosperrum 55023 were singled out, which exceeded the standard in terms of plant height, number of leaves and stems, and plant weight. The varieties MIP Lada and Balada

myronivska were equal or superior in some morphological and spectral indicators to the standard variety Podolianka. The results of research during the flowering period allows us to state that in the 2018/2019 and 2020/2021 growing seasons for the first sowing date (October 5) the best varieties were MIP Lada, MIP Dniprianka and the breeding lines Lutescens 55198, Lutescens 37519, Lutescens 60049, and Lutescens 60107. They exceeded the standard variety Podolianka in NDVI index by 0.1-0.33 and in yield by 0.37-2.33 t/ha, respectively. For the second sowing date (October 15), the variety MIP Lada and the breeding lines Lutescens 55198 and Lutescens 60049 were the best ones. The variety MIP Dniprianka and the breeding lines Lutescens 37519 and Lutescens 60107 exceeded the standard variety Podolianka in terms of the NDVI index and yield level only in the 2018/2019 vegetation year of the research. Among the varieties that also dominated the standard variety in both favorable years of the research, MIP Assol and Hratiia myronivska are included.

The weather conditions during the three years of the research (2019–2021) were rather contrasting in terms of temperature and precipitation. However, among the studied breeding material with the first (October 5) sowing date, the best lines were singled out in terms of protein content, namely Lutescens 55198 (12.8 %), Erythrosperrum 55023 (11.9 %), Lutescens 37519 (11.7 %), and Lutescens 60107 (10.7 %).

For the second (October 15) sowing date, the best varieties and breeding lines according to this indicator were Lutescens 60049 (12.8 %), MIP Dniprianka (12.3 %), Erythrosperrum 55023 (12.3 %), Lutescens 37519 (12.3 %), Hratiia myronivska (11.4 %), and Lutescens 55198 (11.4 %). In terms of grain hardness index for the first sowing date (October 5), it is possible to distinguish Lutescens 55198 (94.3 %), Lutescens 37519 (91.0 %), MIP Lada (89.3 %), MIP Dniprianka (87.3 %), Balada myronivska (86.7 %), and Erythrosperrum 55023 (86.3 %). For the second sowing date, these were the varieties Balada myronivska (86.7%), MIP Lada (85.0 %), MIP Dniprianka (81.7 %), and Hratiia myronivska (79.3 %) and the breeding lines Lutescens 60049 (81, 3 %) and Lutescens 55198 (80.7 %). According to wet gluten content, we can single out the variety Hratiia myronivska with the indicator of 26.2 %. For all studied breeding lines, the value of the wet gluten content indicator varied from 26.0 % to 29.9 %. For the second (October

15) sowing date, a higher percentage of wet gluten content was noted in the varieties Hratiia myronivska (29.9 %) and MIP Dniprianka (27.4 %) and the breeding lines Lutescens 60049 (29.1 %), ErythrospERMum 55023 (28.4 %), Lutescens 55198 (27.4 %), and Lutescens 37519 (27.1 %).

Statistical calculations of the results obtained during the planned research are presented. The expediency of using spectral vegetation indices obtained from UAVs in the breeding process has been established. More accurate identification of highly promising genotypes based on a set of traits is provided by the combined use of multivariate statistical methods, breeding indices with direct use of NDVI indicators. The REML/BLUP method, in combination with the multivariate AMMI and GGE-biplot methods with the graphical allocation of genotypes by the Z index, allows to determine promising breeding material based on a set of traits. The best lines Lutescens 55198, Lutescens 37519, Lutescens 60049, Lutescens 60107 and the varieties MIP Lada and MIP Dniprianka were selected for further use in breeding programs. The prospect of further research is to increase the accuracy of the assessment and selecting of potentially high-yielding and stable wheat lines in breeding programs when using remote sensing with the limitation of the use of traditional destructive methods.

The cost efficiency of growing new varieties of Myronivka breeding was calculated. Estimated costs for implementing the method of field spectral diagnostics are given, as well as examples of calculations of the level of expected profit to obtain a return on investment. On the basis of the work carried out, it can be concluded that the level of costs for the introduction of remote phenotyping into breeding practice is not too expensive today and amounts to UAH 389,670, and the increase in income per 1 ha from the cultivation of new Myronivka varieties is UAH 1,926.5 including VAT, as compared to the standard variety Podolianka. This method is available for rapid integration relative to other methods used in breeding, especially in foreign institutions.

**Key words:** *winter wheat, NDVI index, spectral evaluation, morpho-biological indicators, autumn vegetation dormancy onset date, renewal of spring vegetation date, flowering of wheat, source material, variety, breeding line.*

## СПИСОК ПРАЦЬ ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Спектральна оцінка сортів та селекційних ліній пшениці озимої в осінній період. *Plant and soil science*. Вип. 12, № 2. 2021. С. 29–36. <https://doi.org/10.31548/agr2021.02.029> (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
2. Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Спектральна оцінка сортів та селекційних ліній пшениці озимої у період відновлення весняної вегетації. *Plant and soil science*. Вип. 12, № 4. 2021. С. 68–79. <https://doi.org/10.31548/agr2021.04.068> (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
3. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Дистанційний спектральний аналіз сортів та ліній пшениці озимої в період цвітіння. *Plant Varieties Studying and Protection*. Вип. 18, № 2. 2022. С. 148–157. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.2.2022.265183> (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
4. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої миронівської селекції за показниками якості зерна. *Plant Varieties Studying and Protection*. Вип. 18, № 3. 2022. С. 193–200. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.3.2022.269000> (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
5. Топко Р. І., Волощук С. І., Ковалишина Г. М. Оцінка генотипів пшениці м'якої озимої за даними дистанційного зондування та агрономічними ознаками, пов'язаними з урожайністю. *Наукові доповіді НУБіП України*. № 5/105. 2023. [http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.012](http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.012) (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).

### Методичні рекомендації:

6. Демидов О. А., Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Метод польового фенотипування селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої з використанням NDVI індексу в умовах Лісостепу України. *Методичні рекомендації*. Київ : Компринт, 2023. 44 с. (50 % авторства: обробка і аналіз даних, написання методичних рекомендацій).

### Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Вологдіна Г. Б. Оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої з використанням вегетаційного індексу NDVI. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів* (с. Центральне, 19 квітня 2019 р.). Вінниця: ТОВ «Твори». 2019. С. 109. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

8. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Вологдіна Г. Б. Використання вегетаційного індексу NDVI в селекції пшениці озимої. *Наукові читання до 100-річчя від дня народження професора Івана Вікторовича Яшовського: матеріали Міжнародної наукової конференції* (м. Київ, 14–15 серпня 2019 р.). Київ, 2019. С. 46–47. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

9. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Рисін А. Л., Вологдіна Г. Б. Біометричні показники рослин пшениці озимої та спектральна оцінка перед перезимівлею в умовах лісостепу України. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів* (с. Центральне, 23 квітня 2021 р. Електронний ресурс: <http://confer.uiesr.sops.gov.ua>. 2021. С. 106–107. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

10. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Вологдіна Г. Б. Оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої з використанням вегетаційного індексу NDVI під час цвітіння. *Селекція, генетика та технології вирощування*

*сільськогосподарських культур: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 29 квітня 2022 р.). Електронний ресурс: <http://confer.uiesr.sops.gov.ua>. 2022. С. 107. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).*

11. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Адаптивність сортів та перспективних ліній пшениці озимої Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла до змін клімату. *Селекція – надбання, сучасність і майбутнє (освіта, наука, виробництво): V Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 110-річчю з дня народження видатного вченого, селекціонера, Заслуженого працівника вищої школи, доктора сільськогосподарських наук, професора Зеленського Михайла Олексійовича (м. Київ, 24–25 травня 2022 р.). Київ, 2022. С. 71. (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).*

12. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Спектральна оцінка сортів пшениці озимої з використанням NDVI індексу. *Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 125-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України. Секція 2. Післявоєнне відновлення рослинних ресурсів та екологічна безпека країни (м. Київ, 25 травня 2023 р.). Київ, 2023 С. 341. (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).*

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЇ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 НАРОДНОГОСПОДАРСЬКЕ ЗНАЧЕННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (огляд літератури).....	23
1.1 Світові тенденції та виклики, пов'язані із продовольчою безпекою та роль пшениці як культури у них.....	23
1.2 Стан, основні завдання та напрями селекційної роботи з пшеницею озимою в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла та інших селекційних установах.....	32
1.3 Сучасні методи селекції пшениці озимої.....	40
Висновки до розділу 1.....	59
РОЗДІЛ 2 УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	61
2.1 Ґрунтові умови місця проведення досліджень.....	61
2.2 Погодньо-кліматичні умови місця проведення досліджень.....	62
2.3 Вихідний матеріал для проведення досліджень.....	72
2.4 Методи проведення досліджень.....	76
Висновки до розділу 2.....	79
РОЗДІЛ 3 СПЕКТРАЛЬНІ ОБЛІКИ ОСНОВНИХ ФЕНОЛОГІЧНИХ ФАЗ, ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ NDVI ІНДЕКСУ ТА ЙОГО ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МОРФО-БІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.....	80
3.1 Мультиспектральні обліки в період часу припинення осінньої вегетації пшениці озимої.....	85
3.2 Мультиспектральні обліки в період часу відновлення весняної вегетації пшениці озимої.....	89
3.3 Мультиспектральні обліки у фазу цвітіння пшениці озимої.....	94
3.4 Якісні показники зерна досліджуваних сортів та селекційних ліній.....	99
Висновки до розділу 3.....	103

РОЗДІЛ 4 СТАТИСТИЧНІ ОБРАХУНКИ ОТРИМАНИХ ДАНИХ .....	106
Висновки до розділу 4.....	125
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПОЛЬОВОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ.....	126
Висновки до розділу 5.....	129
ВИСНОВКИ.....	130
РЕКОМЕНДАЦІЇ СЕЛЕКЦІЙНІЙ ПРАКТИЦІ ТА ВИРОБНИЦТУ.....	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	134
ДОДАТКИ.....	160

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Нормалізований Диференційний Вегетаційний Індекс);

NIR – Near InfraRed (Ближній ІнфраЧервоний);

LAI – Leaf Area Index (Індекс площі листової поверхні);

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ЧПОВ – час припинення осінньої вегетації;

ЧВВВ – час відновлення весняної вегетації;

МІП – Миронівський інститут пшениці;

МІР – миронівська;

ЕР – Еритроспермум;

ЛЮТ – Лютесценс;

$HP_{0,05}$  – найменша істотна різниця при 5 % рівні значимості;

ІДК – індекс диформації клітковини;

Yield – урожай (т/га);

NDVI<sub>sv</sub> – індекс NDVI на час припинення вегетації (безрозмірна величина);

NDVI<sub>rv</sub> – індекс NDVI на час відновлення вегетації;

NDVI<sub>an</sub> – індекс NDVI на час цвітіння;

РН – висота рослин (см);

GrE – кількість зерен у колосі (шт.);

WKE – маса зерна з колоса (г);

MoK – середня маса зернівки (мг);

TgW – маса 1000 зерен (г);

DVP – тривалість періоду сходи–колосіння (діб);

МІП – Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла;

СГІ–НЦНС – Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення.

## ВСТУП

Пшениця, як джерело їжі, є найдавнішою культурною рослиною. Вирощувати її розпочали з часів зародження землеробства за 15–10 тис. років до н. е. Виходячи з порівняльної генетики культурних та диких форм пшениць, вірогідно, центром походження культурної пшениці є південно-східна Туреччина – регіон неподалік сучасного міста Диярбакир. У рукописних джерелах перші згадки про неї датовані 550 роком до н. е. (Білик та ін., 1965).

Пшениця – одна з найцінніших зернових культур у світі. Ареал пшениці дуже великий, оскільки культивують її на п'яти континентах Земної кулі у 184 країнах. Світова посівна площа пшениці кожного року коливається від 220 до 230 млн га, а валовий збір зерна перевищує 660 млн т в рік. Перше місце за площами посіву пшениці посідає Індія – 26–30 млн га, далі місця розподіляються між Китаєм – 26, США – 19–23, Австралією – 11–13 та Канадою – 9–11 млн га (Черенков, Гасанова & Солодушко, 2014).

Нині, світовою тенденцією у сільськогосподарському виробництві стає використання спектральних знімків, отриманих за допомогою супутників та БПЛА. Впровадження та використання сучасних технологій скринінгу в селекційній практиці, поряд з існуючими біометричними методами оцінки, відкриває можливість покращити якість підбору вихідного та селекційного матеріалу та дає можливість селекціонеру отримати більш об'єктивну оцінку, а також у разі збільшити обсяги досліджуваних зразків.

Пшениця озима є невід'ємною культурою в сільськогосподарському бізнесу. За останні три роки (крім 2022/23 вегетаційного року) посівні площі даної культури сягають приблизно 6,8–7 млн. га., що становить четверту частину усієї ріллі України (За інф. щодо земельного фонду країни).

Одним із чинників інтенсифікації ведення сільського господарства в Україні є збір та оцінка спектральних даних дистанційного зондування. На сьогоднішній день, використання супутникового моніторингу в період вегетації

сільськогосподарських культур дедалі стає нормою у виробничій діяльності більшості агропідприємств.

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Впровадження останніх науково-технічних досягнень у селекційну практику дає можливість не тільки покращити якість оцінки вихідного матеріалу, а й збільшити об'єм досліджуваних зразків. Спектральна оцінка генотипів пшениці озимої у комплексі з паралельним морфо-фізіологічним аналізом дозволяє комплексно оцінити реакцію генотипа на умови навколишнього середовища або на дію зовнішніх факторів таких як холодо-морозостійкість, посухостійкість, живлення, стійкість проти фітопатогенів тощо.

Розробка та впровадження комплексного методу польової оцінки генотипів пшениці озимої, що базуватиметься на спектральному та морфо-фізіологічному аналізі, дозволить селекціонеру покращити якість підбору вихідних форм та всебічніше дослідити створені сорти та селекційні лінії.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертаційної роботи проведено в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла Національної академії аграрних наук України (МІП) впродовж 2018–2021 рр. згідно із завданнями в рамках програми наукових досліджень у яких здобувач був співвиконавцем: ПНД 13 відповідно до завдання 13.00.01.06.П «Розроблення методичних підходів оцінки вихідного матеріалу пшениці озимої за використання вегетаційного індексу NDVI в умовах Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0121U100438). Строк виконання 2021–2023 рр.; 13.00.02.04.Ф «Теоретичне обґрунтування та розроблення методичних основ оцінки селекційного матеріалу, створення вихідного матеріалу і сортів пшениці озимої різних напрямів використання зерна (продовольчий, харчовий, круп'яний) в умовах змін клімату» (номер держреєстрації 0121U100431). Строк виконання 2021–2025 рр.

**Мета та завдання дослідження** – провести спектральну діагностику сортів та селекційних ліній пшениці м'якої озимої та отримати значення NDVI індексів. Розробити методіку проведення польової спектральної оцінки для подальшого впровадження у селекційну практику.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- проаналізувати погодні умови досліджуваних років та їх вплив на прояв значення вегетаційного індексу;
- оцінити NDVI індекс досліджуваних сортів та селекційних ліній у періоди: час припинення осінньої вегетації, час відновлення весняної вегетації і у фазі цвітіння рослин пшениці озимої;
- здійснити статистичні обрахунки результатів досліджень з використанням сучасних методів REML/BLUP AMMI, GGE-біплот;
- встановити залежність між рівнем урожайності та значеннями спектральних індексів;
- визначити та оцінити можливість застосування БПЛА платформи для відбору спектральних даних у польових умовах;
- розрахувати економічну ефективність впровадження нового методу у селекційну практику.

*Об'єктом досліджень* – ріст, розвиток та формування продуктивності сортів та ліній пшениці озимої залежно від агрокліматичних умов та удосконалення методів проведення польової спектральної оцінки для впровадження у селекційну практику.

*Предмет досліджень* – сорти та селекційні лінії пшениці озимої, гідротермічні умови, NDVI індекс досліджуваних генотипів, врожайність і якість продукції, економічна ефективність впровадження методу польової спектральної діагностики.

*Методи дослідження:* загальнонаукові – для синтезу, аналізу, висування робочих гіпотез; спектральний – для отримання рівня значень NDVI індексу досліджуваних сортів та селекційних ліній; біометричний – для визначення метричних ознак досліджуваних зразків; польові та лабораторні – для проведення фенологічних спостережень та оцінки показників якості сортів та селекційних ліній; порівняльно-розрахунковий – для визначення кращих зразків за конкретними

показниками; математико-статистичний – для підтвердження достовірності та значущості отриманих даних.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в теоретичному обґрунтуванні та удосконаленні методичних аспектів комплексного оцінювання генотипів пшениці озимої за морфо-біологічними та спектральними показниками. У результаті польових та спектральних досліджень всесторонньо вивчено та оцінено сім сортів та п'ять селекційних ліній пшениці озимої.

*Уперше:*

– в умовах України було проведено спектральну оцінку нових сортів та селекційних ліній пшениці озимої миронівської селекції упродовж трьох вегетаційних років досліджень (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 в.р.);

– для фенотипування рослин пшениці у періоди часу припинення осінньої вегетації, часу відновлення весняної вегетації та фазі цвітіння розроблено методичні рекомендації використання БПЛА із навісним спектральним обладнанням;

– визначено NDVI індекси, морфо-біологічні показники та їх взаємозалежність;

– статистично обраховано отримані дані за сучасними методами обробки: REML/BLUP у поєднанні з багатовимірними методами AMMI та GGE-біплет з графічним виділенням генотипів за індексом Z.

*Удосконалено:*

– метод польового фенотипування рослин пшениці озимої для прискорення та покращення селекційного процесу.

*Набуло подальшого розвитку:*

– використання сучасних підходів для все сторонньої оцінки селекційного матеріалу, зокрема використання дистанційного зондування досліджуваних генотипів пшениці озимої. Впровадження у селекційну роботу результатів спектральних та морфо-біологічних даних щодо інтенсивності осіннього періоду вегетації, морозо- та зимостійкості, а також залежності значення NDVI індексу до урожайності новостворених сортів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Удосконалений методичний підхід щодо розробки і впровадження методу спектральної діагностики пшениці м'якої озимої, який дозволяє доповнити результати морфо-біологічних обліків при створенні нового селекційного матеріалу. Наукові напрацювання автора покладені в основу рекомендацій щодо проведення спектральної діагностики пшениці м'якої озимої «Метод польового фенотипування сортозразків пшениці озимої з використання NDVI індексу в умовах Лісостепу України». Вивчений селекційний матеріал передано до НУБіП України (кафедра генетики, селекції і насінництва ім. проф. М. О. Зеленського) для подальшого вивчення і залучення у селекційну роботу. Додаток А.2.

**Особистий внесок здобувача** полягає у здійсненні огляду наукової літератури за темою дисертаційної роботи, розробці програми досліджень та їх проведення у польових умовах згідно сучасних методик, обрахунках отриманих результатів та їх узагальнення у вигляді дисертаційного рукопису із сформульованими висновками та практичними рекомендаціями селекційній практиці. Частка авторства у наукових працях опублікованих за темою досліджень складає 60–70 %, методичних рекомендаціях – 50 %.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційного дослідження було висвітлено на засіданнях вченої ради Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла, лабораторії селекції озимої пшениці та атестаціях аспірантів Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла, а також на різного рівня конференціях: VII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 19 квітня 2019 р.); Міжнародній науковій конференції (м. Київ, 14–15 серпня 2019 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 23 квітня 2021 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 29 квітня 2022 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 110-річчю з дня народження видатного вченого, селекціонера, Заслуженого працівника вищої школи, доктора сільськогосподарських наук, професора Зеленського Михайла Олексійовича (м.

Київ, 24–25 травня 2022 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвячена 125-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України. Секція 2. Післявоєнне відновлення рослинних ресурсів та екологічна безпека країни. (м. Київ, 25 травня 2023 р.).

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковано в 12 наукових працях, з яких п'ять статей у наукових фахових виданнях України, одні методичні рекомендації, шість тез та матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота викладена на 181 сторінках комп'ютерного тексту, включає анотації, вступ, п'ять розділів, які містять 16 таблиць, 12 рисунків, висновки, рекомендації для селекції та виробництва, список використаної літератури і 11 додатків. Список використаних літературних джерел налічує 237 джерела, з яких 160 латиницею.

## РОЗДІЛ 1

### НАРОДНОГОСПОДАРСЬКЕ ЗНАЧЕННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ)

#### 1.1 Світові тенденції та виклики, пов'язані із продовольчою безпекою та роль пшениці як культури у них

З постійним зростанням глобального населення та зростаючою популярністю харчових продуктів на основі пшениці на Глобальному Півдні залишається гострою необхідність забезпечити подальшу трансформацію агропродовольчих систем пшениці, включаючи стійку інтенсифікацію виробництва пшениці (Erenstein et al., 2022).

Серед найважливіших зернових культур озима пшениця за посівними площами займає в Україні перше місце і є головною продовольчою культурою (Мостіпан, 2015). Це свідчить про велике народногосподарське значення цієї культури, її важливості в забезпеченні населення високоякісними продуктами харчування.

Суттєве зменшення посівних площ через війну з Росією, а також серйозні логістичні виклики спричиненні блокуванням вільного експорту сільськогосподарської продукції з морських портів України створило передумови зниження рентабельності даної культури особливо низьких категорій.

Ряд досліджень показали, що глобальне виробництво сільськогосподарських культур має подвоїтися до 2050 року, щоб задовольнити прогнозовані потреби, пов'язані зі зростанням населення, зміною раціону харчування та збільшенням споживання біопалива.. Використовуючи ~2,5 мільйона сільськогосподарських статистичних даних, зібраних для ~13500 політичних одиниць по всьому світу, відстежено чотири ключові глобальні культури: кукурудза, рис, пшениця та соєві боби, які зараз виробляють майже дві третини світових сільськогосподарських калорій. Виявлено, що врожайність цих чотирьох найкращих культур зростає на 1,6 %, 1,0 %, 0,9 % і 1,3 % на рік, відповідно (Ray et al., 2013). Підвищення

врожайності сільськогосподарських культур для задоволення цих зростаючих потреб, а не розширення площі землі для сільського господарства, є найкраще рішення для досягнення цієї мети. Існує 90 % ймовірність того, що загальне зростання світового виробництва лише за рахунок урожайності до ~2050 року становитиме 34–101 % для кукурудзи, 21–59 % для рису, 4–76 % для пшениці та 13–84 % для сої. Таким чином, для забезпечення глобальної продовольчої безпеки якщо показники зміни врожайності не збільшаться, знадобиться додаткове очищення землі.

Огляд великої трійки зернових культур показав, що кукурудза є динамічною культурою, без ознак уповільнення росту врожайності та з величезним потенціалом у країнах, що розвиваються. Це культура, яка відчуває найшвидше зростання попиту, в основному для кормів і палива, і залучає найбільший бюджет досліджень і розробок. Зростання попиту на пшеницю та зростання врожайності є проміжними, останнє, можливо, через стійкість до хвороб та промислові обмеження якості селекції, а також більшу роль нестачі води у її виробничому середовищі. Збільшення врожайності рису є більш проблематичним, але зростання попиту також менше, хоча це особливо важливий продукт харчування для бідних жителів Азії і Африки. (Fischer, Byerlee & Edmeades, 2009). Зміна клімату також стане серйозною проблемою для багатьох країн, негативно вплинувши на врожайність і відволікаючи ресурси науково-дослідних розробок на адаптацію, а не на підвищення врожайності, що додасть новий вимір до досліджень утримання. Минулого успіху в сільському господарстві в певному сенсі було досягнуто шляхом видобутку невідновлюваних ресурсів — викопної енергії, фосфатів і значної частини підземних вод, обмеження на які наростають. Це заставляє приділяти особливу увагу підвищенню ефективності використання цих ресурсів, що повинно бути в центрі програми «Нагодувати світ» у 2050 році. Загалом слід зазначити, що підвищення врожайності завдяки селекції та агрономії підвищує ефективність використання ресурсів. Результатом вказаного самміту було прийняття Римської декларації про світову продовольчу безпеку в якому держави-члени заявили, що «зобов'язуються за нашу політичну волю та нашу загальну та

національну відданість досягненню продовольчої безпеки для всіх та постійним зусиллям по викоріненню голоду у всіх країнах з негайним наміром зменшити кількість недоїдаючих людей до половини їх теперішнього рівня не пізніше 2015 року «, що нажаль не відбулося (Shaw, 2007).

Подальша трансформація виробництва пшениці вимагає тристороннього внеску покращеної зародкової плазми, покращеного управління врожаєм та покращеної політики. Покращена зародкова плазма особливо необхідна для продовження приросту межі врожайності пшениці (потенціалу врожайності), підвищення її стійкості та вирішення нових проблем і можливостей. Це явно включає зміну клімату, яка має вплинути на системи виробництва пшениці та посилити біотичні та абіотичні стреси. Але це також включає підвищену увагу до якості та вимог споживачів і переробної промисловості. Покращене управління культурами особливо необхідне для усунення розривів у врожайності та збереження в межах планети, включаючи зменшення зовнішніх впливів на навколишнє середовище, пов'язаних із водою, землею та поживними речовинами. Удосконалена політика особливо необхідна для створення сприятливого середовища, включаючи ланцюжки вартості, ринків, цін і допоміжних послуг і має бути динамічною з огляду на загальний контекст економічної трансформації.

Селекція пшениці була надзвичайно успішною, особливо з часів Зеленої революції, і поки гібридна пшениця не стане загальновизнаною реальністю, селекційні дослідження пшениці, ймовірно, залишатимуться критично важливою діяльністю у суспільному надбанні. Багато вчених двадцятого століття зробили внесок у Зелену революцію, яка втричі збільшила потенціал урожайності основних культур. Більша частина прогресу була досягнута завдяки відкритому обміну зародковою плазмою та знаннями серед вчених - пшеничників, які зберігаються досьогодні, але стагнація врожайності зараз викликає занепокоєння, особливо враховуючи численні проблеми, з якими стикається продовольча безпека. Інвестиції в сучасні технології – феноміка, геноміка тощо надає інструменти для проведення трансляційних досліджень і виходу селекції сільськогосподарських культур на новий рівень. (Reynolds & Braun, 2022). Однак ефективно трансляційне

дослідження потребує часу та може відштовхнути спонсорів і вчених, які відчують тиск, щоб досягти короткострокового результату, тому актуальним є розвиток технологій і методів, які можуть прискорити трансляційні дослідження та селекцію, коли ми вирішуємо погрозливі виклики, з якими стикається сільське господарство в осяжному майбутньому.

Урожайність зерна та якість пшениці є важливими складовими продовольчої безпеки. Сама по собі пшениця забезпечує  $\geq 20$  % калорій і білка для населення світу, і цінність і необхідність збільшення виробництва широко визнані. Наразі середня врожайність пшениці у світі становить близько 3 т/га, але між країнами існують значні відмінності, оскільки врожайність обмежують фактори, що залежать від регіону, і для кожного з них потрібні індивідуальні рішення. Забезпечення підвищення врожайності в будь-якій ситуації є складним завданням, яке навряд чи можна вирішити за допомогою окремих підходів, тому потрібен мультидисциплінарний комплексний підхід до покращення врожаю. Є три конкретні головні проблеми: підвищення потенціалу врожайності, захист потенціалу врожайності та підвищення ефективності використання ресурсів для забезпечення стійкості (Hawkesford et al., 2013). Генетичного підвищення потенціалу врожайності можна досягти за допомогою різних агрономічних і фізіологічних механізмів і покращення специфічних рис, таких як стабільність ознак, архітектура та функція навісу, маніпулювання фотосинтезом, фенологічні ознаки, перерозподіл поживних речовин, вага зерна та співвідношення між двома основними компонентами врожайності, ефективність добрив, зокрема азоту, коренева система, якість, генетичний захист потенціалу врожайності від абіотичних стресів і біотичних нападів, створення та використання нового різноманіття.

Проблема підвищення врожайності сільськогосподарських культур при забезпеченні сталого розвитку екологічно чистого сільського господарства є загальною проблемою в усьому світі. Щоб прогодувати дев'ять мільярдів людей, прогнозованих до середини століття, сільське господарство має значно збільшити виробництво (Godfray et al., 2010). Вплив подвоєння світового виробництва

сільськогосподарських культур на навколишнє середовище залежатиме від того, як буде досягнуто збільшення виробництва (Foley et al., 2011). Це збільшення виробництва має бути досягнуто при мінімізації впливу сільського господарства на навколишнє середовище (Tilman et al., 2011). Щоб досягти цієї мети, необхідний ретельний моніторинг систем сільськогосподарського виробництва..

Ідеотипи пшениці були розроблені для збільшення генетичного потенціалу врожайності на 43–62 % в кліматі 2050 року, ідеотипні конструкції забезпечують дорожню карту для підвищення генетичного потенціалу врожайності пшениці. Стійкість до спеки та посухи під час цвітіння, оптимальна структура та фенологія пологу (максимальна площа прапорцевого листка; Stay Green («Зберігати зелень») – ознака, яка дозволяє рослині зберігати зелене листя та здійснювати активний фотосинтез протягом більш тривалого періоду; філохрон – проміжний період між послідовним появою листя на головному стеблі рослини, який також відображається як поява листя; тривалість наливу зерна), покращене поглинання води коренем (коефіцієнт швидкості поглинання води коренем з дна кореня), стійкість до посухи (реакція фотосинтезу на нестачу води, фактор прискорення старіння листя через водний стрес, уповільнене старіння та краща переносимість стресів з боку навколишнього середовища, зокрема посухи чи спеки) були визначені як ключові ознаки для покращення (Senapati et al., 2019). Підвищення потенціалу врожайності та усунення розриву врожайності є важливими для досягнення глобальної продовольчої безпеки. Європа є найбільшим виробником пшениці, поставляючи близько 35 % пшениці в усьому світі. «Генетичний розрив врожайності» в місці був оцінений в богарних умовах Європи як різниця між потенціалом врожайності оптимального ідеотипу порівняно з поточним, добре адаптованим сортом, Встановлено великий середній генетичний потенціал врожайності (11-13 т га<sup>-1</sup>) і генетичний розрив врожайності (3,5-5,2 т га<sup>-1</sup>) (Senapati & Semenov 2020). Незважаючи на інтенсивні зусилля із селекції пшениці, сучасні місцеві сорти виявилися далекими від свого оптимального, що означає, що європейська пшениця все ще має великий генетичний розрив у врожайності. Великі зусилля були докладені для генетичного поліпшення

врожайності зерна пшениці в Китаї (Hu et al., 2022). Однак якості зерна пшениці (тобто концентрації білка та якості протеїну) приділялося набагато менше уваги. За останні два десятиліття, з 2001 по 2020 рік, врожайність пшениці демонструє 0,64–1,03 % щорічного. В той самий час, не було значного зниження концентрації білка пшениці. Генетичний потенціал урожайності було збільшено, і генетичний розрив у врожайності зменшено. Висока врожайність зерна та краща якість, ймовірно, можуть бути досягнуті одночасно шляхом геномної селекції в майбутній селекції пшениці.

Щоб прогодувати кілька мільярдів людей, які живуть на планеті, виробництво високоякісної їжі має збільшуватися з меншими витратами, але це досягнення буде особливо складним перед викликами глобальних екологічних змін. Міжрічні режими мінливості клімату, такі як південне колювання Ель-Ніньо (ENSO), диполь Індійського океану (IOD) і північноатлантичне колювання (NAO), вплинули на відносну ймовірність одночасних шоків врожайності на 20–40 % як кукурудзи, так і в пшениці (Anderson et al., 2023). Причому NAO найбільше впливає на загальну кількість глобальних шоків врожайності пшениці, ENSO найбільше впливає на структуру глобальних одночасних шоків урожайності кукурудзи. У 1975–2017 роках було менше одночасних шоків врожайності порівняно з 1931–1975 роками. Селекціонери повинні зосередитися на ознаках з найбільшим потенціалом для підвищення врожайності. Отже, для прискорення селекції необхідно розробити нові технології шляхом удосконалення методів генотипування і фенотипування та збільшити наявне генетичне різноманіття в зародковій плазмі. Ці технології мають бути економічно доступними та легко поширюватися, що забезпечить високу ефективність від їх впровадження в країнах, що розвиваються (Tester & Langridge, 2010). У процесі селекції рослин рівень прояву цінних господарських ознак наближується до їхніх теоретичних максимумів, при цьому показник ефективності перетворення світла, який в основному визначається фотосинтезом, залишається чи не єдиною значною перспективою для його покращення (Long, Marshall-Colon & Zhu 2015).

Поточний глобальний річний приріст врожайності пшениці становить близько 0,9 %. З постійним зростанням світового населення врожайність пшениці повинна збільшуватися на 1,7 % на рік, щоб прогодувати очікуваних 9,7 мільярдів людей до 2050 року стійкості (Hawkesford et al., 2013).

Пшениця озима є основною сільськогосподарською культурою в Україні, яка займає провідне за посівними площами (6,4–6,8 млн га щорічно) не лише серед злакових, а й серед усього переліку сільськогосподарських культур в Україні. Згідно огляду світового ринку пшениці, який в жовтні 2021 р. опублікувало Міністерство сільського господарства США, врожайність пшениці в Україні зростала вибуховими темпами – за 20 (1996–2016) років середня величина показника зросла на 44 % (Andrew & Bryn, 2021). Значною мірою на це вплинула селекція: створення сучасних сортів пшениці озимої стало поштовхом до інтенсифікації технологій вирощування, що сприяло підвищенню рівня врожайності культури. Останніми роками врожайність зернових в Україні неухильно зростає і вже перевищує показники США.

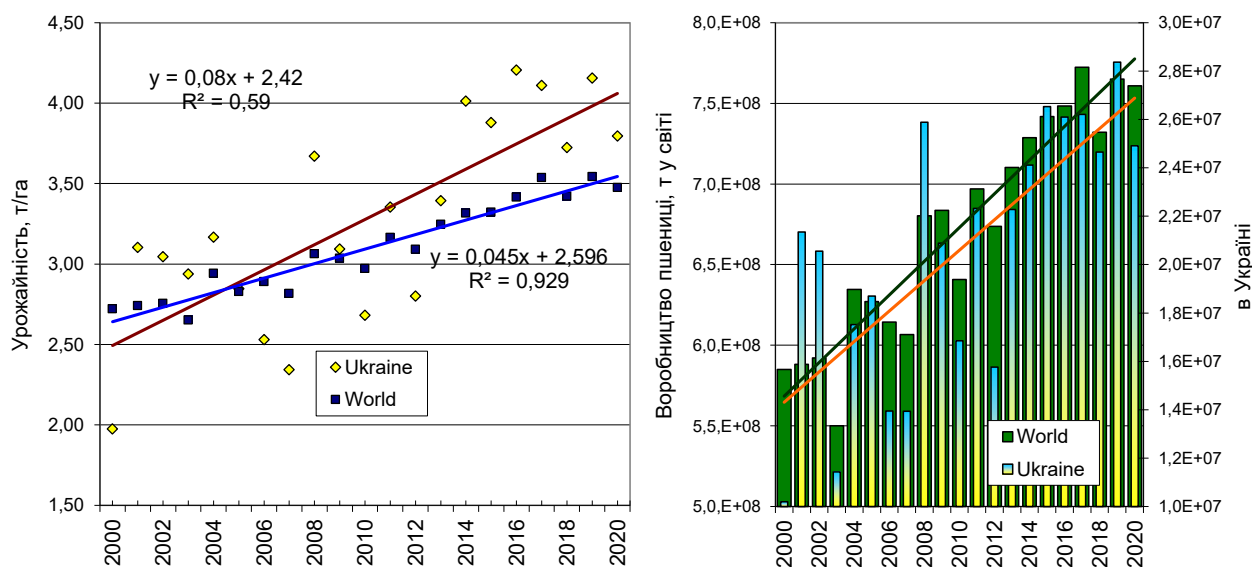


Рис. 1.1 Динаміка виробництва зерна пшениці в Україні та світі (FAOSTAT, 2020).

Якщо площі пшениці в країні можна вважати стабільними (розкид незначний), то площі кукурудзи та соняшнику стабільно зростають під впливом підвищення попиту з боку національного та світового ринків. При цьому

виращування посівних площ під кукурудзою та соняшником відбувалося в усіх кліматичних зонах. (Skrypnyk et al., 2021). Дослідження показали, що відбувається розширення посівів на північ і зміна їх структури, в тому числі значне збільшення посівних площ кукурудзи. Виходячи з поточних глобальних прогнозів, вплив погоди на сільське господарство України посилюватиметься, а найбільше негативних наслідків можна очікувати в Степовій зоні, де підвищується ймовірність погодно-кліматичних ризиків. Важливим фактором, що впливає на економічний розвиток регіонів, є екологічний стан навколишнього середовища. Формування кластерів та розробка політики сталого розвитку для окремих кластерів, які повинні мати суттєві відмінності з урахуванням їх специфіки сприятимуть більш ефективному досягненню цілей сталого розвитку (Бабенко та ін., 2021). Слід підкреслити, що цей шлях розвитку є не екстенсивним, а інтенсивним, оскільки посівні площі під основними видами зерна не мають тенденції до зростання, тому постає питання, чи шлях, яким йде значна частина українського аграрного бізнесу, є економічно вигідним (Скрипник та ін., 2021). За допомогою регресійних моделей проаналізовано довгострокові тенденції зростання врожайності пшениці в Німеччині, США та Україні (Скрипник та ін., 2021). Виходячи з наведених розрахунків, робиться висновок, що український аграрний бізнес (зокрема, рослинництво) розвивається власним шляхом, а не шляхом розвитку Німеччини чи США. Крім показника середньої врожайності, ще одним важливим показником є її мінливість, яка може вимірюватися як відхилення від тренду або середніх значень. Звичайно, надмірна мінливість врожайності була основною причиною ризиків для продовольчої безпеки як у роки планової економіки, так і в перші десятиліття переходу до ринкових відносин. Крім того, питання зміни клімату є вирішальним для розвитку сільського господарства, що може призвести до значних втрат у сільськогосподарському виробництві. З іншого боку, показник урожайності пов'язаний з рівнем розораності землі, який перевищує всі допустимі в Україні значення (Камінський, Шевченко & Коломієць, 2018). Це свідчить про те, що держава перебуває на такій стадії суспільного розвитку, коли економічні результати набагато важливіші за стан навколишнього середовища.

Україна стабільно входить до п'ятірки провідних світових експортерів зернових і зернобобових. За результатами 2020/2021 маркетингового року експорт зернових і зернобобових та продуктів їх переробки склав 44,9 млн. т. Зокрема, експортовано 16,6 млн. т пшениці, 4,2 млн. т ячменю, 18,4 тис. т жита, 23,1 млн. т кукурудзи, а також 126,9 тис. т борошна (<https://epub.chnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/8518/1>).

Зернова галузь є стратегічним сектором розвитку економіки України, формуючи понад 25 % загального виробництва сільськогосподарської продукції. Зростання світового попиту на зерно зумовлюють підвищення позицій України у світовому рейтингу (Лотиш, 2018). У 2021 р. майже 400 мільйонів людей у світі були забезпечені продуктами харчування за рахунок експорту Україною на світовий ринок продукції сільськогосподарського виробництва. (Бойко & Бойко 2022). Глобалізація світової економіки попри сучасну нестабільність і загрози які виникають при збройних конфліктах спонукає до нового типу виробничих відносин, піднімає питання щодо неспинного розвитку аграрного сектору, який спроможний розв'язати завдання пов'язані із забезпеченням світової продовольчої безпеки.

Вторгнення Росії в Україну спричинило гуманітарну кризу, водночас порушивши глобальні сільськогосподарські ринки та енергетичні системи. (Psaltoroulo, 2022). Цілеспрямовані короткострокові дії мають сприяти сприянню вільній торгівлі та підтримці споживачів і вразливих домогосподарств і фермерів. Довгострокові дії мають бути структурними та трансформаційними. Необхідно стимулювати стійку інтенсифікацію посівних земель із високим потенціалом за допомогою технологій точного землеробства та кліматично розумних методів сільського господарства, розробити інтегровані системи сільськогосподарських знань та інновацій, які надають послуги консультативної підтримки виробникам для сталого зростання продуктивності та стійкості.

Продовольча та сільськогосподарська організація Об'єднаних Націй (ФАО) розробила План швидкого реагування ФАО для країни на 2023 рік (FAO. 2023. Ukraine: Humanitarian response update, 2023), окресливши три основні

напрямки діяльності, які потребуватимуть фінансування у розмірі 205 млн доларів США. Заходи включають: відновлення продовольчої безпеки та забезпечення продовольчої незалежності для півмільйона сільських домогосподарств уздовж лінії фронту або інших районах, що зазнали значного впливу, через надання насіння, кормів та грошової допомоги; відновлення критично важливих продовольчих ланцюжків доданої вартості через надання дизельних та газових генераторів, насіння пшениці, ячменю, вівса та гороху, тимчасових та довгострокових модульних зерносховищ та забезпечення інших потреб; посилення критично важливих елементів агропродовольчої системи через зміцнення потенціалу у галузі тестування та сертифікації альтернативних маршрутів експорту зерна, відновлення ветеринарних служб, партнерство зі спеціалізованими організаціями для сприяння знешкодженню вибухонебезпечних предметів на сільськогосподарських угіддях та проведення оцінки збитків та втрат.

1.2 Стан, основні завдання та напрями селекційної роботи з пшеницею озимою в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла та інших селекційних установах

Узагальнення наукових досліджень і практичного досвіду підтверджує, що вклад сорту в приріст урожайності становить 50–60 % генетичного потенціалу нових сортів (Моргун, 2012; Василюк, 2013).

Одним із головних завдань Програми «Зерно України – 2015», якій надано статусу національної, є підвищення продуктивності вітчизняного зерновиробництва до рівня 71–80 млн т. щороку. У зростанні врожайності і валових зборів значну роль відіграє сорт (Бурденюк-Тарасевич, 2008, Литвтенко 2005). За даними дослідників, внесок селекції в зростання врожайності досягає 50 % (Гаврилюк & Чайка, 2011; Мілютенко та ін., 2011).

Основні завдання селекції щодо м'якої озимої – виведення сортів інтенсивного типу з потенціальною продуктивністю 70–100 ц/га, морозостійкість в

зоні вузла кущіння – мінус 19°C, стійкістю до посухи, основних хвороб і шкідників, з високоякісним зерном.

При створенні нових сортів пшениці озимої використовують різні методи селекції: гібридизація, індукований мутагенез та внутрішньосортіві добори. Застосування штучних інфекційних фонів патогенів безпосередньо на селекційному матеріалі дозволяє відбирати форми з груповою стійкістю проти хвороб. Наявність стрес-факторів у період зимівлі сприяє добору зимостійких трансгресивних форм, які служать родоначальниками нових сортів.

Також на ряду з вище переліченим залишається пошук нових сучасних методів прискорення селекційного процесу, автоматизації та цифровізації процесу отримання даних.

Серед основних українських установ, що займаються селекцією пшениці озимої на сьогоднішній день можна виділити: Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України (МІП), Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Селекційно-генетичний інститут-Національний центр насіннізнавства та сортовивчення НААН України (СГІ–НЦНС), Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН», Інститут зрошуваного землеробства НААН, Білоцерківська дослідна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва, Носівська селекційно-дослідна станція миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла, Приватне сільськогосподарське селекційно-дослідне підприємство «БОР», ТОВ Всеукраїнський національний інститут селекції.

Нині в МІП здійснюють селекційні дослідження за різними напрямками, проте головним є підвищення адаптивного потенціалу нових сортів пшениці озимої, завдяки чому вони здатні значною мірою протистояти діям біотичних і абіотичних чинників. Застосування концепції адаптивності з урахуванням генетично контрольованих показників типу розвитку рослин (Коломієць, Гуменюк & Хоменко, 2009), стійкості до хвороб (Кириленко, 2007), фотоперіодичної чутливості (Булавка & Голик, 2007), інтенсивності продукційного процесу (Власенко та ін., 2006) у комплексі з різними методами селекції (гібридизації,

мутагенезу, внутрішньосорткових доборів) стало основою ефективності селекції пшениці озимої. Серед 247-ми сортів пшениці озимої, занесених до Державного реєстру сортів рослин України на 2012 р., 45 сортів (18,2 %), створених у творчій співпраці Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП), Інституту фізіології рослин і генетики НАНУ (ІФРГ) та Інституту захисту рослин НААН (ІЗР) (Кочмарський, Коломієць & Кириленко, 2012). Дані таблиці підтверджують, що серед районованих сортів пшениці озимої переважна більшість (68,8 %) – сорти, впроваджені у виробництво за 2005–2011 рр. Здебільшого це сорти інтенсивного типу з високим генетичним потенціалом продуктивності та стійкістю до дії біотичних та абіотичних чинників.

Ретроспективний аналіз селекційних досягнень з пшеницею м'якою озимою свідчить, що за 1915–2011 рр. селекціонерами МІП створено 131 сорт цієї культури, з яких 71 сорт у різні роки (з 1929 р.) було рекомендовано до широкого використання в Україні та за її межами. Під час створення сортів пшениці озимої використовували такі методи селекції, як гібридизація, експериментальний мутагенез, добір озимих форм із сортів пшениці ярої, висіяних під зиму, та внутрішньосорткові добори.

За період діяльності Миронівської станції та інституту створено понад 320 сортів двадцяти сільськогосподарських культур, серед яких шедеври сітрової селекції – сорти пшениці озимої Українка 0246 та Миронівська 808. Станом на 2022 р. до Державного реєстру сортів рослин України внесено 135 миронівських сортів, у тому числі 64 сорти пшениці м'якої озимої, 1 сорт пшениці озимої твердої, 16 сортів пшениці м'якої ярої, 6 – пшениці твердої ярої, 8 сортів тритикале озимого, 1 тритикале ярого, 13 сортів ячменю озимого, 24 – ярого, 1 сорт проса та 1 сорт суданської трави.

У МІП в основу класичного методу гібридизації покладено міжсортівне схрещування. Добір батьківських пар здійснюють за еколого-географічним принципом. Широко використовують схрещування ліній, відселектованих за певними адаптивними ознаками, між собою та із сортами місцевої селекції, які містять адаптовану геноплазму українських пшениць (Власенко та ін., 2012).

Значну увагу в процесі селекції на адаптивність приділяють стійкості до біотичних чинників. Ознаки стійкості проти основних хвороб у номерів пшениці враховувалися селекціонерами Миронівської дослідної станції із самого початку роботи. У довоєнний період В. П. Муравйов (1934) проводив велику роботу з виявлення стійких проти твердої сажки форм пшениці озимої, які потім залучались у схрещування. Ним було започатковано оцінку сортів і гібридів з використанням штучного зараження збудником хвороби. Селекція на стійкість проти хвороб проводилась у післявоєнний період, але особливого розвитку набула після реорганізації станції в інститут і пов'язана з іменем видатного селекціонера – академіка В. М. Ремесла.

У селекційній програмі щодо одержання вихідного селекційного матеріалу для створення нових інтенсивних сортів пшениці озимої з потенційною урожайністю 8,0–9,0 т/га значна увага приділялася стійкості проти хвороб. Потреба у джерелах стійкості та донорах задовольнялася в основному надходженням селекційного матеріалу з ВІР та інших науково-дослідних установ. Із 1975 р. робота з колекційним матеріалом була значно розширена. Паралельно колекційні зразки досліджувались в інфекційних розсадниках, розташованих у спеціально відведеному для відділу захисту рослин полі. Комплексне вивчення світової колекції дало можливість виявити багато цінних сортозразків, що використані в селекції. Для виявлення і ретельного вивчення донорів та дослідження гібридних нащадків фітопатологами удосконалено штучні інфекційні фони, проведено збирання і напрацювання місцевого інфекційного матеріалу, вивчено склад місцевих популяцій патогенів.

Цілеспрямовану роботу зі створення стійкого проти основних грибних захворювань вихідного селекційного матеріалу було розпочато в 1978 р. під керівництвом В. Г. Новохатки. В її основу було покладено схему конвергентної селекції. Так були створені сорти Миронівська напівінтенсивна, Миронівська 33 та низка селекційних ліній, які були використані селекціонерами при створенні нових сортів.

Для ефективності виконання програм зі створення генотипів з комплексною стійкістю проти основних збудників хвороб в МПІ започатковано застосування штучних комплексних інфекційних фонів патогенів безпосередньо на селекційному матеріалі (Шелепов та ін., 2005). Таким шляхом було створено сорти пшениці озимої Деметра, Економка та Миронівська сторічна, які в різні роки були занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні.

Однією з основних рушійних сил еволюційного процесу є метод індукованого мутагенезу, який у сотні разів збільшує частоту появи змінених форм. Для розширення комбінаційної мінливості до гібридизації як вихідні форми залучають кращі місцеві сорти й селекційні лінії, районовані високопродуктивні сорти різних науково-дослідних установ України, кращі колекційні зразки, а також селекційні форми й лінії з CIMMYT та ICARDA, Китаю та ін. (Власенко та ін., 2012). Застосування мутагенів на гібридному матеріалі (поєднання комбінаційної та мутаційної мінливості) на основі взаємодії генетичного пулу за комплексом природних і штучних лімітуючих чинників дало можливість створити конкурентоспроможні сорти: Пивна (2007 р.), Калинова (2008 р.), Хазарка (2008 р.), Достаток (2009 р.), Спасівка (2010 р.), Яворина (2010 р.), Славна (2010 р.) та ін. Термічний мутагенез – добір озимих форм з ярих сортів (ТМ) – базується на дії низьких температур (Моргун & Логвиненко, 1995). Метод розробив академік В. М. Ремесло (Ремесло, 1979), в подальшому він був удосконалений (Ремесло, 1979; Шелепов & Коломиец, 2004; Голик, 2005; Кочмарський, Кириленко & Коломиец, 2012). Під час його застосування використовують сорти пшениці ярої різного географічного походження: з Англії (Topic TW21311), Бельгії (Calyspas), Голландії (Adonis, Tarwe, Taro), Швеції (Sunnan, WW17272, Zavet, Walter), Франції (Flambard, Cornette, Wim), Німеччини (Quattro, Turbo, Typic, Attic, Devon, Taifun), Чехії (Ru-24, Lequan, Bruncka, Vinjett, Lulana), США (Dor, Hope, HUD-2, AD-08, AD-1616, Adams), Мексики (Site, Sis/CK5//Mexis <5>, ALV#1, Bagula, CM 92354, Alubuc, Prinia (C6HRW327), BAW<5>, YACO, Filin, Merof 22).

Цей метод селекції пшениці озимої включає різні варіанти підготовчого етапу. У першому варіанті сорти пшениці ярої висівають під зиму в пізні строки,

потім після перезимівлі відбирають озимі форми. Другий варіант використання ярих сортів передбачає тривалу (90–120 діб) їх яровизацію за температури від 0 до мінус 2 °С з подальшим висаджуванням рослин у полі навесні. Отримане насіння після дозрівання висівають восени в оптимальні для озимої пшениці строки. Критеріями добору сортів ярої пшениці при цьому є зимостійкість, продуктивність, висота рослин, високі показники якості верна. За допомогою цього методу створено такі нові сорти пшениці овимої як: Миронівська ранньостигла, Ремеслівна, Волошкова, Легенда Миронівська.

Метод внутрішньосортових доборів у селекції пшениці озимої передбачає створення нових сортів цієї культури шляхом масового добору кращих рослин із місцевих популяцій. Щороку в конкурсному сортовипробуванні досліджують близько сотні ліній гібридного походження. Проте не всі вони можуть бути претендентами для передачі на Державне сортовипробування. Конкурентоспроможність багатьох із них є незначною через нестабільність поєднання адаптивних ознак. Деякі є гетерозіотними генотипово й складаються з кількох ліній, які між собою різняться за спадковими ознаками. Серед таких ліній найефективнішим є виділення рослин нетипових для їхнього основного складу. У ході подальших репродукцій виявилось, що проведені внутрішньосортові добори форм, стійких до ураження основними збудниками листових патогенів, стали початком створення нових сортів Деміро 100 та Миронівська 100. Аналогічний підхід був використаний під час створення сортів Миронівська колосиста, Миронівська василькова, Миронівська зерниста, Миронівська нива. Добір нових генотипів здійснювали за ознакою (продуктивність колоса), яка значною мірою модифікується під дією умов зовнішнього середовища (Кириленко, 2014).

Упродовж 2018–2022 рр. у лабораторії селекції озимої пшениці ведеться розробка нового сучасного методу польової мультиспектральної діагностики сортів та перспективних ліній пшениці озимої. Шляхом отримання високороздільних спектральних даних у вигляді NDVI та інших основних індексів, ведеться додаткова оцінка реакції генотипів на комплексний вплив біотичних та абіотичних чинників протягом селекційного процесу. Даний метод є частиною зарубіжного

напрямку “high throughput phenotyping” для більш ширшої і комплексної оцінки генотипів, в тому числі, що плануються до передачі на Державне сортовипробування.

Із того фінансування, яке виділяється в системі НААН на біотехнологічні дослідження в рослинництві, сьогодні є доступними і найбільш ефективними роботи з використання молекулярних маркерів у селекції. Адже, якщо поглянути на сучасні світові селекційно-генетичні дослідження, то основу їх складають пошуки молекулярних маркерів цінних ознак (Сиволап & Кожухова, 2011). Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ–НЦНС), відділ загальної і молекулярної генетики за рівнем забезпечення устаткуванням, освоєнням сучасних методик, підготовкою фахівців може ефективно виконувати такого напрямку дослідження. У цьому відділі, спільно із науковцями установи, здійснено ряд досліджень з маркування генів типу розвитку – *Vrn*, потреби в яровизації – *Vrd*, фотоперіодичної чутливості – *Ppd*, стійкості до хвороб та інших важливих генетичних систем у пшениці м'якої і твердої озимої, ячменю, кукурудзи та інших культур.

Також у СГІ–НЦНС ведеться робота, яка виконується у відділі селекції і насінництва пшениці з вивчення селекційної цінності пшенично-житніх транслокацій 1AL/1RS, 1BL/1RS та інших чужорідних включень у геном пшениці (Литвиненко & Топал, 2013) Із застосуванням методу культури пиляків для індукції подвоєних гаплоїдів (лабораторія культури тканин) та ідентифікації транслокацій з допомогою молекулярних маркерів (відділ загальної і молекулярної генетики) удосконалено технологію селекційного процесу в напрямі скорочення терміну створення нових сортів на 4–5 років та підвищення ефективності селекційної роботи з генотипами, які несуть чужорідні включення, на 20–30 %. За цією технологією уже створено і передано на Державне сортовипробування чотири сорти пшениці м'якої озимої універсального типу: Житниця одеська, Дума одеська, Октава одеська, Ліга одеська – з високим рівнем урожайності (8,6–10,4 т/га), цінні і сильні за якістю зерна і з добре вираженими ознаками стійкості до біотичних та абіотичних факторів. Використання біотехнологічних методів і молекулярних

маркерів у селекції сільськогосподарських культур найбільш доцільно в тих випадках, коли виникає необхідність швидкого залучення в генофонд селекційного матеріалу нових генів чи генетичних систем. Слід застерегти, що застосування молекулярних маркерів ні в якому разі не замінює традиційних методів селекції, а тільки доповнює селекційний процес наукоємними методами контролю генотипів за певними ознаками. Через досить високу вартість молекулярно-генетичні методи неможливо впроваджувати в увесь великий об'єм селекційного матеріалу. Тому не слід допускати некомпетентних заяв, що молекулярні методи здатні в сотні разів скоротити об'єми селекційної роботи і одночасно підвищити її ефективність (Литвиненко, 2016).

В інституті фізіології рослин і генетики НАН України проводяться дослідження з генетичного поліпшення пшениці в поєднанні класичних методів селекції (гібридизація, експериментальний мутагенез) із новітніми молекулярно-генетичними методами, клітинною біотехнологією, генетичною інженерією, маркерною селекцією. Розроблено і впроваджено в селекційний процес методи паспортизації сортів та ідентифікації: пшенично-житніх транслокацій і низки генів стійкості до біотичних та абіотичних стресів; алеля *Glu-B1a1*, який чинить сильний позитивний вплив на якість борошна; високоамілозної та ваксі пшениць зі зміненим, більш дієтичним складом крохмалю; перенесеного з *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* гена *Gpc-B1*, відповідального за підвищений вміст білка, мікроелементів Zn, Mn, Fe; проводиться робота щодо поліпшення деяких інших ознак якості зерна (Моргун та ін., 2015; Моргун, Чугункова & Рибалка, 2013).

В Інституті фізіології рослин і генетики НАН України вперше розроблено ефективну біотехнологію прискореного отримання нових форм пшениці з підвищеною стійкістю до офіобольозної кореневої гнилі й водного дефіциту, створено рослини, стійкі до комплексу стресових чинників (Дубровна, Моргун & Бавол, 2014). Розроблено біотехнологічні прийоми для отримання рослин м'якої пшениці в культурі апікальних меристем пагонів, що у 2–3 рази збільшує коефіцієнт розмноження і скорочує час виведення цінних форм (Зінченко, Дубровна & Бавол, 2012). У стійких до водного дефіциту рослин-регенерантів

пшениці на хромосомах 3A й 3B виявлено специфічні алелі гена *Dreb1*, що дає змогу диференціювати стійкі та нестійкі форми (Бавол, Дубровна & Моргун, 2014). Експериментально обґрунтовано можливість отримання методом селекції *in vitro* рослин цієї культури, стійких до комплексу стресових чинників, що вдосконалює біотехнологічні прийоми розширення генетичного потенціалу пшениці.

Нині одним із перспективних напрямів, які дають можливість підвищити ефективність створення нових форм пшениці, є використання методів клітинної селекції. При цьому селекцію *in vitro* проводять на такі ознаки, які можуть виявлятися на клітинному рівні, зокрема, на збільшену експресію певних генів, що є головними перемикачами метаболічних шляхів, які забезпечують толерантність до стресових чинників. Виходячи з визначення адаптаційних властивостей рослин, як генетично детермінованого процесу формування систем стійкості організму, що виявляється на різних структурних рівнях, його вдосконалення можливе в умовах *in vitro*. У творчій співпраці з науковцями Національної академії аграрних наук України створено високопродуктивні сорти озимої пшениці Смоглянка, Золотоколоса, Подолянка, Фаворитка, Богдана та інші, які висівають на площі 1,7 млн га, а також вихідний селекційний матеріал за переліченими вище ознаками (Моргун, Дубровна & Моргун, 2016).

### 1.3 Сучасні методи селекції пшениці озимої

На думку експертів консорціуму, уповільнення темпів зростання врожайності пшениці пов'язане з вичерпанням можливостей її підвищення за рахунок факторів, що забезпечили ривок збільшення продуктивності пшениці в результаті «зеленої революції». Її досягнення базуються на поліпшенні розподілу біомаси рослини на користь більшого колоса і підвищення відносної частки зерна у масі надземної частини внаслідок укорочення стебла, а також зростання площі листків, що дає можливість формувати посіви з високими параметрами поглинання сонячної радіації (Reynolds et al., 2012). Однак, показник листового індексу посівів у сучасних сортів уже досягли гранично можливих значень, перевищення яких

негативно впливає на продуктивність. Тому в широкому колі дослідників сформувався консенсус згідно з яким одним із найбільш значущих чинників подальшого підвищення потенціалу продуктивності пшениці та інших зернових культур є збільшення активності фотосинтезу та ефективності використання світлової енергії рослинами (Reynolds et al., 2012; Evans & Lawson, 2020; Furbank et al., 2020). Стратегії поліпшення врожайності активізацією фотосинтетичного апарату на рівнях від супрамолекулярного до ценотичного широко дискутуються у світовій і вітчизняній літературі (Morgun & Pryadkina, 2014; Zhu, 2010; Carmo-Silva et al., 2015; Ort et al., 2015; Simkin, Lopez-Calcano & Raines, 2019; Paul, Watson & Griffiths, 2020). Серед найперспективніших підходів виділяють: підвищення активності рибулозо- 1,5-бісфосфаткарбоксилази/оксигенази (Рубіско) внаслідок зростання вмісту ферменту в листку і поліпшення його кінетичних параметрів, збільшення швидкості регенерації рибуло-зобісфосфату (РБФ) у циклі Кальвіна, трансформацію С-шляху асиміляції CO<sub>2</sub>, в С<sub>4</sub> підвищення інтенсивності фотосинтезу внаслідок оптимізації донорно-акцепторних відносин, збільшення ефективності поглинання світлової енергії посівом і перетворення її на біомасу. Важливо зазначити, що стратегія подальших успіхів у селекції пшениці на продуктивність, що її розробляє консорціум, розглядає активізацію фотосинтезу в комплексі зі змінами процесів росту і розвитку рослини і наголошує на необхідності поглиблення існуючих уявлень про їх взаємозв'язки та інтегрованість у продукційному процесі (Paul, Watson & Griffiths, 2020; Reynolds et al., 2011).

Вагомим внеском у розвиток теорії взаємозв'язку фотосинтезу продукційного процесу сільськогосподарських культур, зокрема пшениці, є роботи, проведені в Інституті фізіології рослин і генетики (ФРiГ) НАН України. Відмінною рисою цих досліджень є системний підхід, основи якого були закладені в працях А. С. Оканенка і розвинені Б. І. Гуляєвим (Гуляєв, Ілящук & Мітрофанов, 1983; Гуляєв та ін., 1989). При цьому фотосинтетичну функцію вивчають як складову продукційного процесу рослин у тісному взаємозв'язку з процесами росту і розвитку, забезпеченістю мінеральним живленням із урахуванням комплексності зв'язків між структурно-функціональними показниками самого фотосинтетичного

апарату на різних рівнях, його організації від субклітинного до агрофітоценозів. Важливість системного підходу при вивченні ролі фотосинтезу у формуванні врожайності рослин зумовлена багатоетапністю фотосинтетичного процесу, різною чутливістю окремих етапів до змін чинників зовнішнього середовища, необхідністю підтримання балансу синтезу асимілятів та їх використання в донорно-акцепторній системі рослини, а також специфічністю регуляторних зв'язків на різних рівнях структурної організації фотосинтетичного апарату.

Клітинна селекція є методом створення нових форм рослин шляхом виділення мутантних клітин і соматоклональних варіантів за селективних умов. Селекція *in vitro* є начебто розвитком мутаційної селекції, проте реалізується на рівні одиничних клітин із застосуванням техніки *in vitro*, що надає їй ширших можливостей. Технології клітинної селекції, що розробляються для основних сільськогосподарських культур, ґрунтуються на наявних загальних механізмах стійкості для ізольованих клітин і цілих рослин (Дубровна & Моргун, 2009). Переваги клітинної селекції над традиційними методами полягають насамперед в: економії місця й можливості працювати з великими вибірками генотипів; більшій швидкості скринінгу селекційного матеріалу; менших матеріальних витратах, можливості контролювати умови зовнішнього середовища. Крім того, генетичні зміни можна посилити створенням нових генетичних комбінацій, їх доборою та передачею регенерантам, а також добитися стійкості до кількох стресових чинників (Волощук, 2006; Дубровна та ін., 2012; Калашникова, 2003; Sigurbjörsson, 1995).

Незважаючи на певні складнощі, нині в багатьох провідних країнах світу клітинна селекція є важливим компонентом селекційної роботи й доповнює класичні методи добору. Здебільшого селекцію *in vitro* застосовують для отримання форм пшениці, стійких до біотичних (патогени, токсини чи їх аналоги) (Волощук & Волощук, 2001; Crino, 1997) та абіотичних (екстремальні температури, водний дефіцит, засолення, токсичні метали, солі важких металів, гербіциди, ультрафіолетове опромінення) стресорів (Ahmed, 1999; Arzani & Mirodjagh, 1999; Vajji, Lutts & Kinet, 2001). На сьогодні практично важливими, проте найскладнішими у здійсненні й досягненні результативності, є біотехнологічні

системи отримання, добору та оцінювання рослин, стійких саме до грибних патогенів (Bruins, 1998). Роботи в цьому напрямі особливо актуальні також з огляду на той факт, що серед усіх хвороб, збудниками яких уражується м'яка пшениця, понад 50 % становлять грибні, чільне місце серед яких посідають кореневі гнилі. Однак для успішного застосування біотехнологічних методів необхідно подолати чимало складнощів, пов'язаних як із недостатністю знань генетики збудника, так і з відсутністю чітких уявлень про фізіологічну основу взаємодії патогена й рослини-господаря та роль метаболітів, які виділяються ними в контакті. Крім селекції на стійкість до збудників грибних хвороб проводиться клітинна селекція і на стійкість до збудників бактеріальних хвороб. Зокрема, в культурі незрілих зародків, із використанням сирінгоміцину (неспецифічний токсин), отримано п'ять ліній пшениці з підвищеною стійкістю до *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* (Pauly, Shane & Gengenbach, 1987). І хоча ці рослини за стійкістю неістотно відрізнялися від контрольних, результати дослідів переконливо свідчать про перспективність такого підходу. Клітинну селекцію *in vitro* використовують також і для створення форм пшениці, стійких до шкідників. Дослідники застосували екстракт отрути, яку вводить у рослини російська попелиця (*Diuraphis noxia*) як селективний чинник для отримання стійких форм. Із калюсних культур надчутливого сорту Стефенс отримано соматональні варіанти, стійкі до попелиці як у насінневому поколінні Rz, так і R. Крім того, вони були стійкими до скручування та хлорозу листків (Zemetra et al., 1993). Разом із отриманням нових форм пшениці, стійких до біотичних стресорів, значні зусилля біотехнологів спрямовані також на створення генотипів, толерантних і до абіотичних стресових чинників.

Завдання створення рослин, толерантних одночасно до кількох стресових чинників, стає дедалі актуальнішим у зв'язку з глобальними змінами клімату. Дослідження природи адаптивних реакцій рослин до дії різних стресів свідчить про існування як специфічних, так і загальних механізмів розвитку стійкості. Під впливом загальних неспецифічних механізмів створення стійкості в рослинах, резистентних до одного несприятливого чинника, може підвищуватись стійкість і до інших. Відібрані рослини здатні виявляти стійкість до двох і більшої кількості

типів стресу, іноді навіть не подібних за фізико-хімічною природою та мішенями дії. З використанням добору *in vitro* експериментально підтверджено можливість отримання рослин, стійких до кількох стресових чинників (Vij & Tyagi, 2007). Це розкриває перспективи для подальшого вдосконалення біотехнології виведення нових форм із комплексною стійкістю до стресів. Успіхи селекції на стійкість пшениці до комплексу стресових чинників нині поодинокі, оскільки толерантність контролюється багатьма генами, а їх одночасний добір – складне завдання. Встановлено закономірності формування крос-адаптації до осмотичного стресу м'якої пшениці за дії солей свинцю, кадмію та міді в широкому діапазоні концентрацій. З'ясувалось, що крос-адаптація формується під впливом додаткового стресового чинника під час адаптації рослини за умови ще не виснаженого адаптаційного потенціалу захисних систем, що беруть участь у цьому процесі.

Найважливішим завданням генетиків, біотехнологів і селекціонерів була й залишається ідентифікація ефективності генів, які детермінують ознаки стійкості рослин до стресових чинників середовища. У провідних біотехнологічних центрах світу широко розгорнулись роботи зі створення нових форм сільськогосподарських рослин методами генетичної інженерії, оскільки розробки методів культури тканин, у поєднанні з генетичною трансформацією, пропонують значно ширшу сферу для поліпшення толерантності злаків до стресів. Генетична інженерія рослин – це технологія створення генетично модифікованих форм шляхом перенесення функціонально активних генетичних структур (рекомбінантних ДНК), сконструйованих *in vitro*, в ДНК організмі, що модифікується. При цьому рекомбінантні ДНК стають складовою частиною генетичного апарату реципієнтного організму і надають йому нових унікальних генетичних, біохімічних, а потім і фізіологічних властивостей. Генетичну модифікацію рослин можна здійснювати за допомогою спеціальних векторів або прямим перенесенням генів. Найпоширенішим методом для рослин є генетична трансформація з використанням бактерії *Agrobacterium* як біологічного вектора для передачі екзогенних Т-ДНК в рослинну клітину. Генетично модифіковані (ГМ)

сільськогосподарські культури поступово завойовують світ. Річний оборот світової біоіндустрії нині перевищує 160 млрд дол. США. За інформацією International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA), з 1996 р. і до кінця 2014 р. загальна площа посівів ГМ-культур зросла більш як у 89 разів і нині становить близько 185,3 млн га – 12 % усіх посівних площ світу. На сьогодні ГМ-культури вирощують у 32 країнах. У цілому біотехнологічні культури дозволені для виробничого використання в 59 країнах, де проживає 75 % населення Землі. Лідером за цим показником є США (близько 69 млн га), а за темпами приросту площ, відданих під ГМ-культури, разом зі США й Канадою передові позиції займають Бразилія й Аргентина. Швидко збільшуються площі під ГМ-культурами в азійських країнах (Китай, Індія), на Африканському континенті (Південна Африка, Буркіна-Фасо, Єгипет). На цьому фоні досить слабкою видається Європа, де трансгенні культури вирощують лише в Іспанії, Португалії, Чехії, Румунії та Словаччині. В цих країнах ГМ-ріпаком і кукурудзою засівають усього 129 тис. га угідь. Прибуток від вирощування ГМ-культур у світі за 1996–2005 рр. досягнув ~27 млрд дол. США. За опублікованими в засобах масової інформації даними, за період 1996–2008 рр. у країнах, які виробляють ГМ-культури, прибуток від рослинництва зріс на 51,9 млрд дол. США, приріст урожаю сягнув 167 млн т за рахунок підвищення врожайності. З'явилася біотехнологічна можливість створювати сорти з необхідними харчовими якостями (підвищений вміст білка, крохмалю, вітамінів, знижений вміст клітковини та ін.) та посиленими агроекологічними властивостями (стійкість до пестицидів, посухи, заморозків, шкідників і збудників хвороб, підвищена засвоюваність мінеральних добрив та ін.), внаслідок чого знижується собівартість продукції. Підраховано, що застосування ГМ-технологій дало змогу скоротити використання гербіцидів на 8,8 % і тим самим запобігти внесенню 393 млн т пестицидів та ослабити вплив на навколишнє середовище на 20 %, порівняно з тими, які, ймовірно, були б досягнуті в разі засівання всіх площ тільки традиційними сортами рослин. Стійкі до гербіцидів культури уможливають використання мінімального і нульового обробітку ґрунту, що знижує його ерозію. Поліпшилась якість продуктів харчування, виготовлених із культур, стійких до

пошкодження комахами. Наприклад, у кукурудзі не виявлено пестицидів і мікотоксину, що викликає рак. У виробництво щорічно вводяться нові ГМ-рослини. Так, із 2010 р. у США й Канаді вирощують кукурудзу Smart Stax з 8 впровадженими генами, що визначають 3 нові корисні ознаки (Naqvi et al., 2010), в ЄС – сорт картоплі Амфлора зі збільшеним вмістом крохмалю. З 2012 р. на Філіппінах, в Індії, Індонезії, Малайзії та В'єтнамі почали вирощувати стійкий до пірикуляріозу «золотий рис»; в 2012–2013 рр. у Китаї впроваджені ГМ рис і збагачена ферментом фітазою кукурудза. З 2012 р. у США вперше почали культивувати трансгенну кукурудзу, стійку до посухи, із 2017 р. очікується вирощування посухостійкої кукурудзи в субпустелях Африки. Першу генерацію трансгенних культур було створено для підвищення їх стійкості до вірусних інфекцій, гербіцидів і комах (Vain, 2007), другу – сформовано до 2005 р., вона продовжує активно розвиватися. При її створенні враховувалися такі вимоги: 1) стійкість до абіотичних стресорів – посухи, засолення, забруднення ґрунту важкими металами, низьких і високих температур; 2) стійкість до бактеріальних і грибних хвороб; 3) стійкість до гербіцидів; 4) поліпшення смакових та ароматичних властивостей продуктів харчування; 5) підвищення поживної цінності продуктів (білки, жири, вітаміни, мінерали); 6) можливість тривалого зберігання фруктів і овочів; 7) усунення алергенів; 8) використання трансгенних рослин для біофармацевтики – виробництва вакцин, терапевтичних білків людини, фармацевтичних препаратів; 9) можливість застосування модифікованих культур для фітореMediaції (Naqvi et al., 2010). Протягом останніх років у біотехнології рослин дослідники застосовують техніку генетичної трансформації пластид як альтернативу звичайній технології трансформації ядерної ДНК (Koop et al., 2007; Wang, Yin & Hu, 2009). Серед екологічних проблем, порушених при створенні генно-інженерних організмів, є та, що трансгени можуть передаватися («трансгенний потік», процес руху трансгенів при повторній гібридизації) через пилок у споріднені види, які зростають у природному середовищі чи агроценозах. Оскільки пластиди успадковуються по материнській лінії в більшості покритонасінних видів, вставка трансгенів у геном пластид має запобігати потоку

генів через пилок. Отже, гени, вбудовані в пластом, не передаватимуться через запилення до диких родичів трансгенних рослин. Оскільки пластиди передаються в основному через «материнське успадкування» як ідентичні копії, материнська рослина передаватиме їх усьому насінню, яке утворюється і не змінюється від покоління до покоління, що важливо для стабільної передачі чужорідної ДНК. Транспластомна технологія також може бути корисною для фіторемедіації й підвищення стійкості до стресових чинників таких як: хвороби і шкідники, посуха, засолення, заморозки, що можуть серйозно загальмувати ріст і розвиток рослин (Roudsari et al., 2009).

Іншим методом оцінки та розуміння білків пшениці є тандемна мас-спектрометрія (MS/MS). Altenbach, Vensel і Dupont (2010) використовували цей підхід, коли більш досконалі генетичні методи не змогли створити послідовності для всіх цікавих білків. Пептиди с-гліадинів були ідентифіковані за допомогою MS/MS, зокрема, унікальні пептиди раніше не були охарактеризовані. Мета дослідження мала повністю зрозуміти знайдені гени с-гліадину в окремому сорті пшениці, для якого MS/MS було доведено корисним. В інших роботах Dupont, Vensel, Tanaka, Hurkman і Altenbach (2011) використовувався 2D електрофорез із подальшим розщепленням протеазою та MS/MS для секвенування та охарактеризування білків конкретного сорту пшениці. У цьому досліді досліджувалися субдиниці глютеніну HMW і LMW а також гліадини, що представляють більш повну картину складу білків пшениці в глютені (Altenbach, Vensel & Dupont, 2010).

У 1990-х рр., коли SDS-PAGE набрав популярності, зв'язок із якістю пшениці, моноклональні антитіла також використовували для оцінки міцності тіста як на твердій (тетраплоїдній), так і на м'якій (гексаплоїдній) пшениці. Метою цього дослідження у твердих пшеницях був пошук ранніх гібридних поколінь із бажаними с-гліадинами і низькомолекулярними глютенінами (Clarke et al., 1998). Метою використання антитіл у гексаплоїдній пшениці був пошук великої кількості зразків за один раз для HMW глютеніну (Andrews, Blundell & Skerritt, 1993). Також, використовували антитіла в обох дослідженнях технології імуоферментного

аналізу (ІФА). Скринінг за допомогою ІФА виявився ефективним як спосіб оцінки селекційних ліній раннього покоління із «сильнішим» с-гліадином 45 (Clarke et al., 1998). Крім того, метод ELISA був високопродуктивним для оцінки пружності тіста (Andrews, Blundell & Skerritt, 1993).

У 1977 р. було опубліковано результати двох досліджень щодо нових методів секвенування ДНК, одне з яких витримало випробування часом і стало найпоширенішим методом секвенування з часів «Sanger» секвенування (Maxam & Gilbert, 1977). Метод секвенування Сангера використовує здатність 20, 30-дідезоксиди та арабінонуклеозидних аналогів дезоксинуклеозидтрифосфатів обривати ланцюг у співвідношенні приблизно 1:50, відповідно. Іншими компонентами реакції секвенування є ДНК-полімераза, дезоксинуклеозидтрифосфати, праймер ДНК і одноланцюгова матриця ДНК (Sanger, Nicklen & Coulson, 1977). Продукти реакції пропускають на акриламідний гель і виводять послідовність нуклеотидів, що відповідає матриці ДНК. Ця техніка та концепція використовувалися протягом останніх 40 років як стандарт, навколо якого будували інші технології секвенування та маркерів.

Загалом, нові методи секвенування та молекулярних маркерів застосовують до диплоїдних рослин або рослин із простішим геномом. Як правило, є затримка в часі, перш ніж ці методи будуть використані на пшениці. Коли нова технологія вперше представлена на пшениці, зазвичай використовується для стійкості до патогенів, стійкості до біотичних і абіотичних стресів, урожайності та інших агрономічних ознак. Якість пшениці історично була останньою, яка використовувала нові технології для селекції. Цей графік зрозумілий, враховуючи безпосередні економічні вигоди від підвищення врожайності та кращих агрономічних характеристик. «Селекція на якість пшениці», тобто відбір під час процесу селекції на вищу або більш конкретну якість, може підвищити ефективність використання та переробки, а також може підвищити конкурентоспроможність країни на експортному ринку. Тести якості зазвичай вимагають більшої кількості зерна, тоді як молекулярні маркери можуть ідентифікувати лінії низької якості на ранніх стадіях циклу розведення, таким

чином потенційно заощаджуючи ресурси. На якість певною мірою завжди впливає навколишнє середовище, тому розуміння успадкованості якісних ознак є корисним у програмі розведення. Особливо на тихоокеанському північному заході США якість кінцевого використання має першорядне значення. Пшениця, вирощена на північному заході Тихого океану, значною мірою експортується з ринковими класами, які мають чіткі критерії якості. Значна частина пшениці м'якої, вирощеної на північному заході Тихого океану, надходить до Східної Азії для виробництва продуктів із особливими та вимогливими стандартами якості. Отже, ми зазвичай спостерігаємо проміжок у кілька років між впровадженням техніки селекції та її використанням у якості пшениці. Таким чином, деякі методи, які можна вважати застарілими, використовувалися до недавнього часу або все ще популярні в генетиці якості пшениці. Кілька систем молекулярних маркерів стали популярними в пшениці в аналогічний час і, як правило, базувалися на схожій технології. Поліморфізм довжини рестрикційних фрагментів (RFLP) базується на гібридизації за Саузерном (Southern, 1975), коли ДНК розщеплюється за допомогою специфічних ендонуклеаз рестрикції, розділення фрагментів на гелі, перенесення їх у блот, гібридизація з міченою ДНК, яка гібридизується з гомологічними послідовностями, і спостереження за поліморфізмами після візуалізації на плівці.

Революційним досягненням у маніпуляції з ДНК став винахід полімеразної ланцюгової реакції, ПЛР, Малліса та ін. (1987). Системи маркерів на основі ПЛР включають випадкову ампліфікацію поліморфної ДНК (RAPD), регулюються відповідною ліцензією Creative Commons License Amplified Fragment Length Polimorphism (AFLP) і Simple Sequence Repeat (SSR), також відомими як мікросателіти, і тими технологіями, які використовуються в поєднанні з однонуклеотидними поліморфізмами (SNP) (Langridge et al., 2001). Кожна техніка має унікальні переваги та недоліки. Вважається, що RFLP та SSR є найкращими для виявлення поліморфізму, хоча RFLP складно автоматизувати та займає багато часу. Однак перевага RFLP полягає в тому, що їх можна використовувати для споріднених зернових. SSR, загалом, випередили RFLP, який був найпопулярнішим методом ідентифікації локусів кількісних ознак, QTL, у пшениці

в 1990-х і на початку 2000-х років. У багатьох дослідженнях якості використовували поєднання цих методів на основі цілей дослідження, опорних точок на генетичній карті та наявності технології або маркерів.

Досить повний перелік QTL, виявлених за допомогою RFLP, AFLP, SSR, SNP і DArT (Технологія різноманітних масивів). Два ранніх дослідження якості пшениці, з використанням маркерів, зосереджувалися на ознаках, які також було легко досліджувати за допомогою аналізу білків, детально описаного в першому розділі цього огляду. D'Ovidio, Porceddu та Lafiandra використовували RFLPs та PCR для дослідження HMW глютенінів і перевірили маркери за допомогою SDS-PAGE. Прямого відбору за якістю не було, а була перевірка маркерів. Подібним чином Blanco et al. намагалися ідентифікувати QTL, пов'язані з якістю білка, що вимірюється об'ємом седиментації SDS борошна за допомогою маркерів RFLP (D'Ovidio, Porceddu & Lafiandra, 1994; Blanco et al., 1998). Алелі Glu-1 були виявлені на довгих плечах хромосом групи 1, а також Gli-1 і Gli-2 на 1S і 6S, відповідно. Додаткові QTL були ідентифіковані на хромосомах 1AL, 1BS, 3AS, 3BL, 5AL, 6AL та 7BS. Слід зазначити, що рання робота Ерні Сірса, в якій він розробив набір компенсуючих нулісомічних-тетрасомних ліній у сорті Китайська весна, значно розвинула здатність з'єднувати фізичні та генетичні карти (Langridge et al., 2001) (Sears, 1954). У 1996 р. Sourdille та ін. прагнули вивчити локус на хромосомі 5DS за допомогою RFLP. Для кількісного визначення твердості ядра було використано метод NIR і дослідженнями виявлено, що твердість ядра має бути тісно пов'язана з маркером Xmta9, розташованим на хромосомі 5D. Крім того, на хромосомах 2B, 2D, 4B, 4D і 7D також було помічено текстуру ядра або «еквівалент м'якості» QTL (Sourdille et al., 1996). В одній із перших згадок ознаки якості, яку важко ідентифікувати за допомогою SDS-PAGE або розкушування ядра, врожайність досліджували шляхом помелу пшениці на млині Quadrumat Junior Mill із використанням асоціацій між ознаками маркерів і маркерами AFLP, RFLP і SSR (Parker et al., 1999). Хоча вихід помелу логічно пов'язаний із текстурою ядра, найбільш впливові QTL були виявлені на хромосомах 3A та 7D, що становить 22 % та 19 % варіації виходу помелу, відповідно. Прогрес у технології, що

використовується для вимірювання параметрів якості кінцевого використання, також сприяв генетичному розумінню основних ознак. В'язкість борошна за допомогою швидкого віскоаналізатора (RVA) досліджували Udall, Souza, Anderson, Sorrells і Zemetra у популяції, яка стала популярною для картографування та досліджень якості: Clark's Cream x NY6432-18, рекомбінантна інбредна лінія (Udall et al., 1999). За допомогою RFLP було виявлено QTL для в'язкості борошна на хромосомах 1AS, 2A, 2B, 2DL, 3BL та одному незв'язаному маркері. Цю саму популяцію Clark's Cream x NY6432-18 знову використали Campbell et al. (2001) для вивчення виходу борошна, еквівалента м'якості, параметрів міксографа, діаметра печива та об'єму хліба. Зважаючи на те, що Clark's Cream – це пшениця з твердою консистенцією, а NY6432-18 – пшениця з м'якою консистенцією, дослідження, що вивчають ширший діапазон якості борошна, тіста та кінцевої продукції, були доречними. У цьому дослідженні також використовували RFLP і виявили численні QTL майже для всіх досліджуваних ознак (Campbell et al., 2001). Встановлено, що алель Puroindoline b (Bhave & Morris, 2008) пов'язаний з еквівалентом м'якості, виходом борошна, водопоглинанням тіста, пошкодженням крохмалем, лужною здатністю утримувати воду та діаметром печива. Діаметр печива також був пов'язаний з хромосомою 5D (нібито пуриноїдоліном b) за допомогою RFLP (Nelson et al., 2006). Крім того, виявлено, що глютеніни HMW пов'язані з часом замішування хліба, висотою піку міксографа та толерантністю до замішування тіста. Нельсон та ін. (2006) також спостерігали тісний зв'язок між параметрами міксографа та гліадинами та низькомолекулярними глютенінами. Цю популяцію та RFLPs також використовували для вивчення переваги смаку пшениці, як оцінювали миші (Kiszonas et al., 2017).

Наприкінці 1990-х рр. RFLP почали використовувати в поєднанні з маркерами SSR або повною заміною ними. Важливим етапом RFLP-аналізу є ідентифікація цільової послідовності ДНК за допомогою мічених ДНК-зондів. Незважаючи на те, що були розроблені нерадіоактивні зонди, відмова від використання радіоактивно мічених зондів разом із виснажливим Саузерн-блотінгом і тривалою експозицією плівки швидко перемістили генетичне

картування на SSR та новіші варіації. Manifesto, Feingold, Hopp, Schlatter і Dubcovsky використовували SSR, RFLP та SDS-PAGE для вивчення зв'язків із об'ємом осадження SDS борошна та параметрами міксографа. Це дослідження пов'язувало об'єм осадження SDS борошна з хромосомами 1BS (нібито Gli-B1 і Glu-B3), 1BL і 6AS. Час змішування був тісно пов'язаний лише з хромосомою 1BS (Manifesto et al., 1998). Prasad, M. та ін. виявили вісім помітних і послідовних QTL для вмісту білка в зерні, використовуючи SSR на хромосомах 2AS, 2BL, 2DL, 3DS, 4AL, 6BS, 7AS і 7DS. Коли маркери SSR стали більш популярними, за результатами досліджень почали публікувати велику кількість QTL для багатьох ознак. Деякі з цих QTL узгоджувалися з тим, що вже було опубліковано за допомогою RFLP, але також з'явилися нові QTL (Prasad et al., 2003). Schmidt, A. L., Liu, C., Martin, D., Kelly, A., & McIntyre, L. (2004) опублікували нові QTL для виходу борошна (1B, 4B, 6D), міцності тіста (3A, 3B), часу формування тіста (1B, 2B, 3A), а також загальної бісквітності та якості тіста (4B). Кунерт, Наз, Дедек, Піллен і Леон (2007) також опублікували велику кількість QTL для виходу борошна, числа падіння, вмісту білка в зерні, об'єму осадження Зелені та об'ємові хліба.

З часом дослідження виявляли все більшу кількість QTL для кожної ознаки. Наприклад, Elangovan et al. (2008) визначили вісім QTL лише для об'єму хлібини (Schmidt et al., 2004). Smith, N., та ін. (2011) і Carter, Garland-Campbell, Morris і Kidwell (2012) використовували SSR та комбінацію SSR та SNP, відповідно, щоб додати до постійно зростаючих списків QTL для різних ознак якості (Carter et al., 2012). Маркери DArT також почали набувати популярності для визначення якості пшениці приблизно з 2009 року (Suprayogi et al., 2009), хоча ранні дослідження DArT також використовували SSR (Mergoum et al., 2013). Tsilo, T. J., Hareland, G. A., Chao, S., & Anderson, J. A. та ін. (2011) та Echeverry-Solarte et al. (2015), останній з яких використовував виключно DArTs, додав численні QTL до списку тих, що пов'язані з якістю (Tsilo et al., 2011; Echeverry-Solarte et al., 2015). Ці дослідження були одними з останніх QTL досліджень якості пшениці, які проводили за допомогою технології секвенування першого покоління. У 2012 році секвенування другого покоління почали використовувати для пшениці (Poland et al., 2012).

Секвенування другого покоління зазвичай визначається як численне паралельне секвенування, що виконується в дуже малому масштабі (Heather & Chain, 2016). Декількома прикладами цієї технології є масиви SNP («чіпи»), генотипування шляхом секвенування (GBS) і технологія іонного потоку. Чіп SNP покладається на іммобілізовані зонди, що містять короткі олігонуклеотиди, що мають раніше ідентифікований SNP. Три ітерації чіпів SNP для пшениці включали масиви 9k, 90k і, нещодавно, 660k. Технологія мікросхеми SNP була використана Jin та ін. (2016) для ідентифікації 119 додаткових QTL на 20 хромосомах для якості пшениці та Boehm, Zhang, Cai та Morris (2017d) для визначення меж транслокації 5DS5BS, яка надає м'яку текстуру ядра твердій пшениці, що глибоко вплинуло на кінцеве використання якості (Boehm, Ibba, Kiszonas, & Morris, 2017a,b) (Heather & Chain, 2016; Jin et al., 2016; Boehm et al., 2017d; Boehm et al., 2017a; Boehm et al., 2017b). Вчені Польщі та ін. (2012) вперше запровадили GBS у пшениці, переважно використовуючи технологію агрономічних ознак. Boehm та ін. (2017c, 2018) провели масштабне дослідження якості з використанням GBS із 79 QTL для ознак якості, що охоплюють майже повністю 21 хромосому (Boehm et al., 2017c; Boehm et al., 2018). Kiszonas, Boehm, See, and Morris (2017) використовували GBS для ідентифікації цікавих генетичних регіонів і QTL для переваги смаку в пшениці, виявивши чотири QTL і 51 дуже значущий домінуючий маркер (Kiszonas & Morris, 2016).

Технологія секвенування третього покоління здатна секвенувати окремі молекули (Heather & Chain, 2016). Цей тип секвенування також можна назвати секвенуванням однієї молекули (SMS). Існує кілька типів SMS, одним з яких є одномолекулярна платформа реального часу (SMRT) від Pacific Biosciences (Heather & Chain, 2016). Технологія нанопор також була розроблена з використанням одноланцюгової РНК або ДНК і іноді вважається секвенуванням четвертого покоління, хоча розмежування між третім і четвертим поколіннями на даний момент не повністю досліджено. Ці методи ще не були широко запроваджені для пшениці, і незрозуміло, коли ця технологія буде використана для пшениці, і більш конкретно, для якості пшениці (Heather & Chain, 2016).

Як обговорювалося раніше, фенотиповий відбір селекційного матеріалу пшениці для покращення якості був популярним і використовувався протягом тривалого часу. Генотипна селекція зазвичай дозволяє розвивати селекційні лінії, якщо вони мають прийнятні маркери врожайності, маркери стійкості до хвороб і, можливо, кілька маркерів якості. На нашу думку, ніщо не зможе повністю замінити фенотипування якості кінцевого використання, принаймні на пізніх етапах розвитку лінії та до випуску сорту. За аналогією, ніколи не слід випускати сорт, який має маркери резистентності до патогенів, без фактичного підтвердження резистентності у фенотиповому дослідженні. Подібним чином, сорти ніколи не повинні випускатися виключно на основі «хороших» маркерів якості без виконання фізичних тестів якості. Численні приклади фенотипової селекції рясніють, але особливо помітні два. У 1999 р. Еймс, Кларк, Марчіло, Декстер і Вудс намагалися зрозуміти генотип і вплив навколишнього середовища на міцність клейковини твердих виробів і як це вплинуло на в'язкопружність макаронних виробів. Було показано, що на індекс клейковини, об'єм осадження борошна в SDS і в'язкопружність клейковини в першу чергу впливають генетика, а менше – фактори навколишнього середовища. Особливо при вивченні білків пшениці важливо розуміти не лише генетику бажаної ознаки, але й вплив навколишнього середовища, інакше вибір маркера не обов'язково покращить відповідну ознаку (Ames et al., 1999). Gluto-Peak (Sissons, 2016) є ще одним прикладом використання фенотипового відбору лише для подальшого відбору. Тести на якість білка з використанням невеликих кількостей борошна (10 г) були популярними серед селекціонерів для селекції раннього покоління з аналізом цих різних методів (Sissons, 2016). Ці тести залишаються основними, незважаючи на прогрес у генетичних технологіях. Кілька досліджень були направлені на вивчення генетичних переваг, досягнутих в якості зерна упродовж тривалого періоду часу. Кокс, Шогрен, Сірс, Мартін і Болт (1989) провели оцінку сортів твердої червонозерної озимої пшениці з 1988 по 1919 рік і виявили, що загалом водопоглинання тіста, час замішування, об'єм батона, показник зернистості м'якушки та загальна якість випікання зросли протягом цього періоду часу. Не

було виявлено жодних покращень у виході борошна, а результати щодо білка борошна було змішаними. Ці зміни представляють генетичний прибуток з часом, враховуючи, що всі сорти вирощувалися в одному середовищі для дослідження. Через велику кількість досліджених сортів (загалом 40) майже неможливо розібрати, які генетичні переваги були отримані завдяки навмисному відбору для покращення якості, а які були артефактами селекції на врожайність та адаптивність (Сох et al., 1989). Інше дослідження було проведено для вивчення історичних змін твердої червонозерної озимої пшениці, зокрема в Небрасці (Fufa et al., 2005). Було досліджено тридцять сортів, датованих випусками в 1874 і 2000 рр. Генетичний приріст був очевидним у підвищенні виходу борошна та в загальному підвищенні толерантності до змішування. У сучасних сортах виявлено більшу мінливість у своїй толерантності до змішування та міцності глютену, але в цілому вони були сильнішими, незважаючи на зниження вмісту білка з часом. Генетичний приріст, досягнутий для виходу борошна та покращеного замісу тіста, був навмисним у сучасну епоху (Fufa et al., 2005). Також було досліджено генетичний приріст сибірської пшениці між 1900 і 2010 роками (Morgunov et al., 2013). Виявилось, що сибірські сорти мають змішані генетичні переваги щодо якості. Вимірювання міцності тіста за допомогою альвеографа та фарінографа з часом покращилося, але об'єм батона був більш мінливим. Хоча вміст білка знизився, стійкість тіста покращилася. Таким чином, генетичні переваги були більше варіабельними, ніж послідовними (Morgunov et al., 2013). Ці дослідження, які демонструють генетичний приріст, нібито отриманий шляхом прямого чи непрямого фенотипового відбору, засвідчують, що покращення якості було в центрі уваги протягом багатьох років і в багатьох програмах селекції. Звичайно, врожайність завжди була і буде основною рушійною силою генетичного потенціалу, але також було зроблено великий відбір щодо якості, зокрема за допомогою фенотипу та основної хімії та реології зернових.

Оскільки селекціонери пшениці прагнуть виявити та запровадити нові джерела стійкості до біотичної та абіотичної резистентності (Муїєєб-Казі et al., 2013), використання чужорідних видів і синтетичних гексаплоїдів стане

проблемою для хіміків, які займаються зерновими (Mujeeb-Kazi et al., 2013). Наприклад, використання жита, як джерела стійкості до хвороб, є постійною проблемою для якості пшениці. Багато комерційних сортів мають транслокацію жита, в якій гени 1RS замінюють коротке плече хромосом 1AL, 1BL або 1DL. Найбільш поширеною є транслокація 1BL/1RS. Гени жита 1RS передають у пшеницю ознаку стійкості до патогенів і комах. Також 1RS можуть надавати переваги врожайності. На жаль, 1RS негативно впливає на якість пшениці у вигляді слабшої клейковини та меншої стійкості до перемішування тіста (Graybosch, 2000). Прості, ефективні та високопродуктивні методи виявлення цієї транслокації були необхідні для подальшого розуміння якості пшениці та селекції. Електрофорез у гелі є одним із способів розділення секалінів (що вказує на транслокацію жита), гліадинів і глютенінів. Ефективними є різні типи електрофорезу, кожен з яких має певну функцію для визначення наявності та рівня транслокації. ВЕРХ та ELISA також здатні виявити секаліни, пов'язані з транслокацією (Berzonsky & Francki, 1999). Молекулярну характеристику можна виконати за допомогою специфічних для жита генетичних зондів, RFLP та PCR. Ці технології є найефективнішим способом виявлення транслокацій жита. Існує також кілька цитогенетичних методів виявлення та характеристики генів 1RS.

Технологія конкурентної алель-специфічної ПЛР (KASP) виявляє SNP та інсерції/делеції. Ця технологія полегшує використання маркерів SNP у MAS і була підтверджена за допомогою технології чіпів SNP і маркерів KASP для численних ознак якості (Jin et al., 2016). Крім того, було підтверджено 70 маркерів KASP для генів, що представляють особливий економічний інтерес на більш, ніж 300 сортах та зразках пшениці. Параметри якості кінцевого використання включали структуру ядра, параметри міксографа, жовтий пігмент і поліфенолоксидазу. Хоча кілька маркерів KASP були успішними, в порівнянні з фенотипами та маркерами STS, необхідно провести подальшу роботу (Rasheed et al., 2016).

Наступною хвилею методів селекції стала геномна селекція. Цей тип відбору може бути ефективнішим, ніж фенотиповий відбір і MAS. Геномна селекція використовує маркери по всьому геному, на відміну від вибору окремих маркерів

для MAS. Геномний відбір використовує навчальну популяцію, яка генотипується та фенотипується для побудови моделі відбору. Після розробки відповідної моделі її можна застосувати до тестової популяції для відбору (Huang et al., 2016). У міру того, як до досліджуваної популяції додається більше зразків і уточнюється модель, точність і потужність прогнозу для тестової популяції збільшуються для даної ознаки. Ця методика була виділена в дослідженні геномного відбору, зосередженому на якості кінцевого використання. У моделі відбору використовували 3075 SNP для досліджуваної популяції з 5520 зразків. Було оцінено як перехресну перевірку, так і прогнозування надалі, з перевагами та недоліками кожного. Ці дослідження проводилися упродовж шести років, при цьому розмір популяції збільшувався щороку. Точність передбачення зростала зі збільшенням кількості досліджуваного матеріалу. Таким чином, модель вдосконалювалася з часом (Battenfield et al., 2016).

Біотехнологія, як і всі генетичні методи, розвивалася протягом багатьох років. Трансгенна пшениця вперше була досліджена в CIMMYT (Pellegrineschi et al., 1999). Трансгенні рослини пшениці показали високий рівень стійкості до грибкового патогену *Alternaria tritricina*. Дослідження трансгенної пшениці тривають з кінця 1990-х років, але на даний момент комерційно доступної генетично модифікованої пшениці немає. Також використовувалися нуклеази цинкового пальця (ZFN) і ефекторні нуклеази, подібні до активатора транскрипції (TALEN) (Heather & Chain, 2016). Новітня технологія редагування генів – це «кластеризовані, регулярно розташовані між собою короткі паліндромні повтори та асоційований білок 9» (CRISPR-Cas9). Існує кілька конкретних способів досягнення тих самих цілей, але в першу чергу цільові дволанцюгові розриви ДНК вводяться за допомогою сконструйованої нуклеази. Ці дволанцюгові розриви викликають репарацію клітинної ДНК. Хоча ZFN і TALEN теоретично можуть виконувати ті самі інженерні досягнення, що й CRISPR-Cas9, вони дорожчі та складніші (Bortesi & Fischer, 2015).

Можливості CRISPR-Cas9 все ще реалізуються, оскільки дослідники продовжують більше розуміти його можливості генної інженерії. Пшениця, як

правило, складна для технології корегування генів, однак Zhang et al. (2016) розробили новий метод використання CRISPR-Cas9, який використовує тимчасову експресію. Цей метод був дуже успішним з кількома різними цільовими генами та без виявлення трансгенів. Цей метод показує захоплюючі перспективи для майбутнього корегування генів у пшениці (Zhang et al., 2016). Крім того, Zong et al. (2017) використовували підхід протоспейсера з нікейсом Cas9-D10A для створення однієї основи. Це дослідження показало високий рівень ефективності корегування. Ці дослідження засвідчують, що розширені протоколи з CRISPR-Cas9 можуть бути навіть більш ефективними та ціленаправленими. Існує багато методів для корегування генів у сфері якості пшениці. Гени, які особливо шкідливі для якості пшениці, такі як поліфенолоксидаза, яка призводить до зміни кольору, можуть бути видалені з насіння. GBSS II і фермент розгалуження крохмалю (SBE IIa), які контролюють виробництво амілози (зменшуючи або збільшуючи, відповідно), можна змінювати для харчових продуктів, що потребує різних композицій крохмалю. Робота з цими генами є нескладною, оскільки вони вже добре відомі та проявляють мутації для деяких із цих ознак, які наразі існують у зародковій плазмі. Більш складними були ознаки, такі як реологія тіста та продуктивність випічки, оскільки ці ознаки контролюються численними генами, і найпростіша форма виділення, швидше за все, буде недостатньою. Таким чином, нам потрібно вдосконалити наше розуміння складних генних систем, залучених до якості пшениці, щоб ми могли повною мірою використовувати найновіші, найбільш інноваційні технології (Zong et al., 2017).

Один важливий урок із наведених тут досліджень полягає в тому, що ми, як спільнота, що займається селекцією пшениці, зібрали численні маркери та QTL, але дуже мало з них використовуються для покращення пшениці. Бернардо (2008) сказав наступне про генетичне картографування: «...за останні 20 років ми навчилися регулярно картографувати QTL. Навпаки, використання QTL, які були нанесені на карту, не проводилося регулярно... переважна більшість сприятливих алелів у цих ідентифікованих QTL знаходяться в журналах на полицях бібліотек, а не в сортах, які були вдосконалені шляхом інтрогресії або селекції цих сприятливих

алелей QTL». Технологія продовжує розвиватися; Чіпи SNP і дослідження генотипування шляхом секвенування, безумовно, менш трудомісткі, ніж використання незліченних гелів. Однак у шаленій швидкості розвитку генетичних технологій спільнота, яка займається вдосконаленням пшениці, не спромоглася застосувати переважну більшість QTL і маркерів для покращення якості кінцевого використання. Зібрано сотні QTL для ознак якості, але дуже мало було реалізовано як маркери, які регулярно використовуються для MAS. Це MAS, де «резина зустрічається з дорогою», так би мовити. Збирати незліченну кількість QTL є безглуздом, якщо ми не зробимо наступний крок і не розробимо та не використаємо маркери для покращення якості та консистенції пшениці. Настав час припинити збирати QTL і почати використовувати все, що ми навчилися, щоб розробити стабільні, надійні маркери, які можна використовувати для охоплення повного генетичного потенціалу пшениці та якості кінцевого використання (Bernardo, 2008).

### **Висновки до розділу 1.**

1. Пшениці озима є одною з ключових сільськогосподарських культур в Україні та світі. Одним із основних завдань, яке стоїть перед селекціонерами є створення не лише високопродуктивних сортів, а й тих, що мають високі показники якості зерна.

2. Серед основних українських установ, що займаються селекцією пшениці озимої на сьогоднішній день можна виділити: Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Селекційно-генетичний інститут-Національний центр насіннезнавства та сортовивчення НААН України, Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН», Інститут зрошуваного землеробства НААН, Білоцерківська дослідна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва, Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В. М.

Ремесла, Приватне сільськогосподарське селекційно-дослідне підприємство «БОР», ТОВ Всеукраїнський науковий інститут селекції.

3. У селекційних центрах України неабиякого значення набуває розвиток молекулярно-генетичних методів, клітинної біотехнології, генетичної інженерії, маркерної селекції. Все це, в поєднанні з вже традиційними методами селекції (гібридизація, експериментальний мутагенез) спрямовано на генетичне поліпшення пшениці озимої. Розроблено і впроваджено в селекційний процес методи паспортизації сортів та ідентифікації: пшенично-житніх транслокацій і низки генів стійкості до біотичних та абіотичних стресів.

4. Наведені результати досліджень науковців з інших країн світу, які у своїй селекційній роботі використовують сучасні методи селекції, що прикорює створення нових конкурентоспроможних сортів і гібридів сільськогосподарських культур.

## РОЗДІЛ 2

### ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Ґрунтові умови місця проведення досліджень

Рельєф місцевості – широкохвилясте підвищене Територія інституту розташована в південно-східній частині Київської області на водорозділі річок Дніпро, Рось і Росава, що відповідає  $49^{\circ}40'$  північної широти та  $31^{\circ}$  східної довготи з висотою над рівнем моря – 151 м (Гупало, 1950).

Плато, так званий Дніпровсько-Канівський язик, розділений з півдня на північний схід і північний захід глибокими балками в межиріччі річок Рось-Росава. Мікрорельєф території – неглибокі западини блюдцеподібної або видовженої форми площею 0,2–1,0 га. Ґрунтові води залягають на глибині 50–60 м (Власенко та ін., 2012).

Ґрунтоутворююча порода – карбонатний світлопалевий лес, легкосуглинистого механічного складу. Ґрунтовий покрив представлений потужними малогумусними крупнопилуватосуглинковими та піщаносуглинковими слабко- і середньовилугуватими чорноземами.

Структура ґрунту добра, питома вага твердої фракції становить 2,62–2,71 г/см<sup>3</sup>. Об'ємна вага ґрунту за профілем не перевищує 1,29 г/см<sup>3</sup>; майже таку щільність (1,27 г/см<sup>3</sup>) має орний шар ґрунту. Відносно легкий механічний склад ґрунту сприяє доброму його обробітку, водопроникності, хорошему повітряному і тепловому режимам. Однак такі ґрунти здатні запливати, особливо під час сильних опадів, на поверхні утворюється кірка. Вони багаті на зольні елементи і мають слабокислу, близьку до нейтральної, реакцію ґрунтового розчину, що сприяє вирощуванню пшениці (Ремесло, 1976).

Гідролітична кислотність – 1,7–2,2 мг-екв./100 г ґрунту,  $pH_{(KCL)}$  – 5,4–6,0; максимальна гігроскопічність – 6,05 Карбонатний шар залягає на глибині 45–65 см Потужність гумусового горизонту – 38–40 см Вміст гумусу в 0–20-сантиметровому

шарі ґрунту – 3,7–4,0 %, легкогідролізованого азоту – 12 (11,6–13,0), рухомого фосфору – 23 (21–25) і обмінного калію – 11 (10–16) мг на 100 г ґрунту (Шевченко, Кривда & Демиденко, 2005 ).

## 2.2 Погодньо-кліматичні умови місця проведення досліджень

У природних умовах ріст і розвиток рослин залежать від комплексу зовнішніх факторів: ґрунту, поживних речовин, світла, вологи, тепла тощо. Сприятливе поєднання цих факторів посилює ростові процеси, а в разі їх нестачі або надлишку відмічається послаблення розвитку рослин (Каревіна, Костирко & Олійник, 2019). Багаторічні спостереження та практика доводять, що в роки, коли вчасно одержані повноцінні сходи, посіви восени добре розвиваються та мають міцну кореневу систему й, як правило, забезпечують високу урожайність зерна навіть при несприятливих погодних умовах у літні місяці. А слабо розвинуті та зріджені з осені посіви майже завжди низькопродуктивні.

Погодні умови 2018/2019 вегетаційного року були задовільними. У передпосівний період випало 75 мм опадів, що дало можливість провести сівбу в добре підготовлений вологий ґрунт (рис. 2.1).

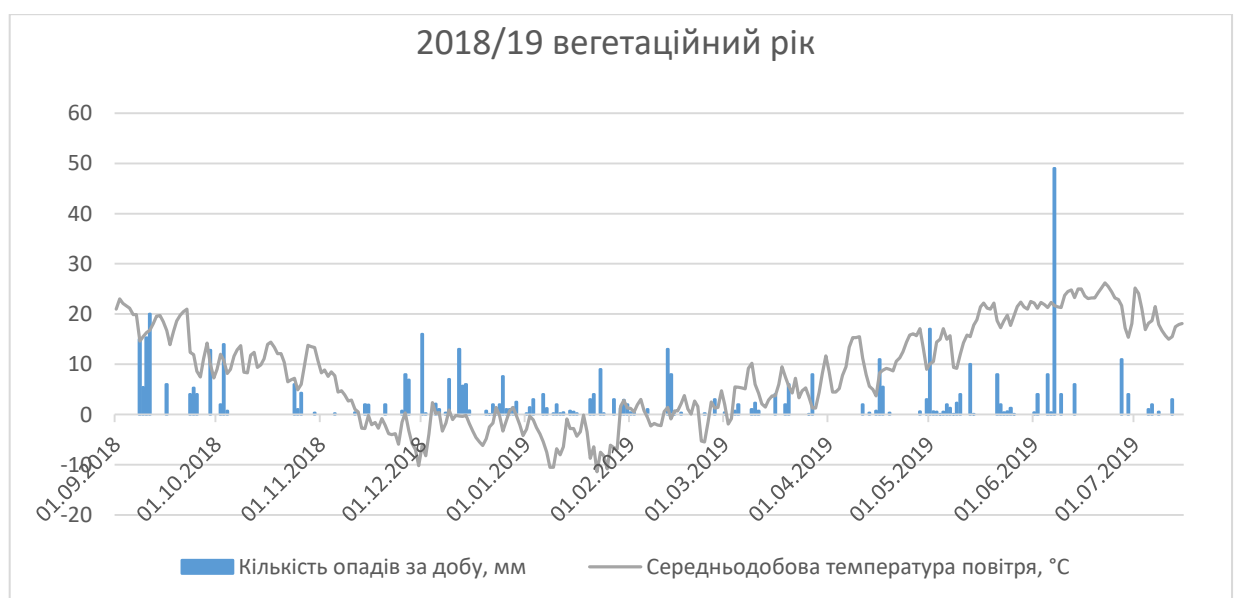


Рис. 2.1 Гідротермічні умови 2018/2019 вегетаційного року

Сумарно, від посіву першого строку і до часу припинення осінньої вегетації (ЧПОВ) (05.11.18), було зафіксовано 37,7 мм опадів, що сприяло хорошому розвитку рослин пшениці озимої в осінній період.

Середня температура повітря в період осінь – ЧПОВ 2018/2019 р. була оптимальною для нормального росту та розвитку рослин пшениці озимої. Так, для першого строку, від моменту сівби до часу припинення осінньої вегетації було зафіксовано 427,3°C суми активних температур і 328,5°C для другого строку відповідно (табл. 2.1).

Плавне зниження показника температури повітря до мінусового значення стовпчика термометра позитивно вплинуло на біохімічні та фізіологічні процеси в процесі загартування рослин. Середнє значення показника для зимового спокою в 2018/2019 рр. становив  $-1,97^{\circ}\text{C}$ .

Час відновлення весняної вегетації (ЧВВВ), що був зафіксований 4 березня 2019 р., характеризувався поступовим наростанням середньодобової температури повітря без суттєвих понижень. Кількість опадів від ЧВВВ до початку цвітіння становила 172,9 мм (один дощ зливого характеру, 49 мм), а від початку цвітіння до кінця дозрівання – 21,5 мм.

Сума активних температур за період ЧВВВ – дозрівання була 1995,9°C. Загалом весняно-літній період вегетації можна охарактеризувати як задовільний та сприятливий для формування високої врожайності зерна пшениці озимої. Середньодобова температура повітря в літній період становила 21,3 °C без істотних повітряної та ґрунтової посухи.

За період досліджень погодні умови 2019/2020 вегетаційного року визначились найбільш несприятливі для росту та розвитку рослин пшениці озимої (рис. 2.2).

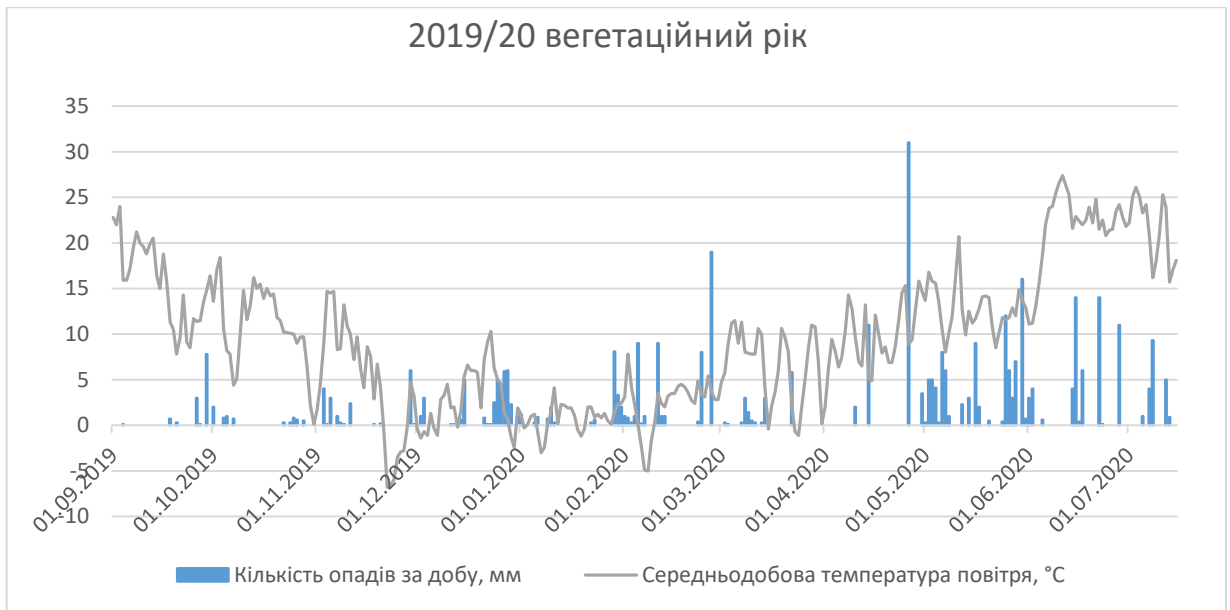


Рис. 2.2 Гідротермічні умови 2019/2020 вегетаційного року

З початку вересня 2019 р. і до сівби пшениці першого строку сівби випало 14,8 мм опадів у вигляді дощів не продуктивного характеру, що в свою чергу не дало можливості провести якісну підготовку ґрунту та отримати рівномірні дружні сходи. За період сівба–сходи і до припинення осінньої вегетації (19.11.2019 р.) зафіксовано 15,2 мм (із яких лише один продуктивний дощ – 7,8 мм), інші опади, через екстремальну посуху, не змогли проникнути на глибину загортання насіння. Температура повітря за період серпень–жовтень 2019 р. перевищувала середні багаторічні значення на 0,4–2,7 °C.

Наслідком осінньої ґрунтової посухи відмічали суттєве зрідження посівів і незадовільний стан розвитку рослин пшениці озимої (в межах 10–13 фази за шкалою ВВСН). Зимовий період 2019/2020 вегетаційного року був аномально теплим і безсніжним.

Підвищений температурний режим спостерігали в грудні 2019 р. та лютому 2020 р.: 8,1 °C при середньому багаторічному значенні за останні 30 років 5,9 °C. Різкі перепади температури повітря не дали можливість рослинам пшениці пройти необхідні для перезимівлі фази загартування та накопичити у вузлах куціння достатню кількість цукрів. Її величина була на рівні 20 % і нижче, що є недостатнім для протидії негативним факторам зимівлі. Середньодобова температура повітря в

період зимового спокою становила  $1,68^{\circ}\text{C}$  та варіювала в межах  $0^{\circ}\text{C}$  з незначним пониженням до мінус  $5^{\circ}\text{C}$ . Даний температурний режим та відсутність снігового покриву впродовж зими вплинули на повне або часткове знищення рослин озимини, особливо на ділянках другого строку сівби. Такі погодні умови створили природній фон для добору форм із високою адаптивною здатністю.

На момент відновлення весняної вегетації (2 березня 2020 р.) відбулося суттєве зниження густоти стояння пшениці озимої, спричинене вимерзанням недорозвинених і незагартованих рослин. Від ЧВВВ до настання цвітіння пшениці озимої сумарна кількість опадів склала 186,1 мм, з яких продуктивних визначили п'ять: 11 мм – 14.04.2020, 31 мм – 26.04.2020, 12 мм – 25.05.2020, 16 мм – 30.05.2020 та 14 мм – 15.06.2020. Від настання фази цвітіння до кінця дозрівання пшениці озимої зафіксовано ще 51,3 мм опадів, що представлені трьома продуктивними дощами, а саме: 14 мм – 22.06.2020, 11 мм – 28.06.2020 та 9,3 мм – 08.07.2020.

Весняно-літній період 2020 р. охарактеризували як аномально жаркий. Сума активних температур за період ЧВВВ – дозрівання становила  $1857,8^{\circ}\text{C}$ . Упродовж червня місяця денна температура трималась позначки  $32\text{--}35^{\circ}\text{C}$ . Цвітіння пшениці проходило у суху, жарку погоду із значним дефіцитом ґрунтової вологи. Дані погодні умови мали суттєвий вплив на ріст і розвиток культури, що відобразились на показниках врожайності, які були найнижчі за останній період досліджень (в середньому 2,23 т/га).

Погодні умови 2020/21 вегетаційного року, а особливо у весняний період, установились найкращими за трирічний період досліджень (рис. 2.3). За тиждень до дати висіву першого строку випало 24,1 мм опадів, що дало можливість якісно підготувати ґрунт та якісно посіяти пшеницю озиму. Від першого строку сівби і до припинення осінньої вегетації (10.11.2020 р.) випало 44,5 мм опадів. Також, хочеться підкреслити, що осінній період даного року був задовільним з точки зору суми активних температур, що склала  $418,5^{\circ}\text{C}$  від сівби до часу припинення осінньої вегетації (табл. 2.1).

Тепла й волога погода у період осінньої вегетації сприяла хорошему розвитку рослин пшениці озимої. За таких умов в рослинах накопичується достатня на

період перезимівлі кількість цукрів, що дозволить краще протистояти жорстким умовам і зимового, і весняно – літнього періодів вегетації. Восени 2020 р. рослини пшениці озимої другого строку від сівби до стійкого переходу через  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  набрали мінімальну суму активних температур за період досліджень. Було зафіксовано значення  $418,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для першого та  $256,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  для другого строку сівби (табл. 2.1). У відсотковому значенні різниця в сумі середньодобової температури між строками сівби становила  $38,8\%$ , а в 2018, 2019 рр. –  $23,1\%$  і  $25,0\%$  відповідно. Фаза розвитку культури на момент переходу в зимовий спокій становила 21–23 для першого та 13–21 для другого строку висіву за міжнародною шкалою ВВСН. Температура в період передзимового закалювання помірно понижувалась без різких коливань.

Зимовий спокій у 2020/21 вегетаційний рік протікав нормально. За період спостережень зафіксовано декілька разів аномальне, короткочасне наростання середньодобових температур вище  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , але дані погодні явища не мали негативних наслідків для культурних рослин. Середнє значення температури для зимового спокою в 2020/2021 рр. становило  $-1,04^{\circ}\text{C}$ .

Від моменту відновлення весняної вегетації (26.03.2021 р.) і до настання цвітіння випало  $221,9\text{ мм}$  опадів. Температурний режим цього періоду був плавно наростаючим, без весняних приморозків.

Весняно-літні погодні умови 2021 р. склалися помірними та найпрохолоднішими за досліджуваний період. Сума активних температур в період ЧВВВ – дозрівання становила  $1686,4^{\circ}\text{C}$ , а настання часу відновлення весняної вегетації виявився найпізнішим (26.03.2021). Рослини сортів та селекційних ліній пшениці озимої мали гарний розвиток біомаси та високі значення NDVI індексу на момент цвітіння.



Рис. 2.3 Гідротермічні умови 2020/2021 вегетаційного року

Різноманітні погодні умови, що спостерігали упродовж трьох вегетаційних років досліджень по-різному вплинули як на результати продуктивності досліджуваних зразків, так і на результати їх фенотипування (Додаток Б.1). Температурний режим вегетаційного періоду за роки дослідження був дещо вищим за середньобогаторічний показник (за останні 30 років).

Потреба рослин у теплі характеризується сумою середніх за добу температур після переходу їх через біологічний мінімум за певний період вегетації.

Відомо, що під час осінньої вегетації рослини пшениці озимої від сівби до стійкого переходу через  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  повинні пройти другий етап органогенезу, сформувати два – чотири стебла і пройти період загартування. Для цього їм необхідно набрати суму ефективних температур  $450\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$  за умови достатнього вологозабезпечення (Блищик & Феоксітов, 2015).

Таблиця 2.1

Характеристика погодних умов передпосівного періоду, осінньої та весняно-літньої вегетації, 2018/19–2020/2021 рр.

Веgetаційний рік	Період спостереження	Дата	Кількість опадів, мм		Сума активних температур, °С	
			строк сівби		строк сівби	
			I	II	I	II
2018/2019	Передпосівний	01.09.18 – 04.10/14.10.18	75,0	101,7	439,1	537,9
	Сівба – ЧПОВ*	05.10/15.10.18 – 05.11.18	37,7	7,0	427,3	328,5
	ЧПОВ – ЧВВВ**	05.11.18 – 04.03.19	160,4		-234,8	
	ЧВВВ – дозрівання	04.03.19 – 15.07.19	194,4		1959,9	
2019/2020	Передпосівний	01.09.19 – 04/14.10.19	14,8	16,5	533,2	639,5
	Сівба – ЧПОВ	05/15.10.19 – 19.11.19	15,2	13,5	443,0	336,7
	ЧПОВ – ЧВВВ	20.11.19 – 02.03.20	115,9		175,1	
	ЧВВВ – дозрівання	02.03.20 – 15.07.20	231,4		1857,8	
2020/2021	Передпосівний	01.09.20 – 04/14.10.20	24,1	41,0	617,9	780,3
	Сівба – ЧПОВ	05/15.10.20 – 10.11.20	44,5	27,6	418,5	256,1
	ЧПОВ – ЧВВВ	11.11.20 – 26.03.21	190,8		-142,0	
	ЧВВВ – дозрівання	26.03.21 – 15.07.21	263,1		1663,2	

Примітка: \* – час припинення осінньої вегетації, \*\* – час відновлення весняної вегетації

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК), або коефіцієнт зволоження, запропонований Г. Т. Селяниновим (Селянинов, 1937), який визначається відношенням суми опадів до 0,1 суми температур за період часу з температурою вище за 10 °С визначали за формулою:

$$\text{ГТК} = P / 0,1 \Sigma T > 10$$

де, P – сума опадів за певний період, мм;

$\Sigma T > 10$  °С – сума температур вище 10 °С за цей же період.

ГТК має певні переваги – характеризує не тільки прибуткову частину водного балансу (опадів), а й непродуктивну витрату вологи (випаровуваність). ГТК є достовірним показником зволоження в тих районах, для яких характерний однорідний тип річного ходу опадів. Окрім того, він об'єктивний і працює в достатньо широкому діапазоні температур та опадів. За даним показником можна достатньо точно охарактеризувати ступінь вологості за певний період:

Показник ГТК більше 1,5 вказує на надлишковий характер зволоження, від 1,0 до 1,5 – достатнє зволоження, менше 1,0 – характеризує посушливі умови та більше 0,5 – сухий період (рис. 2.4).

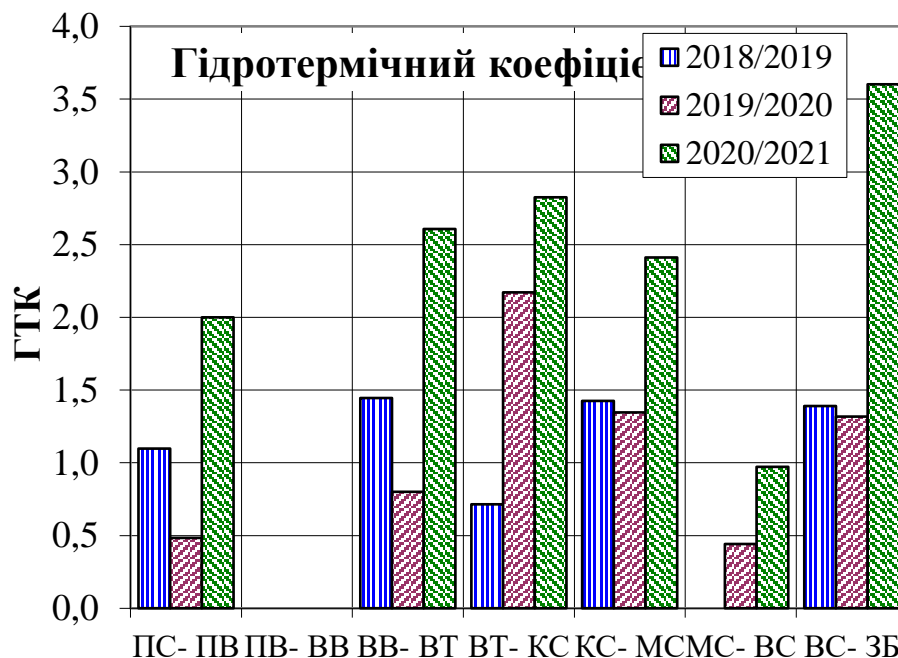


Рис. 2.4 Гідротермічний коефіцієнт періодів вегетації пшениці озимої, 2018/19 – 2020/21 рр.

ПС – посів, ПВ – припинення вегетації, ВВ – відновлення вегетації, ВТ – вихід у трубку, КС – колосіння, МС – молочна стиглість, ВС – воскова стиглість, ЗБ – збирання (Додаток Б.2).

Показник посушливості або зволоженості теплих місяців вегетації пшениці озимої розраховували за формулою Д. А. Педея:

$$S_i = \frac{\Delta T}{\sigma_t} - \frac{\Delta X}{\sigma_x},$$

де  $S_i$  – показник посушливості (+) або зволоженості (-);

$\Delta T$  і  $\Delta X$  – аномалії температури повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ) і атмосферних опадів (мм);

$\sigma_t$  і  $\sigma_x$  – середньоквадратичні відхилення від середніх значень.

Для зимових місяців знак «-» у формулі змінювали на знак «+». Тоді  $S_i$  вказує на м'якість зими (+). За методикою Д. А. Педея посуха характеризується величиною  $S_i \geq 1$ . При  $S_i = 1-2$  – посуха помірна, при  $S_i = 2,1-3,0$  – середня, при  $S_i > 3$  – сильна. Індекс залежить від зміни температури та опадів. Позитивні значення індексу відповідають сухій погоді або більш теплому температурному режиму, тоді як негативні значення – вологій погоді (рис 2.5).

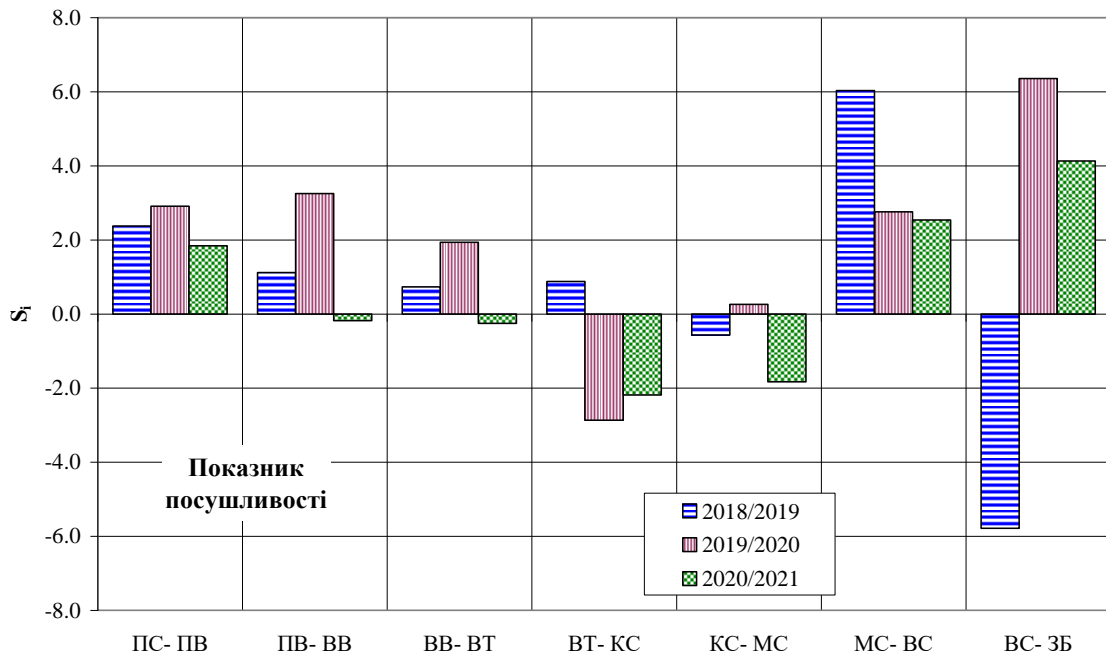


Рис 2.5 Показники посушливості або зволоженості періодів вегетації пшениці озимої, 2018/19 – 2020/21 рр.

(ПС – посів, ПВ – припинення вегетації, ВВ – відновлення вегетації, ВТ – вихід у трубку, КС – колосіння, МС – молочна стиглість, ВС – воскова стиглість, ЗБ – збирання).

Аналіз тренду середньорічної температури повітря за 1991 – 2021 рр. показав стабільну тенденцію її підвищення (рис. 2.6).

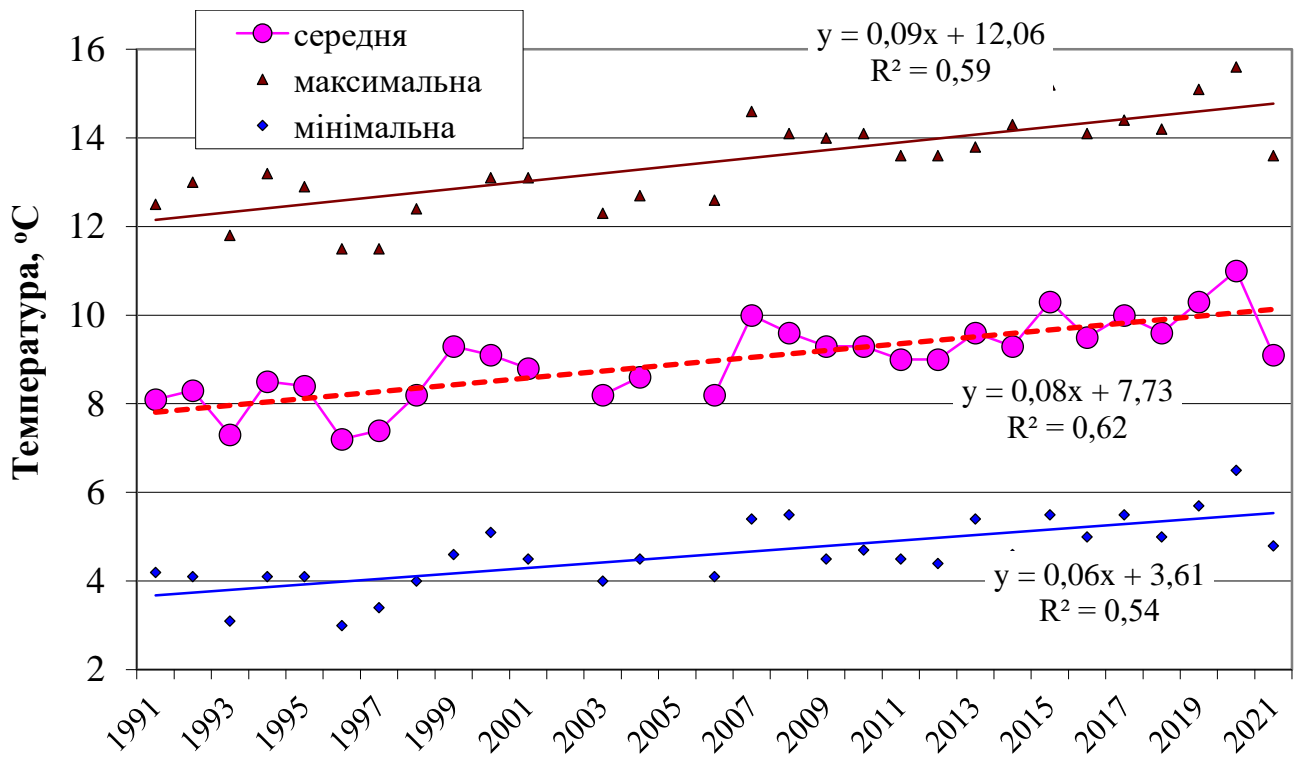


Рис. 2.6 Середньорічні температури повітря, 1991–2021 рр.

У середньому щорічне зростання цього показника дорівнювало 0,05 °C, а за період досліджень продовж 2010 – 2014 рр. було максимальним – 0,4–1,3 °C.

При зростанні температури зменшується ефективність опадів та змінюється їх характер. Так, збільшується кількість малоефективних дощів (одноразово випадає дві-три місячні норми вологи), які приносять більше шкоди, ніж користі. За останні роки в Україні відбувається розширення зон із недостатньою кількістю опадів – менше 400 мм, куди потрапляє і Київська область (рис. 2.7). Характер розподілу опадів по роках також має тенденцію до зростання відхилення до загальної лінії тенденції.

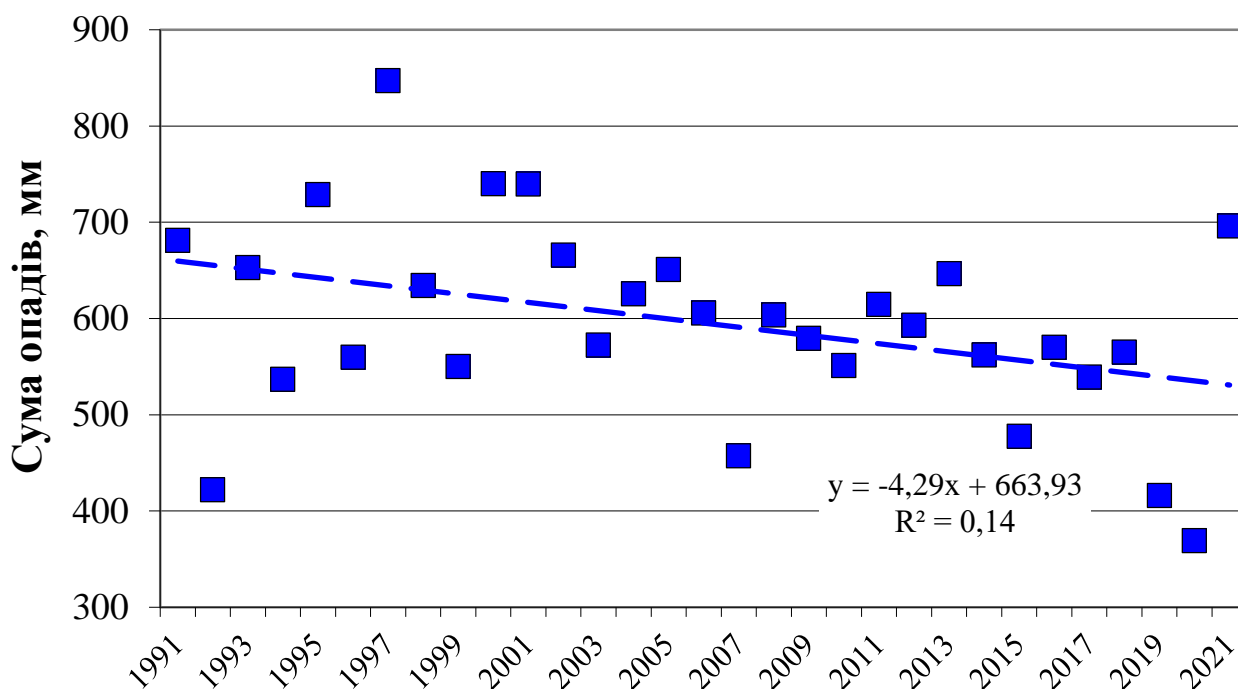


Рис. 2.7 Річна сума опадів, 1991–2021 рр.

### 2.3. Вихідний матеріал для проведення досліджень

У досліджах використовували нові сорти: МП Ассоль, Балада миронівська, Грація миронівська, МП Ювілейна, МП Лада, МП Дніпрянка та сорт-стандарт Подолянка і селекційні лінії: Еритроспермум 55023, Лютесценс 22198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107.

Інформацію про сорти взято із сортоопису на сайті (<http://mir.com.ua/page/49-sorty-ozymoi-pshenytsi>)

#### МП АССОЛЬ

Рік реєстрації 2018 р. Різновидність – лютесценс. Високопродуктивний, середньостиглий сорт. Зимостійкість – висока, посухостійкість – висока. Період яровизаційної потреби 40–50 діб. Фотоперіодична чутливість – середня. Період післязбирального дозрівання – довгий. Стійкий до вилягання, проростання зерна в колосі та обсіпання. Стійкий до борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу, корневих гнилей, твердої сажки. Натура зерна 816 г/л. Вміст

сирого протеїну 13,8–14,7 %, сирій клейковини – 27,5–28,4 %, сила борошна 270–320 о.а., об'єм хліба до 680 см<sup>3</sup>.

Сорт добре реагує на внесення по колосу мікроелементів, формуючи при цьому високі показники вмісту сирого протеїну та сирій клейковини. Міцність зламу соломини забезпечую високу стійкість до прикореневого та стеблового вилягання, завдяки чому сорт не потребує внесення регуляторів росту. Рівень врожайності сорту 6,5–9,1 т/га.

### БАЛАДА МИРОНІВСЬКА

Рік реєстрації 2018 р. Різновидність – еритроспермум. Високопродуктивний, середньостиглий сорт. Зимостійкість – висока, посухостійкість – висока. Період яровизаційної потреби 50 діб. Фотоперіодична чутливість – середня. Період післязбирального дозрівання – довгий. Стійкий до вилягання, обсипання та проростання зерна в колосі. Стійкий до борошнистої роси, бурій іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу; середньостійкий до твердої сажки.

Натура зерна 828 г/л. Вміст сирого протеїну 13,8–14,5 %, сирій клейковини – 24,7–26,6 %, сила борошна 275–366 о.а., об'єм хліба 760–900 см<sup>3</sup>.

Висока продуктивність сорту забезпечується за рахунок високої адаптивної властивості та екологічної пластичності за будь-яких умов вирощування. Рівень врожайності сорту 8,0–9,9 т/га.

### ГРАЦІЯ МИРОНІВСЬКА

Рік реєстрації 2018 р. Різновидність еритроспермум. Високопродуктивний, середньостиглий сорт. Висока зимо- і посухостійкість. Період яровизаційної потреби 40–50 діб. Фотоперіодична чутливість – середня. Довгий період післязбирального дозрівання. Стійкий до вилягання, обсипання та проростання зерна в колосі. Стійкий до бурій іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу, борошнистої роси, корневих гнилей; середньостійкий до твердої сажки.

Натура зерна 821 г/л. Вміст сирого протеїну 14,0–15,3 %, сирій клейковини – 26,2–28,5 %, сила борошна 284–368 о.а., об'єм хліба до 720 см<sup>3</sup>.

Висока посухостійкість сорту забезпечує стабільне формування високої маси 1000 зерен та вихід кондиційного насіння. За умов інтенсивної технології здатний формувати потужну кореневу систему та потовщені стебла. Рівень врожайності сорту 6,5–9,1 т/га.

### МІП ЮВІЛЕЙНА

Рік реєстрації 2019 р. Різновидність – лютесценс. Високопродуктивний, середньостиглий сорт. Зимостійкість і посухостійкість – висока. Період яровизаційної потреби 40–50 діб. Середня фотоперіодична чутливість. Період післязбирального дозрівання – довгий. Стійкий до вилягання, обсипання та проростання зерна в колосі. Стійкий до борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу; середньостійкий до твердої сажки.

Натура зерна 790 г/л. Вміст сирого протеїну 13,5–14,8 %, сирової клейковини – 23,8–28,8 %, сила борошна 290–380 о.а., об'єм хліба 1200 см<sup>3</sup>. Поєднує в собі високу врожайність та стабільну якість зерна. Борошномельні та хлібопекарські властивості відмінні. Добре реагує і витримує високі фони мінерального живлення. Формує високий рівень урожайності в посушливих умовах. Рівень врожайності сорту становить 7,6–10,0 т/га.

### МІП ЛАДА

Рік реєстрації 2019 р. Різновидність – лютесценс. Високопродуктивний, середньостиглий сорт. Зимостійкість і посухостійкість – висока. Період яровизаційної потреби становить 30–40 діб. Фотоперіодична чутливість – слабка. Період післязбирального дозрівання – короткий. Стійкий до вилягання та проростання зерна в колосі. Стійкий до фузаріозу колосу, борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя та колосу.

Натура зерна 790 г/л. Вміст сирого протеїну 13,6–14,2 %, сирової клейковини – 23,8–27,8 %, сила борошна 285–345 о.а., об'єм хліба 960 см<sup>3</sup>.

Висока морозостійкість в порівнянні з сучасними сортами. Оптимально підходить для ґрунтів з низьким рівнем родючості. Борошномельні та хлібопекарські властивості відмінні. Рівень врожайності сорту 6,8–11,0 т/га.

### МП ДНІПРЯНКА

Рік реєстрації 2018 р. Різновидність – лютесценс. Високопродуктивний, середньостиглий сорт, що має високу зимо- і посухостійкість. Період яровизаційної потреби 40–50 діб. Фотоперіодична чутливість – слабка. Період післязбирального дозрівання – довгий. Стійкий до вилягання, обсипання та проростання зерна в колосі.

Стійкий до борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу; середньостійкий до твердої сажки.

Натура зерна 828 г/л. Вміст сирого протеїну 13,8–14,5 %, сирої клейковини – 24,7–26,6 %, сила борошна 275–366 о.а., об'єм хліба до 760 см<sup>3</sup>.

Висока зимостійкість та морозостійкість сорту забезпечує високу перезимівлю рослин за умов недостатнього снігового покриву, частих відлиг взимку та зниження температур навесні. Генетична складова батьківських компонентів проявляються у високих показниках якості зерна. Рівень врожайності сорту 6,9–10,5 т/га.

### ПОДОЛЯНКА

Рік реєстрації 2003 р. Різновид – лютесценс. Високопродуктивний, середньостиглий сорт. Зимостійкість і посухостійкість – висока. Період яровизаційної потреби 40–50 діб. Фотоперіодична чутливість – слабка. Період післязбирального дозрівання – довгий. Стійкий до вилягання, обсипання та проростання зерна в колосі. Стійкий до борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу; середньостійкий до твердої сажки.

Зерно Подолянки містить 13,5–14,7 % білка, 28,7–31,5% сирої клейковини, сила борошна 320–410 о.а., об'єм хліба із 100 г борошна 1100–1210 мл, загальна оцінка хлібопекарських властивостей 4,2–5,0 бала.

Віднесений до сильних пшениць. При належній агротехніці генетика сорту забезпечує отримання високоякісного зерна. Рівень врожайності сорту становить 7,1–10,2 т/га.

Селекційні лінії: Еритроспермум 55023, Лютесценс 22198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107 ще потребують ретельного вивчення для формування сортоопису.

#### 2.4. Методи проведення досліджень

Спектральний польовий аналіз проводили за допомогою БПЛА DJI Mavic zoom 2, який є носієм мультиспектральної камери Parrot Sequoia, що дає можливість фіксувати зображення в діапазоні 550–810 нм. Для формування ортофотоплану використовували програмне забезпечення Pix4Dmapper (ПК) та Pix4Dcapture, яке дозволяє побудувати карту-завдання польового обльоту дрона. Слід відмітити, що це окремий клас програм автоматизованої фотограмметричної обробки матеріалів аерофотозйомки. Процес обробки знімків повністю автоматизований і може проходити взагалі без втручання користувача. Фотофіксацію проводили мультиспектральною камерою на висоті 30 м над рівнем досліджуваного об'єкту з метою підвищення якості ортофотоплану, з перекриттям знімків 80 % і з проміжком часу в дві секунди (Демидов О. А. та ін., 2023).

Вимірювання проводиться безпосередньо на отриманому ортофотоплані за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Дослідження виконано упродовж 2018/19–2020/21 вегетаційних років у селекційній сівозміні лабораторії селекції озимої пшениці Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України (МІП). Сівбу проводили у два строки: 5 і 15 жовтня, попередник – соя. Розміщення ділянок систематичне, повторність чотириразова, облікова площа – 10 м<sup>2</sup>. Норма висіву – 5 млн схожих насінин на 1 га. Стандартом слугував сорт Подолянка. Дослідження проводили відповідно до «Методики польового досліджу» (Доспехов, 1985), фенологічні спостереження та обліки – відповідно до «Методики Державного

сортовипробування» (Волкодав 2003). У досліджах використовували шість нових сортів: МІП Ассоль, Балада миронівська, Грація миронівська, МІП Ювілейна, МІП Лада, МІП Дніпрянка та сорт-стандарт Подолянка і п'ять селекційних ліній: Еритроспермум 55023, Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107.

NDVI індекс (нормалізований відносний вегетаційний індекс) розраховували за формулою (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

де: NIR – відображення в ближній інфрачервоній зоні спектра; RED – відображення в червоній області спектра.

Метеорологічні умови аналізували за даними приватної стаціонарної метеостанції, підключеної до глобальної системи Meteoblue (Базель, Швейцарія), що знаходиться в радіусі 6 км від полів, на яких проводили дослідження. Роки дослідження були контрастними за гідротермічним режимом із нерівномірним розподілом опадів за місяцями, що дозволило одержати об'єктивні дані. Варіювання кількості опадів і температур у кінцевому підсумку вплинуло на врожайність зерна досліджуваних генотипів та на інші ознаки.

Дисперсійний, кореляційний аналіз та аналіз головних компонентів (РС) агрономічних ознак генотипів пшениці проводили за допомогою пакетів Statistica 10.0 та IBM SPSS Statistics 27.

Аналіз АММІ (Zobel, Wright & Gauch, 1988, Gauch, 2013) проводили відповідно до моделі  $Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_k \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + p_{ij} + \epsilon_{ij}$ , де:  $Y_{ij}$  – урожайність зерна генотипу  $i$  в середовищі  $j$ ;  $\mu$  — загальне середнє;  $g_i$  – фіксований ефект  $i$ -го генотипу;  $e_j$  – фіксований вплив середовища  $j$ ;  $\lambda_k$  –  $k$ -е сингулярне значення матриці взаємодії;  $\gamma_{ik}$  –  $k$ -й сингулярний вектор  $i$ -го генотипу;  $\alpha_{jk}$  –  $k$ -й сингулярний вектор  $j$ -го середовища;  $p_{ij}$  – нев'язка моделі;  $\epsilon_{ij}$  – залишкова випадкова похибка.

Аналіз GGE-biplot дозволяє графічно візуалізувати матрицю даних. Він розглядає основний ефект генотипу разом із взаємодією генотип–середовище. Така методологія описується моделлю (Yan, Hunt & Sheng, 2000):  $Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j}$

$+ \lambda_2 \xi_{2i} \eta_{2j} + \epsilon_{ij}$ , де:  $Y_{ij}$  – урожайність зерна  $i$ -го генотипу в середовищі  $j$ ;  $\mu$  – загальне середнє;  $\beta_j$  – вплив середовища  $j$ ;  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  – власні значення, пов’язані з PC1 і PC2 відповідно;  $\xi_{1i}$  і  $\xi_{2i}$  – бали за осями PC1 та PC2 відповідно для  $i$ -го генотипу;  $\eta_{1j}$  і  $\eta_{2j}$  – оцінки для осей PC1 і PC2 відповідно, для середовища  $j$  та  $\epsilon_{ij}$  – залишкова випадкова помилка. Ці аналізи було виконано за допомогою програмного забезпечення GEA-R версії 4.1 (Pacheco et al., 2016).

Генотипові значення були передбачені за методологією REML/BLUP у програмному забезпеченні Meta-R версія 6.0 (Alvarado et al., 2016):  $y = Xr + Zg + Wi + e$ , де  $y$  – вектор даних;  $r$  – вектор ефектів реплікації (фіксований ефект);  $g$  – вектор генотипових ефектів (випадковий ефект) ( $g \sim N(0, \sigma^2_g)$ ), де  $\sigma^2_g$  – матриця генотипових дисперсій;  $i$  – вектор GEI (випадковий ефект);  $e$  – вектор (випадкових) помилок ( $e \sim N(0, \sigma^2_g)$ ), де  $\sigma^2_g$  – матриця залишкової дисперсії.  $X$ ,  $Z$  та  $W$  відповідає матрицям інцидентності для  $r$ ,  $g$  та  $i$  відповідно.

Оцінено селекційний приріст (selection gain – SG) за дослідженими показниками за виразом:  $SG = SD * h^2$ , де  $SD$  – диференціал відбору, визначений різницею між середнім вибраних генотипів ( $X_s$ ) і загальним спостережуваним середнім ( $X_o$ ), а  $h^2$  – спадковість. Відносний селекційний приріст (SG %) визначається як  $SG \% = (SG / X_o) * 100$ .

Щоб отримати оцінку генетичних переваг для кожної ознаки з метою вибору кращих генотипів, було використано три різні індекси: індекс підсумовування рангів  $I_j$  (Mulamba & Mock, 1978), індекс дистанції між генотипом та ідеотипом  $D_{ii}$  (Wricke & Weber, 1986), індекс  $Z$  (Mendes, Ramalho & Abreu, 2009).

Для визначення індексу підсумовування рангів  $I_j$  генотипи класифікували за ознаками, завжди приймаючи критерій класифікації найкращого генотипу зі значенням 1 і так далі для кожної ознаки, причому, залежно від характеру цих ознак, як 1 класифікують генотипи, які мали найвищі або ж найнижчі середні значення. Після отримання класифікаційних значень для кожного генотипу, його індекси розраховували наступним чином:  $I_j = \sum p_{ij}$ , де  $I_j$  є індексом для генотипу  $j$ , а  $p_{ij}$  – класифікаційним рангом ознаки  $i$  для генотипу  $j$ . Генотип з найнижчим  $I_j$  вважався кращим.

У якості критерію індексу дистанції генотип–ідеотип використано евклідову відстань між  $i$  генотипом та  $i'$  ідеотипом:  $D_{ii''} = \sqrt{\sum d_{ij}^2}$ , де  $D_{ii''}$  є евклідовою відстанню між  $i$  генотипом та  $i'$  ідеотипом, а  $d_{ij}$  є стандартним відхиленням між середнім значенням ознаки  $j$ , виміряним у  $i$  генотипі ( $x_{ij}$ ), та значенням, присвоєним ідеотипу в цій ознаці.

Індекс  $Z$  було визначено за рівнянням  $Z_{ij} = (y_{ij} - \bar{y}_j) / \sigma_j$ , де  $y_{ij}$  — ознака  $j$ , що спостерігається для генотипу  $i$ ,  $\bar{y}_j$  — загальне середнє значення ознаки  $j$ , а  $\sigma_j$  — стандартне відхилення ознаки  $j$ . Оскільки  $Z_{ij}$  може приймати як позитивні, так і негативні значення, щоб уникнути негативних значень, до нього було додано число три. У всіх трьох індексах був прийнятий тиск відбору 25 %.

## Висновки до розділу 2.

1. Погодні умови під час проведення польових досліджень були досить контрастними, та достатньо сильно відрізнялись від середніх багаторічних (за 30 років) даних. Загальна тенденція по кількості річних опадів продовжує змінюватись в бік зменшення, а розподіл вологи в межах року дедалі набуває строкатості;

2. Ґрунти дослідних ділянок за своїми фізико-хімічними властивостями є придатними для вирощування пшениці м'якої озимої та задовільняють потреби дослідної справи;

3. У дослідях використовували шість нових сортів: МПП Ассоль, Балада миронівська, Грація миронівська, МПП Ювілейна, МПП Лада, МПП Дніпрянка та сорт-стандарт Подолянка і п'ять селекційних ліній: Еритроспермум 55023, Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107.

4. Методики, які використовували в роботі, представлені як новими (AMMI, GGE-biplot, REML/BLUP), унікальними (метод польового фенотипування пшениці з використанням NDVI індексу), так і загальноприйнятими у селекційній практиці, що дозволили провести об'єктивну оцінку.

### РОЗДІЛ 3

## СПЕКТРАЛЬНІ ОБЛІКИ ОСНОВНИХ ФЕНОЛОГІЧНИХ ФАЗ, ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ NDVI ІНДЕКСУ ТА ЙОГО ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД МОРФО-БІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Згідно огляду світового ринку пшениці, який Міністерство сільського господарства США опублікувало в жовтні 2021 р., урожайність пшениці в Україні зростала швидкими темпами – за 20 років (1996–2016) середня величина показника зросла на 44 %. Значною мірою на це вплинула селекційна діяльність. Створення сучасних сортів пшениці озимої стало поштовхом до інтенсифікації технологій вирощування, що було направлено на підвищення рівня врожайності культури (Andrew & Bryn, 2021).

Одним із чинників інтенсифікації ведення сільського господарства в Україні та світі є збір та оцінка спектральних даних дистанційного зондування. На сьогоднішній день використання супутникового моніторингу в період вегетації сільськогосподарських культур дедалі стає нормою у виробничій діяльності агропідприємств (Торко та ін, 2021 а). Світовою тенденцією у сільськогосподарському виробництві також стає і використання спектральних знімків, отриманих за допомогою БПЛА. Впровадження та використання сучасних технологій скринінгу у сільськогосподарському виробництві, поряд з існуючими методами оцінки, відкриває можливість більш якісно оцінювати стан росту і розвитку культур, виявляти скриті недоліки від час вегетації та оперативно приймати заходи щодо покращення стану та підвищення врожайності (Торко & Kovalyshyna, 2022).

Селекція рослин наближує значення показників до їхніх теоретичних максимумів, залишаючи показник ефективності перетворення світла, який в основному визначається фотосинтезом, як єдину значну перспективу для його покращення (Long et al., 2015). Впровадження сучасних методів оцінки вихідного матеріалу стає невід'ємною частиною прискорення селекційного процесу. Для покращення вивчення нових сортів і перспективних ліній необхідно аналізувати

сучасні досягнення науки і техніки та навчитись користуватись ними. З кожним днем зростає актуальність використання БПЛА (безпілотний літальний апарат), оснащених сучасними камерами високої роздільної здатності, що мають можливість проводити фотофіксацію рослин у видимих та близьких до інфрачервоного спектрах.

Розробка та впровадження польового спектрального аналізу як одного із методів фенотипування рослин може збільшити обсяг досліджуваних селекційних зразків та паралельно покращити якість проведення морфо-біологічного аналізу. Впровадження подібних методів діагностики у селекційний процес, дає можливість селекціонеру комплексно оцінити стан розвитку кожного окремого генотипу в відносно короткий проміжок часу, а також об'єктивно оцінити їх стійкість проти тих чи інших чинників (посухостійкість, морозо-зимостійкість, стійкість проти фітопатогенів). Оцифровування отриманих даних стає на заміну застарілим виключно окомірним облікам і нівелює вплив суб'єктивної оцінки селекціонера під час проведення обліків.

Розробка та впровадження комплексного методу польової оцінки генотипів пшениці озимої, що базуватиметься на спектральному та морфобіологічному аналізах також дозволить покращити якість підбору вихідних форм (Топко та ін., 2021 б).

Зокрема, дистанційне зондування є ключовою технологією. Моніторинг сільськогосподарської діяльності стикається з особливими проблемами, не характерними для інших секторів економіки (Justice et al., 2002). По-перше, сільськогосподарське виробництво слідує чітким сезонним закономірностям, пов'язаним з біологічним життєвим циклом сільськогосподарських культур. По-друге, виробництво залежить від фізичного ландшафту (наприклад, типу ґрунту), а також від кліматичних факторів і методів управління сільським господарством. Усі змінні дуже мінливі в просторі та часі. По-третє, оскільки продуктивність може змінюватися протягом короткого періоду часу через несприятливі умови вирощування, системи сільськогосподарського моніторингу повинні бути своєчасними. Це навіть важливіше, оскільки багато продуктів мають обмежені

терміни зберігання. Як зазначено Продовольчою та сільськогосподарською організацією (FAO), потреба в своєчасності інформації є основним фактором, що лежить в основі сільськогосподарської статистики та відповідних систем моніторингу – інформація маловарта, якщо вона стає доступною надто пізно (FAO: Rome, 2011). Отже, для надання точної інформації та забезпечення глобальної продовольчої безпеки необхідний моніторинг просторово-часової мінливості у виробництві та зростанні пшениці в реальному часі. Просторова та часова мінливість – це терміни, які використовуються для опису мінливості, яка має значний вплив на сільськогосподарське виробництво. Приклади просторової та часової мінливості включають мінливість врожайності, мінливість поля, мінливість ґрунту, мінливість культур та мінливість управління. Мета полягає в тому, щоб зменшити економічні витрати, зменшити вплив на навколишнє середовище (наприклад, використовуючи менше води та добрив), і водночас підвищити якість виробництва продуктів харчування (Onibonoje, Nwulu & Synergistic, 2021).

Дистанційне зондування може забезпечити точний і своєчасний збір даних, що може допомогти в реалізації короткострокових і довгострокових стратегій управління врожаєм. П'ять основних застосувань дистанційного зондування проаналізовано в огляді літартури (Atzberger, 2013): (1) оцінка біомаси та врожайності, (2) енергія рослинності та моніторинг стресу від посухи, (3) оцінка фенологічного розвитку сільськогосподарських культур, (4) оцінка посівних площ і картографування орних земель і (5) картографування порушень і зміни землекористування/ґрунтового покриву. Планування та розподіл дефіцитних ресурсів між різними економічними секторами для ефективного управління обмеженими ресурсами та ресурсами, що зменшуються, може бути полегшено дослідженнями, які базуються на ідеї точного землеробства. Окрім контролю за станом урожаю деякі методи дистанційного зондування більше зосереджені на фізичних параметрах системи врожаю, таких як стрес, засвоєння поживних речовин і доступність води для оцінки здоров'я та врожайності культур. А інші більше зосереджуються на синоптичних перспективах регіонального стану посівів за допомогою індексів дистанційного зондування.

За останні кілька десятиліть відбулося різке розширення використання технології дистанційного зондування для точного землеробства (ТЗ), надаючи інформацію, пов'язану зі станом врожаю в різних масштабах протягом сезону завдяки біофізичним характеристикам сільськогосподарських культур та ґрунтів. В останні роки сільськогосподарський сектор став свідком збільшення використання передових технологій, таких як супутники, дрони, роботи та інші сенсорні системи, такі як портативні пристрої для проксимального зондування для моніторингу рослинного покриву, оцінки стану посівів, стану поживних речовин і води, евапотранспірації культур, виявлення та боротьби з бур'янами, виявлення і прогнозування зараження шкідниками та хворобами, прогнозування врожайності та виробництва продукції (Shanmugapriya et al., 2019). Такі дані вкрай необхідні для точного землеробства раціонального землекористування, а також вивчення атмосферної динаміки. Очікується, що найближчим технології дистанційного зондування, робототехніки, дронів, автоматизації ферм тощо наберуть обертів, оскільки вони є ключовими для розумного сільського господарства.

Такі змінні, як урожайність сільськогосподарських культур, параметри ґрунту (волога, поживні речовини, рН) і біофізичні параметри сільськогосподарських культур (індекс площі листя – LAI, концентрація хлорофілу, вміст азоту) необхідно контролювати для оптимального росту пшениці (Torres-Sánchez et al., 2014).

Фактори, які впливають на виробництво пшениці, включаючи нестабільні погодні умови, мінливість клімату, поширені посухи, тепловий стрес і низьку кількість опадів, необхідно своєчасно пом'якшувати, щоб збільшити виробництво пшениці.

Щоб максимізувати сільськогосподарські ресурси, навантажити сільськогосподарське виробництво та зменшити втрати ресурсів, для прийняття обґрунтованих управлінських рішень ТЗ використовує низку таких технологій (Darji P et al., 2023), зокрема геопросторових технологій, Інтернету речей (IoT), аналізу великих даних та штучного інтелекту (AI).

Точне землеробство надає інструменти та технології для визначення мінливості ґрунту та врожаю на полі, пропонуючи засоби для вдосконалення методів землеробства на рівні підполя та оптимізації агрономічних ресурсів. Технологія змінної норми надає можливість змінювати норму внесення в ґрунт і культуру для внесення на конкретну ділянку (Sozzi et al., 2021).

Більш широке використання технологій дистанційного зондування в комерційних і некомерційних застосуваннях точного землеробства, ймовірно, стане результатом розробки точних, надійних, але простих у використанні, зручних систем, враховуючи складність обробки зображень і необхідну кількість технічних знань і навичок.

Генетичний приріст – це покращення генетичної чи фенотипової цінності популяції завдяки відбору протягом кількох циклів розмноження (Tester & Langridge, 2010). У процесі розвитку сорту популяція проходить кілька років рекомбінації, селекції та оцінки, доки не буде випущено найкращий сорт.

Оцінка та відбір базуються на фенотипових та/або генотипових даних, зібраних протягом вегетаційного періоду, щоб викликати генетичний приріст у наступному поколінні. Генетичний приріст зазвичай визначається наступною формулою відповідно до рівняння селекціонера:

$$R = \frac{ir\sigma_A^2}{y}$$

де  $R$  – генетичне зрушення протягом часу,  $i$  є інтенсивність відбору,  $r$  – точність відбору,  $\sigma_A^2$  – генетична дисперсія, а  $y$  – роки на цикл (Rutkoski et al., 2016).

Інтенсивність відбору – це кількість популяції, яка вибирається із загальної популяції за певною ознакою чи ознаками разом. Розмір популяції впливає на інтенсивність відбору. Точність відбору покращує оцінку генетичної цінності популяції. Таким чином, як зазначено та пояснено (Barabaschi et al., 2015).

Збільшення генетичного приросту можна досягти шляхом:

- розширення програми розведення;
- підвищення точності відбору;
- введення достатньої кількості генетичних варіацій;
- скорочення циклів розведення (Sun et al., 2019).

Щоб досягти бажаного результату за допомогою компонентів, програмі селекції потрібен високопродуктивний механізм збору та аналізу даних для отримання генетичної та фенотипової інформації (Araus et al., 2018).

### 3.1 Мультиспектральні обліки в період часу припинення осінньої вегетації пшениці озимої

Генетичний потенціал сучасних сортів пшениці озимої, за умови створення сприятливих умов вирощування, здатний забезпечувати урожайність на рівні 11,0–12,0 т/га (Різник та ін., 1994). При цьому сучасним сортам пшениці озимої притаманні підвищені вимоги до умов вирощування протягом осіннього періоду вегетації (Бугай, 1965).

В умовах недостатнього та нестійкого зволоження важливого значення набуває вивчення розвитку рослин в осінній період вегетації, коли формуються стійкість озимини до несприятливих умов зимового періоду та розмір майбутнього врожаю, особливо при вирощуванні після непарових попередників (Сайко & Бойко, 2002; Посібник українського хлібороба, 2010).

Враховуючи те, що операція збору зображень за допомогою БПЛА є менш трудомісткою, і завдяки більш високій точності, ніж проксимальне зондування без зображення, що використовувалось до цього, очікується, що мультиспектральне зондування на основі повітряного БПЛА збільшить ефективність фенотипування з високою пропускнуою здатністю (Kriegler et al., 1969).

Спектральна оцінка сортів пшениці озимої, з паралельним морфо-фізіологічним аналізом під час припинення осінньої вегетації (ЧПОВ), дає можливість у повній мірі оцінити стан осіннього розвитку кожного окремого генотипу.

Дослідження проводили упродовж 2018–2020 рр. у селекційній сівозміні лабораторії селекції озимої пшениці Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України.

Контрастні погодні умови в період досліджень дали змогу одержати об'єктивні результати. Осінній період 2018 р. був надмірно вологий (ГТК = 1,76), а за температурним режимом у вересні-жовтні – дуже теплим: середня температура повітря становила 16,6 і 10,6 °С, відповідно (середній багаторічний показник – 14,2 і 8,3 °С).

У листопаді середня місячна температура була нижчою від кліматичної норми на 1,1 °С. Стан посівів оцінювали як добрий, рослини нормально розвинуті, що сприяло успішній перезимівлі.

Погодні умови у передпосівний та посівний період 2019 р. були досить посушливими: сума опадів у серпні-жовтні становила 28,7 мм (середнє багаторічне значення – 163,2 мм). Рослини не отримали достатньо вологи для хорошого росту та розвитку, для укорінення та формування повноцінної надземної маси.

Сумарна кількість опадів у серпні-вересні 2020/21 вегетаційного року досягла лише 10–20 % від норми. Погодні умови в жовтні виявилися цілком сприятливими для осіннього розвитку пшениці озимої, відмічали швидкий ріст та розвиток рослин.

Дати проведення морфо-біометричного аналізу рослин пшениці озимої та спектральної зйомки посівів:

- 21.11.2018 р.;
- 29.11.2019 р.;
- 10.11.2020 р.

За три роки досліджень встановлено, що величина біометричних показників рослин сортів і селекційних ліній перед зимівлею залежала від гідротермічного

режиму в передпосівний і посівний періоди та впродовж осінньої вегетації: кількість опадів та рівномірність їх розподілу, запаси вологи в ґрунті, температура повітря та її перепади.

У результаті проведених досліджень встановлено, що висота рослин після припинення осінньої вегетації в середньому по досліді становила 10,24 см (перший строк сівби – 5 жовтня) і 8,11 см (другий – 15 жовтня), кількість пагонів на одну рослину варіювала в межах 3,35 - 3,10 шт., відповідно, кількість листків – 7,34 і 3,59 шт., маса однієї рослини – 4,59 і 2,76 г, вегетативна маса після взяття проб і абсолютно сухих 25 рослин – 14,35 і 6,22 г та 2,50 і 1,19 г, відповідно.

Найбільшу вегетативну масу перед початком зимівлі розвинули рослини пшениці озимої першого строку сівби (5 жовтня) у 2018/19 вегетаційному році. Залежно від генотипу та погодних умов висота рослин знаходилась в межах 6,10 см (Лютесценс 60107) і 9,10 см (Грація миронівська) в 2019/20 в.р.; 13,63 см (стандарт Подолянка) і 21,28 см (МПП Ассоль) у 2020/21 в.р.; 19,91 см (Лютесценс 55198) і 25,63 см (МПП Ювілейна) у 2018/19м в.р. У 2019/20 в.р. перед зимівлею рослини першого строку сівби сформували незначну вегетативну масу – 6,92 і 2,35 г (Лютесценс 55198) і 3,65 і 6,92 г (Еритроспермум 55023).

Найнижчі показники надземної маси по досліді виявлено в рослин другого строку сівби (15 жовтня) 2019/20 р., що негативно вплинуло на їхню стійкість до несприятливих умов холодного періоду (низькі температури повітря за відсутності снігового покриву) (табл. 3.1).

За результатами аналізу даних морфо-біологічного та спектрального аналізу в середньому за три роки, перед перезимівлею кращими сортами пшениці озимої за першого строку сівби були: МПП Лада (NDVI=0,48), МПП Ювілейна, МПП Дніпрянка (NDVI=0,46), та лінії Еритроспермум 55023, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 (NDVI=0,46) та лінія Лютесценс 55198 (NDVI=0,47). У сорту стандарту Подолянка значення індексу було нижчим (NDVI=0,45).

Дані сорти переважали стандарт за декількома біометричними показниками які подані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Морфо-фізіологічні та спектральні характеристики сортів та ліній пшениці озимої 1-го строку сівби (5 жовтня) на момент припинення осінньої вегетації (МІП, 2018–2020 рр.)

Сорт, лінія	Висота рослини, см	К-ть листків, шт.	К-ть стебел шт.	Маса 1 рослини, г	Маса 25 рослин, г	Маса абсолютно сухих 25 рослин, г	NDVI індекс
МІП Ассоль	16,8	4,4	1,7	0,58	14,74	2,69	0,45
Балада МИР*	15,6	5,2	1,9	0,70	17,14	2,89	0,44
Грація МИР	15,9	4,1	1,6	0,55	14,62	2,68	0,45
ЕР* 55023	15,1	5,3	1,9	0,62	14,92	2,70	0,46
МІП Ювілейна	16,4	3,8	1,3	0,54	12,98	2,37	0,46
МІП Лада	16,1	4,6	1,7	0,65	15,17	2,63	0,48
МІП Дніпрянка	16,3	5,1	1,8	0,58	14,08	2,56	0,46
ЛЮТ* 55198	17,0	5,2	1,9	0,65	16,75	3,03	0,47
ЛЮТ 37519	15,8	4,6	1,7	0,58	14,55	2,49	0,46
ЛЮТ 60049	13,3	5,0	1,9	0,53	12,94	2,37	0,46
ЛЮТ 60107	16,6	4,7	1,7	0,52	13,03	2,37	0,45
Подольянка St	13,1	4,6	1,7	0,47	11,28	2,04	0,45

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютесценс, \*ЕР – еритроспермум.

За другого строку сівби виокремили сорти: МІП Лада та лінію Еритроспермум 55023 (NDVI=0,33). Сорти МІП Ассоль, Балада миронівська, МІП Ювілейна а також лінії Лютесценс 55198 та Лютесценс 60107 мали значення індексу на рівні сорту стандарту Подольянка (NDVI=0,32) (табл. 3.2) (Додаток В.1-В.3).

Таблиця 3.2

Морфо-фізіологічні та спектральні характеристики сортів та ліній пшениці озимої 2-го строку сівби (15 жовтня) на момент припинення осінньої вегетації (МІП, 2018–2020 рр.)

Сорт, лінія	Висота рослин, см	К-ть листків, шт.	К-ть стебел, шт.	Маса 1 рослини, г	Маса 25 рослин, г	Маса абсолютного сухих 25 рослин, г	NDVI індекс
МІП Ассоль	11,5	2,3	1,0	0,23	5,77	1,06	0,32
Балада МИР*	11,5	2,6	1,2	0,31	6,68	1,31	0,32
Грація МИР	10,5	2,2	1,0	0,27	5,77	1,14	0,31
ЕР* 55023	10,6	2,4	1,1	0,28	5,86	1,12	0,33
МІП Ювілейна	11,8	2,6	1,2	0,30	6,42	1,14	0,32
МІП Лада	11,4	2,4	1,1	0,29	6,42	1,31	0,33
МІП Дніпрянка	11,4	2,8	1,2	0,31	6,80	1,28	0,30
ЛЮТ* 55198	11,6	2,6	1,1	0,33	6,83	1,32	0,32
ЛЮТ 37519	11,7	2,2	1,0	0,31	6,39	1,29	0,31
ЛЮТ 60049	10,0	2,8	1,3	0,29	5,79	1,07	0,30
ЛЮТ 60107	11,2	3,0	1,4	0,30	6,00	1,14	0,32
Подольянка St	10,9	2,6	1,2	0,26	5,87	1,15	0,32

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютеценс, \*ЕР – еритроспермум.

### 3.2. Мультиспектральні обліки в період часу відновлення весняної вегетації пшениці озимої

Час відновлення весняної вегетації (ЧВВВ) є одним із найважливіших етапів вегетаційного періоду пшениці озимої. Біометрична та спектральна оцінка пшениці озимої із настанням ЧВВВ дає змогу встановити, як перезимували рослини певного генотипу, а також стан їх росту та розвитку перед початком весняного періоду вегетації. ЧВВВ відіграє помітну роль у житті зимуючих рослин, оскільки значний вплив на їхній ріст і розвиток має інтенсивність і тривалість сонячної радіації (Мединець, 2014). Наростання середньодобової температури повітря сприяє

поступовому відновленню всіх фізіологічних та біохімічних процесів у рослині. Екологічний ефект часу відновлення весняної вегетації (ЧВВВ) дозволяє з високою достовірністю прогнозувати онтогенез пшениці озимої у весняній вегетації. Значною мірою на кінцеву продуктивність культури впливають не стартові умови ЧВВВ (характер і якість сонячної радіації), а більш стабільний показник – тривалість вегетації від її відновлення до колосіння. Чим довший цей період, тим повніше рослини використовують енергію променів Сонця в процесі фотосинтезу. Сутність цього природного явища пов'язана з радіаційним режимом, тривалістю, інтенсивністю та якісним складом сонячного проміння, його винятковою роллю в житті рослинного організму. У період раннього відновлення весняної вегетації інтенсивність синьо-фіолетових променів сонячного спектра є досить низькою, в період пізнього відновлення вона підвищується й переважає інтенсивність червоних променів. Чим пізніше відновлюється вегетація пшениці озимої, тим більше надходить на поверхню посівів сумарної радіації. Тому в роки з пізньою весною рослини ростуть і розвиваються в умовах вищої температури повітря та більшого надходження сонячної енергії. У разі ранньої весни вегетація пшениці озимої відбувається за нижчих температур і повільного їх наростання, що є сприятливішим для регенерації пошкоджених органів, відростання рослин, перебігу всіх ростових процесів (Мединець, 2014; Терещенко, 2014).

Нині, методи фенотипування пшениці озимої є основними методами селекції даної культури в провідних селекційних установах розвинених країн. Усі спектральні дослідження проводяться за допомогою основного, базового в оцінці біомаси індексу NDVI. Останні дослідження демонструють тісні кореляційні зв'язки між показниками NDVI індексу, отриманого під час цвітіння пшениці озимої, та результатами врожайності (Duan et al., 2017).

У природних умовах ріст і розвиток рослин залежать від комплексу зовнішніх факторів: ґрунту, поживних речовин, світла, вологи, тепла тощо. Сприятливе поєднання цих факторів посилює ростові процеси, а в разі їх нестачі або надлишку відмічається послаблення розвитку рослин (Черенков та ін., 2009). Багаторічні спостереження та практика доводять, що в роки, коли вчасно одержані

повноцінні сходи, посіви восени добре розвиваються та мають міцну кореневу систему й, як правило, забезпечують високу урожайність зерна навіть при несприятливих погодних умовах у літні місяці. А слабо розвинуті та зріджені з осені посіви майже завжди низькопродуктивні.

Потреба рослин у теплі характеризується сумою середніх за добу температур після переходу їх через біологічний мінімум за певний період вегетації. Відомо, що під час осінньої вегетації рослини пшениці озимої від сівби до стійкого переходу через  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  повинні пройти другий етап органогенезу, сформувати два – чотири стебла і загартуватися. Для цього їм необхідно набрати суму ефективних температур  $450\text{--}550\text{ }^{\circ}\text{C}$  за умови достатнього вологозабезпечення (Танчик, Мокрієнко & Моторний, 2014). За таких умов в рослинах накопичується достатня на період перезимівлі кількість цукрів, що дозволить краще протистояти жорстким умовам і зимового, і весняно – літнього періодів вегетації.

Гідротермічні умови періоду сходи-ЧПОВ-ЧВВВ по-різному впливали на вегетаційний процес досліджуваних генотипів пшениці озимої. Незалежно від генотипу більш розвинутими були рослини за першого строку сівби. Показники фітоценозу: кількість стебел і листків, висота рослини та її маса наведені в таблиці 3.3. Дані біометричного аналізу, у поєднанні з NDVI індексом, дають можливість більш об'єктивно оцінити стан рослин після перезимівлі та зрозуміти як вони розвиваються, змодельовати відносну врожайність певного генотипу. Впровадження обліку NDVI індексу в селекційний процес дає можливість підвищити ефективність проведення обліків стану рослин пшениці озимої впродовж вегетації: скорочується час на огляд посівів у 5–6 разів і зниження залежності від погодних умов; більшується кількість досліджуваних зразків та суттєво покращується якість отримуваних результатів. У селекціонера є час для інтерпретації даних.

Відомо, що хлорофіл поглинає червоні хвилі: внаслідок цього відбувається фотосинтез, тобто рослина добре росте та розвивається, а клітинна структура відбиває ближнє інфрачервоне світло. Тому спостерігається залежність між значенням NDVI індексу та біометричними показниками надземної біомаси.

Використання обох методів визначення стану рослин пшениці озимої в певний період вегетації дає можливість встановити достовірність відмінностей, що спостерігаються, та дістати необхідну інформацію щодо цінного вихідного матеріалу для селекції на високу продуктивність і адаптивність. Сортові особливості позначилися на рівні розвитку рослин пшениці озимої впродовж вегетації. До кращих сортів і селекційних ліній пшениці озимої за основними біометричними показниками відносились: МПП Дніпрянка, МПП Лада, Балада миронівська, Лютесценс 37519 і Еритроспермум 55023. Вони також відрізнялися найвищим значенням NDVI індексу.

Таблиця 3.3

Біометричні та спектральні показники рослин пшениці озимої першого строку сівби (5 жовтня) на час відновлення весняної вегетації (середнє за 2018/2019–2020/2021 рр.)

Сорт, лінія	Висота рослини, см	Кількість на 1 рослину, шт.		Маса однієї рослини, г	NDVI індекс
		стебел	листіків		
МПП Ассоль	19,2	2,5	8,1	0,86	0,54
Балада МИР*	17,5	2,7	8,9	0,99	0,56
Грація МИР	16,3	2,5	8,0	0,92	0,54
ЕР* 55023	16,8	2,5	8,4	1,07	0,58
МПП Ювілейна	17,3	2,4	8,2	1,00	0,53
МПП Лада	19,7	2,6	7,9	1,08	0,56
МПП Дніпрянка	18,7	3,1	9,1	1,04	0,58
ЛЮТ* 55198	17,1	2,4	8,3	0,93	0,52
ЛЮТ 37519	17,8	4,1	8,4	1,02	0,55
ЛЮТ 60049	16,2	2,2	7,8	0,81	0,53
ЛЮТ 60107	18,0	2,9	8,1	0,95	0,52
Подольянка St	17,0	2,6	8,1	0,77	0,52

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютесценс, \*ЕР – еритроспермум.

За другого строку сівби виокремили сорт МП Дніпрянка та селекційні лінії Лютесценс 37519 і Еритроспермум 55023. Сорти МП Лада та Балада миронівська були на рівні або переважали за деякими морфологічними та спектральними показниками сорт-стандарт Подолянку (табл. 3.4). Ці сорти більш чутливо реагують на строки сівби та потребують довшого періоду осінньої вегетації для накопичення більшої кількості сухих речовин і кращого проходження періоду зимового спокою.

Таблиця 3.4

Биометричні та спектральні показники рослин пшениці озимої другого строку сівби (15 жовтня) на час відновлення весняної вегетації (середнє за 2018/2019–2020/2021 рр.)

Сорт, лінія	Висота рослини, см	Кількість на 1 рослину, шт.		Маса однієї рослини, г	NDVI індекс
		стебел	листоків		
МП Ассоль	16,0	2,1	6,5	0,59	0,43
Балада МИР	15,6	2,2	6,2	0,54	0,44
Грація МИР	13,0	2,0	5,9	0,55	0,43
ЕР 55023	16,0	2,0	6,0	0,64	0,43
МП Ювілейна	13,9	2,3	6,3	0,51	0,42
МП Лада	14,4	1,9	5,7	0,55	0,43
МП Дніпрянка	16,7	2,5	6,9	0,67	0,45
ЛЮТ* 55198	15,0	2,0	5,9	0,54	0,42
ЛЮТ 37519	13,2	3,3	6,8	0,51	0,44
ЛЮТ 60049	14,0	2,2	6,3	0,58	0,43
ЛЮТ 60107	14,5	2,2	6,5	0,49	0,43
Подолянка St	15,0	2,3	6,6	0,57	0,43

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютесценс, \*ЕР – еритроспермум.

Отже, проведені дослідження дали можливість встановити особливості росту та розвитку рослин сучасних сортів і перспективних селекційних ліній пшениці озимої селекції МІП від сівби до часу відновлення весняної вегетації з використанням спектральної та біометричної оцінки. Виділені генотипи мають добре розвинену надземну масу, стійкі проти несприятливих умов для росту та розвитку, здатні формувати високу продуктивність (Додаток В.1-В.3).

### 3.3. Мультиспектральні обліки у фазі цвітіння пшениці озимої

Доведено, що фотосинтетична активність і азотний статус рослини впливають на накопичення сухої речовини й азоту в колосі перед цвітінням і під час його, причому обидва параметри корелюють із кількістю зав'язей (Demotes–Mainard & Jeuffroy, 2004).

За міжнародною класифікацією ВВСН (Федеральне агентство з питань навколишнього середовища і хімічної промисловості, Bayer, BASF, Ciba-Geigy, and Hoechst) фаза цвітіння пшениці визначається макростадією 6, що в свою чергу поділяється на мікростадії: 61 – початок цвітіння (поява перших пиляків), 65 – середина цвітіння (50 % дозрілих пиляків), 67 – повне цвітіння (75 % дозрілих пиляків) і 69 – кінець цвітіння (всі колоски завершили цвітіння, але деякі зневоднені пиляки можуть залишитися) (Meier, 2001). Методи фенотипування пшениці озимої є перспективним напрямком у селекції цієї культури. Найбільш поширеним вегетаційним індексом у спектральній оцінці є NDVI індекс (Rouse et al., 1973). Останні дослідження демонструють тісні кореляційні зв'язки між показниками NDVI індексу, отриманого під час цвітіння пшениці озимої, та рівнем урожайності (Duan et al., 2017). Слід зазначити, що за результатами досліджень кращим періодом проведення спектральної оцінки під час цвітіння пшениці озимої є період між 67–69 мікростадіями ВВСН.

Створення мультиспектральних ортофотопланів в діапазоні хвиль 550–790 нм. із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), дають можливість

швидко і з високою точністю оцінити різні ознаки на різних фазах росту культур (Muhammad et al., 2018).

Враховуючи те, що отримання зображень за допомогою БПЛА є менш трудомістким і, завдяки більш високій точності, ніж проксимальне зондування без зображення, що використовувалось до цього за допомогою ручних приладів по типу GreenSeeker, очікується, що мультиспектральне зондування на основі повітряного БПЛА підвищить об'єми оцінювання зразків й точності отриманих вегетаційних індексів (Maimaitijiang et al., 2017).

За результатами досліджень, незалежно від умов року, встановлено, що показник NDVI у фазу цвітіння-дозрівання мав більші значення для першого строку сівби (середнє значення за три роки для першого строку становить 0,69, для другого – 0,62). У 2019/2020 вегетаційному році, з аномально посушливими погодними умовами осені та весни, були відмічені мінімальні значення індексу. Кращим за період досліджень виявився 2020/2021 вегетаційний рік: значення NDVI варіювало від 0,84 (лінія Лютесценс 55198, другий строк сівби) до 0,92 (сорти МП Ассоль, Грація миронівська, МП Ювілейна та лінії Еритроспермум 55023, Лютесценс 37519, перший строк сівби). Головним чинником, що сприяв такому високому показнику індекса, стали сприятливі погодні умови осіннього періоду вегетації, що дали можливість отримати рівномірні сходи та сформувати по два-три бічні пагони а також вологі й теплі умови навесні.

Існуючі методи фенотипування рослин вважаються повільними, дорогими, іноді є руйнівними і можуть викликати розбіжності між спостереженнями через мінливість людини-оператора. Це призвело до розробки технологій автоматизованого фенотипування, які долають ці недоліки (Rabab et al., 2021).

Збирання, запис і аналіз інформації про досліджувані об'єкти навколишнього середовища на відстані називається дистанційним зондуванням. Методи й техніка дистанційного зондування вегетаційних індексів ґрунтуються на реєстрації поглинутої, відбитої або випромінюваної енергії (Посудін, 2003). Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сільському господарстві для проведення спектральної оцінки має великі перспективи та буде продовжувати розвиватись, як

доступна альтернатива космічному зондуванню (Ачасов, Ачасова & Тітенко, 2015). Основними перевагами останнього є мобільність у використанні, а також краща якість самих спектральних знімків, що в свою чергу залежить безпосередньо від роздільної здатності спектральної камери. Перевагою використання БПЛА з навісною мультиспектральною камерою, проти ручних польових спектрометрів, є короткий термін збору спектральної інформації. В ході вимірювання вегетаційного індексу ручними пристроями може змінюватись інтенсивність та кут нахилу освітлення, що при великій кількості досліджуваних зразків може давати похибку. Більшість мультиспектральних камер, що використовуються у наукових дослідженнях, в тому числі і наша, Parrot Sequoia має датчик інсоляції, який нівелює похибку, що може виникати під дією даного фактору, а сам період збору інформації за допомогою використання БПЛА становить приблизно 10 хв. для досліджуваної площі 960 м<sup>2</sup>.

З усіх основних характеристик фотосинтетичної продуктивності рослин вміст хлорофілу більш точно відображає продукційний процес (Ерошенко, 2016). Тому дані дистанційного зондування посівів можуть бути використані задля моніторингу ходу формування урожайності пшениці озимої. У ряді досліджень доведено, що спектральні вегетаційні індекси є хорошими предикторами індексу листової поверхні, біомаси та продуктивності сільськогосподарських угідь (Жуков та ін., 2013; Paquelo & Lauenroth, 1998).

Як відомо, азот є одним із основних елементів, що формує молекулу хлорофілу (Жолобак та ін., 2020). Здатність сорту або лінії краще засвоювати азот дає можливість сформувати більшу кількість хлорофілу в листках. Оскільки відбиття саме у NIR (790 нм) спектрі характеризує вміст азоту, а RED (550 нм) чутливий до кількості сухих речовин, ріст значення у області відбиття NIR буде підвищувати значення NDVI індексу і, відповідно, демонструвати сорт як той, що має здатність краще засвоювати і розподіляти азот в організмі.

Здатність накопичувати високу концентрацію хлорофілу та продуктів фотосинтезу в прапорцевому та підпрапорцевому листках, а також у верхній частині стебла та елементах колосу, позитивно впливає на врожайні

характеристики сорту. В таблиці 3.5 наведені середні дані по чотирьох повтореннях з оцінки NDVI індексу та врожайності для першого і другого строків сівби.

Таблиця 3.5

Врожайні та спектральні показники рослин пшениці озимої за першого строку сівби (5 жовтня) на момент цвітіння (МПП, 2019–2021 рр.)

Сорт, лінія	Значення NDVI 2019 р.	Врожайність, т/га 2019 р.	Значення NDVI 2020 р.	Врожайність, т/га 2020 р.	Значення NDVI 2021 р.	Врожайність, т/га 2021 р.
МПП Ассоль	0,66	7,64	0,47	3,45	0,80	6,99
Балада МИР*	0,56	7,79	0,53	2,59	0,79	6,13
Грація МИР	0,66	7,90	0,58	2,04	0,67	4,38
МПП Ювілейна	0,61	7,52	0,55	2,43	0,79	6,64
МПП Лада	0,89	7,91	0,45	2,00	0,82	7,07
МПП Дніпрянка	0,79	8,44	0,54	3,58	0,80	6,94
ЕР* 55023	0,64	6,83	0,64	1,28	0,79	6,40
ЛЮТ* 55198	0,69	7,92	0,85	2,05	0,85	7,37
ЛЮТ 37519	0,92	9,05	0,55	0,93	0,80	6,75
ЛЮТ 60049	0,77	8,30	0,62	1,65	0,82	7,24
ЛЮТ 60107	0,77	8,39	0,47	2,52	0,81	7,16
Подольянка St	0,59	7,54	0,70	2,54	0,69	5,04
НІР <sub>0,05</sub>		1,68		0,86		1,21

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютеценс, \*ЕР – еритроспермум.

Зрідження посівів через аномально посушливі умови, що склалися в осінній та ранньо-весняний період 2019/2020 вегетаційного року, не дали можливість отримати достовірні дані.

За результатами досліджень у 2018/2019, 2019/2020 та 2020/2021 вегетаційних роках для першого строку сівби кращими виявились сорти: МПП Лада, МПП Дніпрянка та селекційні лінії: Лютеценс 55198, Лютеценс 37519, Лютеценс

60049 і Лютесценс 60107. Вони перевищували сорт стандарт Подолянку за NDVI індексом від 0,1 до 0,33 і результатами врожайності від 0,37 т/га до 2,33 т/га, відповідно.

Таблиця 3.6

Врожайні та спектральні показники рослин пшениці озимої другого строку сівби (15 жовтня) на момент цвітіння (МПП, 2019-2021 рр.)

Сорт, лінія	Значення NDVI 2019 р.	Врожайність, т/га 2019 р.	Значення NDVI 2020 р.	Врожайність, т/га 2020 р.	Значення NDVI 2021 р.	Врожайність, т/га 2021 р.
МПП Ассоль	0,69	7,57	0,44	3,14	0,73	6,82
Балада МИР*	0,54	7,51	0,41	2,51	0,72	6,11
Грація МИР	0,54	7,80	0,44	2,21	0,71	7,07
МПП Ювілейна	0,56	7,33	0,33	2,85	0,72	5,87
МПП Лада	0,79	7,39	0,31	2,49	0,80	6,96
МПП Дніпрянка	0,66	8,14	0,47	2,77	0,74	6,39
ЕР* 55023	0,56	5,59	0,42	1,04	0,69	5,64
ЛЮТ* 55198	0,64	7,93	0,59	2,23	0,82	7,41
ЛЮТ 37519	0,92	7,56	0,48	1,37	0,70	5,81
ЛЮТ 60049	0,77	7,98	0,54	1,31	0,75	7,21
ЛЮТ 60107	0,71	8,19	0,39	2,30	0,78	6,43
Подолянка St	0,51	6,66	0,66	3,59	0,72	6,88
НІР <sub>0,05</sub>		1,54		0,92		1,18

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютесценс, \*ЕР – еритроспермум.

За результатами другого строку сівби кращими виявились сорт МПП Лада та селекційні лінії Лютесценс 55198 і Лютесценс 60049. МПП Дніпрянка, Лютесценс 37519 та Лютесценс 60107 перевищували сорт стандарт Подолянку за значенням NDVI індексу та рівнем врожайності лише у 2018/2019 вегетаційному році досліджень. До сортів, що також переважали сорт стандарт за обох сприятливих років досліджень, віднесено МПП Ассоль та Грація миронівська (табл. 3.6).

Виходячи з одержаних результатів, можна зробити висновок, що дані сорти менше реагують на умови строку сівби і здатні забезпечувати високі врожайні показники за пізніх строків.

Повний перелік даних, в тому числі і структурний аналіз колосу наведено у Додатках (Додаток Г.1 – Г.2).

### 3.4 Якісні показники зерна досліджуваних сортів та селекційних ліній

Дефіцит білка є однією з найгостріших проблем сучасності. Світове споживання його на душу населення становить біля 60 г на добу за біологічної норми 70 г з усієї загальної кількості білка, що виробляється в світі, 75 % становить білок рослинного походження. Нині є непоодинокі випадки, коли вміст білка становить 8,0–9,5 %, а міжнародні зернотрейдери зараз купують не стільки збіжжя, скільки вміст у ньому білка (Крамарьов, Жемела & Шакалій, 2014). За даними О. І. Рибалки, Б. В. Моргуна в 2010–2012 рр. тільки близько 8 % зерна пшениці м'якої озимої з півдня України мали оптимальні для хлібопекарної промисловості показники якості (Рибалка, Моргун & Починок, 2012). До того ж, через світову кризу від пандемії, а наразі і через військову агресію Російської Федерації, Україна вкотре зіштовхнулася із здорожченням ТМЦ (с/г товарно – матеріальні цінності, обігові засоби виробництва) та ПММ (паливно – мастильні матеріали), а також логістичними проблемами. Все це створює передумови для розвитку виробництва зерна пшениці високих категорій та як результат збільшення рентабельності сільськогосподарської продукції. Відомо, що вміст білка в зерні та вміст клейковини спадкоємні і значною мірою залежать від сорту культури (Починок & Радченко, 2011).

Селекція пшениці озимої останніми десятиріччями була спрямована на підвищення врожайності, що не завжди супроводжується підвищенням якості її зерна. Однією з причин цього є те, що одночасний добір генотипів на продуктивність, якість та стійкість до біотичних і абіотичних чинників виявився складним завданням через наявні між ними зворотні кореляційні залежності. У

технологічному відношенні підвищенню якості та продуктивності зерна пшениці озимої можна сприяти підбором адаптивних до місцевих умов сортів з відповідною системою удобрення (Бараболя, 2008, Звонар & Мірошніченко, 2020, Попов, 2000).

Аналізуючи показники якості зерна досліджуваних сортів та селекційних ліній за першого строку сівби за три досліджуваних роки можна відзначити, що за показником маса 1000 зерен перевищували сорт стандарт Подолянку (43,2 г) лінії Еритроспермум 55023 (45,1 г) та Лютесценс 55198 (44,7 г.) при середньому показнику по досліді – 42,4 г. За показником склоподібності зерна стандарт Подолянку (81,3 %) перевищували всі досліджувані сорти та селекційні лінії, окрім МП Ассоль (77,7 %).

Показники вмісту білка у досліджуваних сортів і ліній варіювали від 9,5 до 12,8 %, тоді як у сорту стандарту Подолянка цей показник знаходився на рівні 9,0 %, проте у сорту МП Ассоль цей показник був нижчим, ніж у стандарті і становив 8,2 %. За вмістом клейковини сорт стандарт Подолянку (24,4 %) перевищували сорти Балада МИР, Грація МИР та МП Дніпрянка – 25,1 %, 26,2 %, 25,2 %, відповідно, та лінії Еритроспермум 55023, Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 та Лютесценс 60107 – 29,9 %, 25,2 %, 29,3 %, 26,4 %, 26,6 %, 26,0 %, відповідно. У більшості сортів та селекційних ліній відмічено вищий показник ІДК, у порівнянні з контролем Подолянка (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Показники якості зерна досліджуваних сортів та селекційних ліній пшениці озимої за 1-го строку сівби (5 жовтня)  
(МПП, 2019–2021 рр.)

Назва сорту, лінії	Маса 1000 зерен, г			Середнє за 2019 - 2021 рр.	Склоподібність зерна, %			Середнє за 2019 - 2021 рр.	Вміст білка, %			Середнє за 2019 - 2021 рр.	Вміст клейковини, %			Середнє за 2019 - 2021 рр.	ІДК			Середнє за 2019 - 2021 рр.
	2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.	
МПП Ассоль	44,2	37,3	40,2	<b>40,6</b>	87	93	53	<b>77,7</b>	8,1	9,4	7,0	<b>8,2</b>	19,8	24,1	18,2	<b>20,7</b>	84	57	56	<b>65,7</b>
Балада МИР*	45,1	42,1	39,9	<b>42,4</b>	91	95	74	<b>86,7</b>	9,8	13,4	7,5	<b>10,2</b>	21,9	30,2	23,1	<b>25,1</b>	80	73	54	<b>69,0</b>
Грація МИР	48,9	34,9	41,8	<b>41,9</b>	95	87	72	<b>84,7</b>	10,2	12,5	7,5	<b>10,1</b>	23,6	30,3	24,7	<b>26,2</b>	112	80	105	<b>99,0</b>
ЕР* 55023	49,8	41,5	44,0	<b>45,1</b>	97	88	74	<b>86,3</b>	12,7	15,0	8,0	<b>11,9</b>	27,6	37,0	25,0	<b>29,9</b>	110	92	93	<b>98,3</b>
МПП Ювілейна	48,6	38,0	40,6	<b>42,4</b>	83	85	83	<b>83,7</b>	8,8	10,8	9,0	<b>9,5</b>	19,5	25,1	24,0	<b>22,9</b>	90	49	54	<b>64,3</b>
МПП Лада	45,9	37,0	41,8	<b>41,6</b>	93	96	79	<b>89,3</b>	9,4	12,6	8,7	<b>10,2</b>	18,8	27,3	24,6	<b>23,6</b>	84	54	79	<b>72,3</b>
МПП Дніпрянка	47,3	40,6	40,2	<b>42,7</b>	93	95	74	<b>87,3</b>	10,2	11,5	8,3	<b>10,0</b>	24,0	26,9	24,6	<b>25,2</b>	102	72	81	<b>85,0</b>
ЛЮТ* 55198	50,0	41,2	42,8	<b>44,7</b>	98	94	91	<b>94,3</b>	11,8	12,1	14,5	<b>12,8</b>	24,5	28,7	34,8	<b>29,3</b>	76	57	88	<b>73,7</b>
ЛЮТ 37519	46,5	39,4	37,0	<b>41,0</b>	93	96	84	<b>91,0</b>	12,1	11,8	11,1	<b>11,7</b>	24,3	26,6	28,2	<b>26,4</b>	66	41	88	<b>65,0</b>
ЛЮТ 60049	46,3	37,6	39,9	<b>41,3</b>	93	93	66	<b>84,0</b>	10,7	12,1	7,8	<b>10,2</b>	26,1	30,8	23,0	<b>26,6</b>	59	51	92	<b>67,3</b>
ЛЮТ 60107	45,9	38,7	40,0	<b>41,5</b>	91	94	68	<b>84,3</b>	10,9	9,9	11,2	<b>10,7</b>	22,5	25,7	29,9	<b>26,0</b>	105	53	89	<b>82,3</b>
Подольянка – ст.	50,1	37,7	41,8	<b>43,2</b>	84	90	70	<b>81,3</b>	8,3	10,3	8,3	<b>9,0</b>	20,2	26,5	26,5	<b>24,4</b>	69	78	69	<b>72,0</b>
х	<b>47,1</b>	<b>38,9</b>	<b>40,7</b>	<b>42,3</b>	<b>92,2</b>	<b>92,4</b>	<b>74,4</b>	<b>86,3</b>	<b>10,4</b>	<b>11,9</b>	<b>9,1</b>	<b>10,5</b>	<b>23,0</b>	<b>28,4</b>	<b>25,5</b>	<b>25,6</b>	<b>88,0</b>	<b>61,7</b>	<b>79,9</b>	<b>76,5</b>

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютесценс, \*ЕР – еритроспермум.

Таблиця 3.8

Показники якості зерна досліджуваних сортів та селекційних ліній пшениці озимої за 2-го строку сівби (15 жовтня)  
(МІП, 2019–2021 рр.)

Назва сорту, лінії	Маса 1000 зерен, г			Середнє за 2019 - 2021 рр.	Склоподібність зерна, %			Середнє за 2019 - 2021 рр.	Вміст білка, %			Середнє за 2019 - 2021 рр.	Вміст клейковини, %			Середнє за 2019 - 2021 рр.	ІДК			Середнє за 2019 - 2021 рр.
	2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.		2019 р.	2020 р.	2021 р.	
МІП Ассоль	44,9	33,4	38,4	<b>38,9</b>	93	92	40	<b>75,0</b>	9,1	11,4	9,0	<b>9,8</b>	21,5	27,6	24,5	<b>24,5</b>	80	59	45	<b>61,3</b>
Балада МИР*	47,0	41,1	39,6	<b>42,6</b>	91	91	78	<b>86,7</b>	9,3	12,3	10,1	<b>10,6</b>	21,8	29,1	27,2	<b>26,0</b>	91	60	51	<b>67,3</b>
Грація МИР	46,2	36,5	41,0	<b>41,2</b>	95	93	50	<b>79,3</b>	10,7	13,4	10,0	<b>11,4</b>	28,6	32,9	28,3	<b>29,9</b>	120	70	117	<b>102,3</b>
ЕР* 55023	49,4	36,4	41,2	<b>42,3</b>	90	91	41	<b>74,0</b>	12,2	14,2	10,4	<b>12,3</b>	24,6	33,0	27,6	<b>28,4</b>	120	91	60	<b>90,3</b>
МІП Ювілейна	43,2	37,1	39,0	<b>39,8</b>	84	92	46	<b>74,0</b>	9,8	12,0	8,0	<b>9,9</b>	24,1	30,5	22,6	<b>25,7</b>	95	54	64	<b>71,0</b>
МІП Лада	44,8	35,2	38,8	<b>39,6</b>	91	96	68	<b>85,0</b>	10,4	12,4	9,3	<b>10,7</b>	21,9	29,7	25,8	<b>25,8</b>	76	56	80	<b>70,7</b>
МІП Дніпрянка	49,3	37,2	38,7	<b>41,7</b>	98	95	52	<b>81,7</b>	12,1	12,3	12,5	<b>12,3</b>	27,2	27,2	27,9	<b>27,4</b>	118	88	88	<b>98,0</b>
ЛЮТ* 55198	49,4	38,8	44,3	<b>44,2</b>	87	95	60	<b>80,7</b>	10,6	12,7	10,8	<b>11,4</b>	27,8	27,9	26,6	<b>27,4</b>	88	62	75	<b>75,0</b>
ЛЮТ 37519	44,3	41,4	37,5	<b>41,1</b>	91	94	47	<b>77,3</b>	10,6	13,8	12,5	<b>12,3</b>	24,1	29,7	27,6	<b>27,1</b>	91	42	62	<b>65,0</b>
ЛЮТ 60049	44,3	35,6	38,5	<b>39,5</b>	88	95	61	<b>81,3</b>	10,7	14,8	13,0	<b>12,8</b>	25,7	31,4	30,3	<b>29,1</b>	66	40	70	<b>58,7</b>
ЛЮТ 60107	44,5	39,4	39,5	<b>41,1</b>	81	96	37	<b>71,3</b>	9,3	10,9	10,9	<b>10,4</b>	20,4	24,1	25,9	<b>23,5</b>	83	56	72	<b>70,3</b>
Подольянка – ст	47,1	37,6	39,0	<b>41,2</b>	83	93	49	<b>75,0</b>	9,3	10,6	9,8	<b>9,9</b>	24,7	26,4	25,1	<b>25,4</b>	102	63	73	<b>79,3</b>
х	<b>46,1</b>	<b>37,5</b>	<b>39,7</b>	<b>41,1</b>	<b>89,9</b>	<b>93,6</b>	<b>52,7</b>	<b>78,8</b>	<b>10,4</b>	<b>12,7</b>	<b>10,6</b>	<b>11,3</b>	<b>24,3</b>	<b>29,4</b>	<b>26,8</b>	<b>26,8</b>	<b>93,5</b>	<b>61,6</b>	<b>71,3</b>	<b>75,5</b>

Примітка: \*МИР – миронівська, \*ЛЮТ – лютесценс, \*ЕР – еритроспермум.

За другого строку сівби показники маси 1000 зерен у досліджуваних сортів та селекційних ліній знаходились у межах 38,9 г (МПП Ассоль) – 44,2 г (Лютесценс 55198) і були наближені до значення цього показника у сорту стандарту Подолянка – 41,2 г. За склоподібністю сорт стандарт Подолянку (75,0 %) перевищували майже всі досліджувані сорти та селекційні лінії за виключенням МПП Ювілейна (74,0 %), Еритроспермум 55023 (74,0 %) та Лютесценс 60107 (61,7 %). Вміст білку у досліджуваних сортів і ліній знаходився у межах 9,8–12,8 % і перевищував стандарт Подолянку (9,9 %), окрім сорту МПП Ассоль (9,8 %). Вміст сирої клейковини у сорту стандарту Подолянка знаходився на рівні 25,4 %, а у досліджуваних сортів та селекційних ліній даний показник варіював у межах 23,5 % (Лютесценс 60107) – 29,9 % (Грація миронівська). За показником ІДК всі досліджувані сорти і лінії уступали стандарту Подолянка (79,3), за виключенням сортів Грація МИР та МПП Дніпрянка, які перевищували стандарт за даним показником – 102,3 та 98,0, відповідно та лінія Еритроспермум 55023 – 90,3, при середньому значенню показника ІДК по досліді – 75,8 (табл. 3.8).

### **Висновки до розділу 3.**

1. За результатами трирічних морфо-біологічних та спектральних досліджень, за обох строків сівби, на момент часу припинення осінньої вегетації кращими із досліджуваних генотипів виявили: МПП Лада, МПП Ювілейна, МПП Дніпрянка, МПП Ассоль, Балада миронівська та лінії Еритроспермум 55023, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 та лінія Лютесценс 55198. Найвище значення NDVI індексу спостерігалось у сорту МПП Лада та лінії Еритроспермум 55023 (NDVI 0,33–0,48), сорт стандарт Подолянка мав значення NDVI індексу в межах 0,32–0,45.

2. За основними біометричними показниками упродовж трьох років під час відновлення весняної вегетації за обох строків сівби серед досліджуваних генотипів виділились: МПП Дніпрянка, МПП Лада, Балада миронівська, Лютесценс 37519 і Еритроспермум 55023. Вони також

відрізнялися найвищим значенням NDVI індексу (0,43–0,58). При тому стандарт мав значення NDVI індексу на рівні 0,53–0,42. Сорти МПП Лада та Балада миронівська були на рівні або переважали за деякими морфологічними та спектральними показниками сорт-стандарт Подолянку. Ці сорти більш чутливо реагують на строки сівби та потребують довшого періоду осінньої вегетації для накопичення більшої кількості сухих речовин і кращого проходження періоду зимового спокою.

3. За результатами врожайності, спектральної оцінки та морфологічними показниками за першого строку сівби у фазі цвітіння, кращими протягом трьох років досліджень виділено наступні сорти: МПП Лада, МПП Дніпрянка та селекційні лінії: Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 і Лютесценс 60107. Врожайність даних генотипів перевищувала стандарт від 0,37 т/га до 2,33 т/га, відповідно. Вони також перевищували сорт стандарт Подолянку за NDVI індексом від 0,1 до 0,33. За результатами другого строку сівби, кращими виявились сорт МПП Лада та селекційні лінії Лютесценс 55198 і Лютесценс 60049. МПП Дніпрянка, Лютесценс 37519 та Лютесценс 60107 перевищували сорт стандарт Подолянку за значенням NDVI індексу та рівнем врожайності лише у 2018/2019 вегетаційному році досліджень. Сорти МПП Ассоль та Грація миронівська переважали сорт стандарт Подолянку за обох строків сівби як за значенням NDVI індексу так і за результатами врожайності. На основі цього можна зробити висновок, що дані сорти менш чутливі до строків сівби і добре себе проявляють навіть при пізніх строках посіву.

4. Показник склоподібності у всіх досліджуваних генотипів був на рівні або вище сорту Подолянка, окрім МПП Ассоль для першого строку сівби і МПП Ювілейна, Еритроспермум 55023 та Лютесценс 60107 для другого строку відповідно. За вмістом білка та сирі клейковини також досліджувані сорти та селекційні лінії визначили себе на рівні або вище сорту стандарту, окрім сорту МПП Ассоль як для першого так і для другого строку сівби. Селекційна лінія Лютесценс 60107 мала вміст сирі клейковини нижче на

0,9 % ніж у Подолянки лише під час другого строку сівби. Звідси можна зробити висновок, що дана лінія більш чутлива до пізніх термінів сівби та потребує більшої суми температур у весняно-літній період для формування високих показників якості.

Результати досліджень розділу 3 висвітлені у наукових працях, які наведено в списку використаних джерел (Топко та ін, 2021 а., Топко та ін, 2022 б., Топко & Kovalyshyna, 2022).

## РОЗДІЛ 4

### СТАТИСТИЧНІ ОБРАХУНКИ ОТРИМАНИХ ДАНИХ

Для задоволення прогнозованого попиту на такі основні культури, як пшениця, необхідне постійне її генетичне удосконалення, швидкість якого нижча від необхідної (Ray et al., 2013). Останнім часом, селекція рослин як і традиційне рослинництво зазнало неабияких змін, особливо у цифровізації процесів. Нові досягнення у точному землеробстві, особливо ті, що пов'язані із використанням супутникових спектральних знімків дають нам можливість виявляти недоліки у живленні, захисті рослин, ґрунтову неоднорідність, прогнозувати врожайність.

Впровадження цифрових методів польової діагностики в селекційний процес відкриває багато нових можливостей. Розробка та впровадження останніх дозволяє нівелювати суб'єктивну оцінку селекціонера під час польових окомірних обліків а також збільшити обсяг досліджуваного селекційного матеріалу.

Фенотипування рослин є важливим етапом в ідентифікації батьківських форм для використання в селекційних програмах створення покращених сортів (Chawade et al., 2019). У цьому контексті для використання у селекційних програмах фенотипування викликає інтерес безпілотний літальний апарат (БПЛА) як недорогий, швидкий, доступний та ефективний польовий інструмент для збору даних щодо ряду особливостей сільськогосподарських культур (Bendig et al., 2015).

Є переваги використання БПЛА для отримання даних з високою просторовою та часовою роздільною здатністю (Charman et al., 2014), зокрема з невеликих ділянок (Haghighattalab et al., 2016, Zhang et al., 2019) навіть окремих рослин (Lee et al., 2023).

Оснащені відповідними датчиками, БПЛА можуть зібрати масив даних про відбивну здатність в електромагнітному спектрі для отримання важливої інформації та оцінки агрономічних та фізіологічних ознак рослин, яка

базується на спектральних індексах рослинності. Такі вимірювання використовували як непрямий підхід для оцінки ряду параметрів, таких як:

- індекс площі листя (LAI) (Potgieter et al., 2017);
- частка перехопленого фотосинтетично активного випромінювання (Guillen-Climent et al., 2012);
- біомаса (Bendig et al., 2015; Cabrera-Bosquet et al., 2011; Acorsi et al., 2019);
- висота рослин (Bendig et al., 2015; Hassan et al., 2019);
- оцінка хвороб (Su et al., 2018);
- температура стеблостою (Rutkoski et al., 2016);
- дефіцит води (Hoffmeister et al., 2016);
- покриття посіву (Bendig et al., 2015);
- статус росту і розвитку (Du & Noguchi, 2017; Olanrewaju et al., 2019);
- урожайність (Yang & Everitt, 2002; Duan et al., 2019; Wang et al., 2019).

БПЛА можна використати для високопродуктивних вимірювань при вивченні окремих агрономічних і фізіологічних ознак рослин для оцінки генотипів, вибору батьківських форм і оцінки потомств у великому масштабі у програмах селекції пшениці (Sun et al., 2019).

Проте практично відсутня інформація про можливість використання спектральних вегетаційних індексів для оцінки генетичного потенціалу та цінності матеріалу пшениці за інтегральними ознаками. Фенотипові значення, які зазвичай використовуються при одночасному відборі, не завжди відповідають генетичній перевазі.

Дисперсійний аналіз засвідчує про суттєвий вплив усіх факторів експерименту (рік досліджень, строк посіву, генотип) та їх взаємодій). Середні значення ознак за факторами дослідження наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Середні значення ознак за факторами досліду, 2018–2021 рр.

Сорт, лінія	Код*	Ознаки**								
		Yield	NDVI sv	NDVI rv	NDVI an	PH	GrE	WKE	MoK	DVP
МПП Ассоль	A	5,96	0.390	0.482	0.668	101,59	44,03	1,90	42,63	214,5
Балада МИР	B	5,46	0.390	0.500	0.670	103,03	43,47	1,99	45,25	212,3
Грація МИР	G	5,25	0.383	0.482	0.602	98,69	42,14	1,89	44,98	213,7
EP 55023	E	4,02	0.398	0.483	0.618	87,28	44,03	1,89	42,61	205,2
МПП Ювілейна	U	5,41	0.383	0.487	0.605	98,52	41,34	1,62	39,29	212,5
МПП Лада	L	5,66	0.397	0.492	0.663	95,81	43,76	1,94	44,57	214,7
МПП Дніпрянка	D	6,02	0.383	0.498	0.583	102,84	41,75	1,81	42,94	212,8
Подільянка St	P	5,39	0.383	0.475	0.645	102,53	40,19	1,72	43,01	213,3
ЛЮТ 55198	L98	5,83	0.377	0.488	0.737	102,43	45,73	2,11	46,34	211,2
ЛЮТ 37519	L19	5,27	0.402	0.503	0.770	89,91	43,86	1,79	40,22	211,3
ЛЮТ 60049	L49	5,67	0.370	0.480	0.672	94,04	41,87	1,80	42,96	211,3
ЛЮТ 60107	L107	5,82	0.387	0.457	0.630	102,32	41,47	1,84	44,32	212,2
Середні значення за факторами										
Рік	2019	7.70	0.340	0.641	0.685	99,5	45,5	2,16	46,8	216,1
	2020	2.29	0.235	0.240	0.518	87,8	49,5	1,34	38,2	198,3
	2021	6.53	0.586	0.576	0.763	108,4	33,0	2,06	40,1	222,5
Строк посіву	1	5.57	0.458	0.539	0.693	101,1	42,6	1,87	42,4	217,6
	2	5.45	0.316	0.432	0.618	95,8	42,9	0,00	41,1	206,9

\* – код генотипу та ознак введені через несприйняття програмним забезпеченням кирилических символів; МИР – миронівська, EP – Еритроспермум і ЛЮТ – Лютесценс.

\*\* – Yield – урожай (т/га), NDVI<sub>sv</sub> – індекс NDVI на час припинення вегетації (безрозмірна величина), NDVI<sub>rv</sub> – індекс NDVI на час відновлення вегетації, NDVI<sub>an</sub> – індекс NDVI на час цвітіння, PH – висота рослин (см), GrE – кількість зерен у колосі (шт.), WKE – маса зерна з колоса (г), MoK – середня маса зернівки (мг) або TgW – маса 1000 зерен (г), DVP – тривалість періоду сходи–колосіння (дів).

Регресійна залежність між показниками вегетаційних індексів та врожайністю зерна пшениці дозволяє передбачити останню.

У нашому дослідженні сила кореляцій між БПЛА-NDVI та врожайністю була порівняна з тією, про яку повідомляли інші автори. (Hassan M.A. et al., 2019) дійшли висновку, що мультиспектральний датчик, встановлений на БПЛА, є надійною платформою для вимірювання NDVI для прогнозування біомаси пшениці та врожайності.

Прості лінійні регресії та прості множинні регресії не забезпечували прийнятної точності передбачення. Включення до моделі множинної регресії всіх досліджуваних 288 кейсів, а саме:

- 12 генотипів;
- 2 строки посіву;
- 3 роки досліджень;
- 4 повторення;
- 42 параметри (морфобіологічні параметри, параметри структури урожаю, інтегральні параметри погоди і навколишнього середовища)

дало можливість підвищити точність прогнозу.

Покрокова множинна регресія забезпечила точність у 20 % похибки. При цьому слід зазначити, що прості моделі стосуються тільки досліджуваного набору даних. Коефіцієнти детермінації регресій між передбаченими і спостережуваними значеннями ( $R^2$ ) і похибки – середня абсолютна похибка (MAE), середня квадратична помилка (MSE), середня абсолютна відсоткова помилка (MAPE), яка власне визначає точність – наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Коефіцієнти детермінації регресійних моделей передбачення врожайності зерна за вегетаційними індексами під час припиненні вегетації (NDVIsv), відновленні вегетації (NDVIrv), цвітінні (NDVIan) та іншими показниками

Регресії	Фактори впливу (предиктори моделі)*	R <sup>2</sup>	MAE	MSE	MAPE
Прості лінійні регресії	NDVIrv	0,38	1,93	0,91	39,20
	NDVIan	0,64	1,24	0,83	32,20
Множинні лінійні регресії	NDVIrv+NDVIan	0,69	1,23	0,81	28,20
	NDVIsv+NDVIrv+NDVIan	0,78	1,14	0,80	25,20
Множинна покрокова	PtC, AMS, NDVIan, NDVIsv, NDVIrv, DVP, SDI, PH, GDD, MoK, GpE, SPP, WKE	0,80	0,75	0,73	20,20
Множинна хребтова з навчанням	NDVIsv, NDVIrv, NDVIan, SPP, DVP, MoK, GpE	0,84	0,64	0,66	12,17
Багаточаровий перцептон	NDVIsv, NDVIrv, NDVIan, NDVIsu, MoK, PH, DVP, SPP, GDD	0,98	0,23	0,19	6,68
Регресія випадкових лісів	NDVIrv, NDVIan, NDVIsu, MoK, PH, SpL, DVP, SPP, GDD	0,95	0,38	0,25	10,66
Регресія опорних векторів	NDVIsv, NDVIrv, NDVIan, SPP, DVP, MoK, GpE, GDD	0,96	0,36	0,23	9,45

\* наведені суттєві предиктори, позначення відповідають таблиці 4.1.

Проте, на нашу думку, точності передбачення (>20 % похибки навіть для множинної покрокової регресії) очевидно недостатньо для надійного добору більш продуктивних генотипів серед групи дуже близьких за параметрами генотипів у кінцевих ланках селекційного процесу, а на початкових – може призвести до втрати цінних генотипів. Значно підвищити точність прогнозу може використання алгоритмів глибинного навчання (Le Cun, Bengio & Hinton, 2015). Ці методи можна використовувати для підбору моделі регресії, коли в даних є мультиколінеарність (значна скорельованість параметрів), і після навчання і виключення несуттєвих у моделі залишились лише суттєві предиктори (прогнозні змінні), у тому числі пов'язані з умовами середовища

(сума опадів, сума ефективних температур та тривалість вегетаційного періоду).

Ми використали хребтову множинну регресію, регресію випадкових лісів (random forest), регресію опорних векторів та багатошаровий перцептон (послідовна штучна нейронна мережа, яка складається з одного вхідного рівня, одного прихованого шару та одного вихідного рівня). Методи регуляризації і оцінки важливості параметрів дають можливість виключати несуттєві предиктори з моделі.

Різні моделі включали, окрім індексу NDVI виміряного в різні періоди, різні набори предикторів, окрім зазначених у таблиці 4.1, сюди було включено суму ефективних температур від сходів до цвітіння – GDD, суму опадів – SPP, довжину колоса – SpL, індекс щільність колоса – SDI (кількість колосків на одиницю довжини колоса). Цільовою функцією є урожай (Yield).

Такі моделі складніші для розуміння та інтерпретації, вони є нелінійними, проте перевагою моделей з навчанням є теоретична можливість використовувати їх для оціювання нових наборів даних.

Такі підходи останнім часом знаходять все ширше застосування. Отримані моделі не обов'язково є найкращими, проте вони вказують на тісний зв'язок між урожайністю і спектральними характеристиками посіву, які імовірно можна використати в селекційних програмах для добору кращих генотипів.

Враховуючи це, важливо дослідити можливість одночасного генетичного поліпшення озимої пшениці за урожайністю, показником NDVI<sub>an</sub> (який відображає цілий набір біофізичних та фізіологічних показників, зокрема, це індекс листової поверхні, частка фізіологічно активної перехопленої радіації, загальна біомаса, ефективність засвоєння і накопичення азоту тощо) і агрономічно важливими ознаками, такими як кількість зерен у колосі, маса зернівки (маса 1000 зерен) і, принаймні, без збільшення висоти рослин і тривалості вегетаційного періоду.

При доборі за фоною ознакою, у якості якої в даному контексті можуть виступати вегетаційні індекси, важливо, щоб генетично обумовлена варіація такої ознаки була більшою від генетичної варіації цільової ознаки, якою є врожайність зерна, і мати високу успадкованість.

Аналіз АММІ дозволяє ідентифікувати високопродуктивні лінії, адаптовані до конкретних середовищ. У подальшому аналізі вплив року, строку посіву і їх взаємодія об'єднали у фактор середовища (E), вплив взаємодії генотипу і факторів середовища об'єднали у фактор GEI (Genotype Environment Interaction) і виокремлювали фактор генотипу (G). Дані про врожайність зерна 12 досліджуваних генотипів протягом трьох послідовних років при двох строках посіву (шість тестових середовищ) були оброблені з використанням комбінованого аналізу ANOVA та АММІ після підтвердження однорідності дисперсій. Середні квадрати комбінованого дисперсійного аналізу вказують на те, що середовища (об'єднано роки і строки посіву), генотипи і взаємодії (GEI) показали значні варіації на 0,1 % рівні ( $p < 0.001$ ) за врожайністю зерна та іншими ознаками (табл. 4.3).

Генотипи внесли значну частку загальної варіації (8,6–21,6 %), тоді як навколишнє середовище та GEI внесли 8,6–21,6 і 1,42–32,4 %, відповідно. Крім того, проведений аналіз засвідчує, що GEI значною мірою пояснюється першими чотирма РС. Серед них РС1 (перший головний компонент) вніс 36,4–75,5 % у загальний GEI, а другий, третій і четвертий – відповідно менше.

Вибір найкращих ліній повинен здійснюватися на основі оцінок продуктивності, а також широкої адаптивності (Gauch, 2013). Стабільні генотипи забезпечують стабільну врожайність без особливих коливань щороку.

Таблиця 4.3

Аналіз адитивних основних ефектів і мультиплікативної взаємодії (АММІ) врожайності зерна та інших ознак 12 генотипів пшениці озимої в шести тестових середовищах протягом вегетаційних сезонів 2018–2021 рр., % від загального варіювання

Джерело варіювання	Урожай, Yield	NDVI <sub>rv</sub>	NDVI <sub>an</sub>	Висота рослин PH	Маса зернівки МоК	Кількість зерен в колосі GrE
Середовище E	44,76	67,14	47,42	60,19	83,03	79,22
Генотип G	17,13	13,47	21,58	19,73	8,56	12,75
GEI	32,41	17,18	29,47	18,16	1,42	5,59
PC1*	36,89	75,54	56,80	54,70	46,18	51,80
PC2	33,55	13,11	31,02	23,29	39,81	25,34
PC3	13,45	5,89	5,74	15,07	7,12	13,38
PC4	9,77	4,45	5,24	4,17	6,38	6,98
PC5	6,34	1,01	1,20	2,77	0,51	2,49
PC6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Залишок R	5,70	2,20	1,53	1,91	7,00	2,44

\* головний компонент (PC)

Водночас загальновідомо, що селекціонери віддають перевагу сорту з найвищою врожайністю і середньою стабільністю, а не високостабільному генотипу з урожайністю вище чи на рівні середньої. Тому вибір генотипу просто на основі середньої врожайності зерна під час оціночних випробувань може ввести в оману щодо вибору генотипу, який може не зберігатися протягом тривалого часу через його низьку стабільність.

Аналіз головних компонентів (PCA) багатовимірного аналізу дозволяє легше зрозуміти ефекти та зв'язки між різними ознаками і з'ясовує генотипові відмінності між набором заданих ознак. Головні компоненти є ортогональними, тобто кореляція між ними дорівнює нулю. Кут між векторами ознак показує кореляцію між ними – чим гостріший кут, тим сильніша позитивна кореляція, і чим такий кут більший, тим слабша кореляція. Кут 90° відповідає нульовій кореляції, кути більші 90° (до 180°) відповідають негативним (від'ємним) кореляціям. Перші два головні компоненти (PC) пояснюють 57,4 % загальної варіації. PC1 пояснює 44,5 % загальної дисперсії, а PC2 пояснює 18,3 %

загальної дисперсії (рис. 4.1). Фенологічні ознаки SPP і DVP продемонстрували сильну позитивну кореляцію, за якою йшла їх слабша позитивна кореляція з PH. Сильно скорельованими виявились урожай і NDVI<sub>grv</sub> та NDVI<sub>an</sub>, тоді як NDVI<sub>sv</sub> мав слабшу кореляцію з урожаєм зерна. GrE продемонструвала негативну кореляцію з більшістю ознак. Слабшу кореляцію спостерігали між TgW та іншими ознаками. Це вказує на принципову можливість добору за NDVI на збільшення продуктивності. Аналіз основних компонентів засвідчує відсутність чіткої структури серед досліджуваних кейсів і це було очікувано, оскільки популяція була з одного розсадника. Проте певна стратифікація все ж спостерігалась, що, як і результати ANOVA (див. табл. 4.3) свідчить про значну взаємодію генотипу і середовища ( $G \times E$ ). Така взаємодія значно ускладнює процес селекції, особливо за ознаками, які мають складну полігенну структуру, і вимагає проведення багатосередовищних випробувань для достовірної оцінки перспективних генотипів, при цьому ідентифікація високоурожайних і стабільних генотипів дуже важлива для селекціонера, щоб сорт могли довше використовувати у виробничих умовах.

GGE-біплат дозволяє візуалізувати селекційні лінії щодо продуктивності та стабільності. Аналіз біплоту GGE, згідно з (Yan & Hunt, 2002; Yan & Tinker, 2006), показав, що для урожайності на горизонтальну вісь (PC1) припадало 56,8 % загальної варіації (основним був вплив генотипів), тоді як на вертикальну вісь (PC 2) припадало 31,02 % (стабільність), для показника NDVI<sub>an</sub> – 38,9 і 33,6 %, відповідно (рис. 4.2). Вісь середніх координат середовища (AEC) – це лінія зі стрілкою, яка проходить від початку біплота до середнього середовища, зображеного пунктирним колом.

Пряма лінія зі стрілкою, яка проходить через початок біплота, називається середньою координатою середовища (AEC), вона вказує на лінії з найкращою продуктивністю. Лінія генотипу, перпендикулярна до осі AEC, представляє мінливість з точки зору стабільності (рис. 4.1 B).

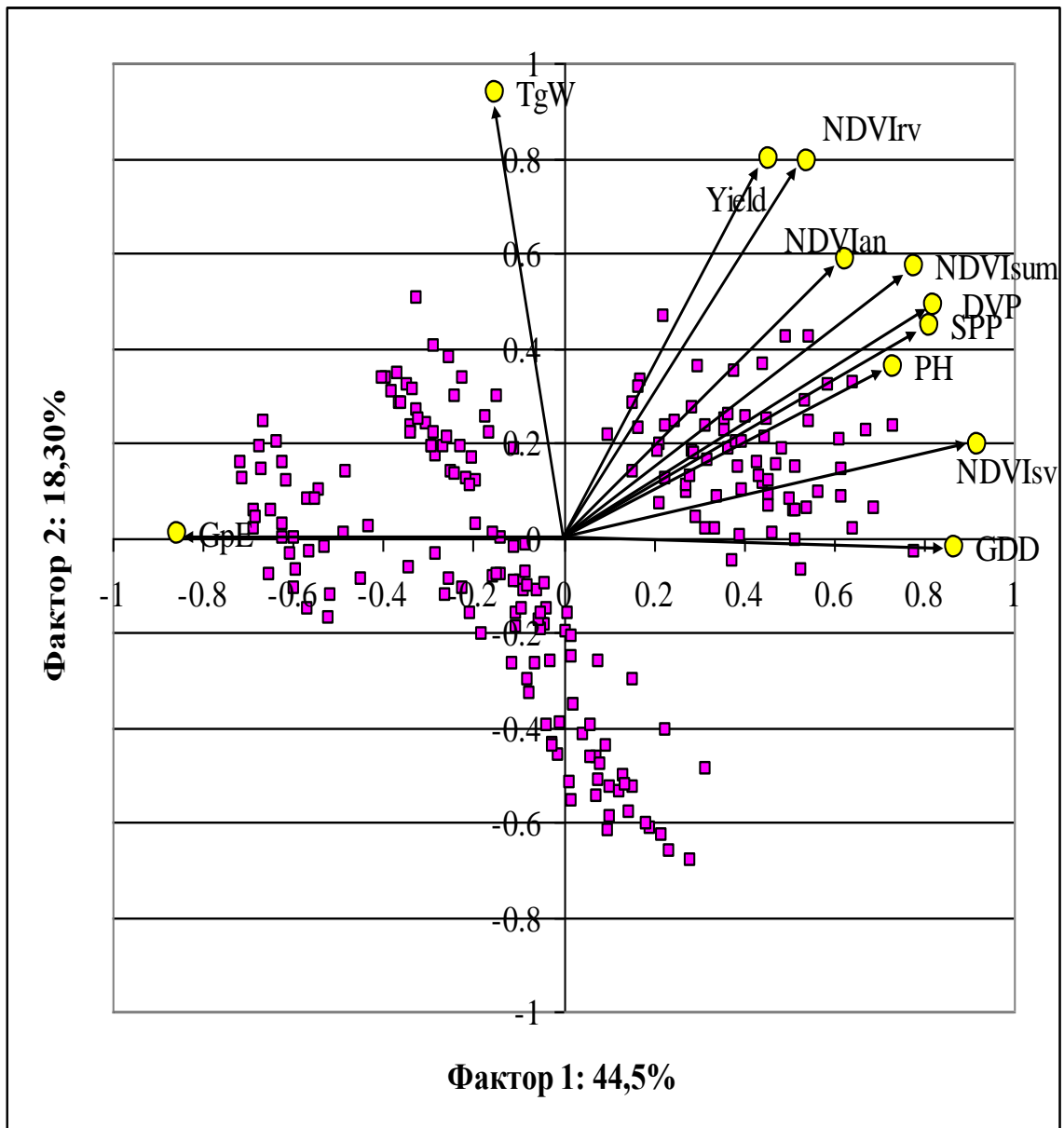
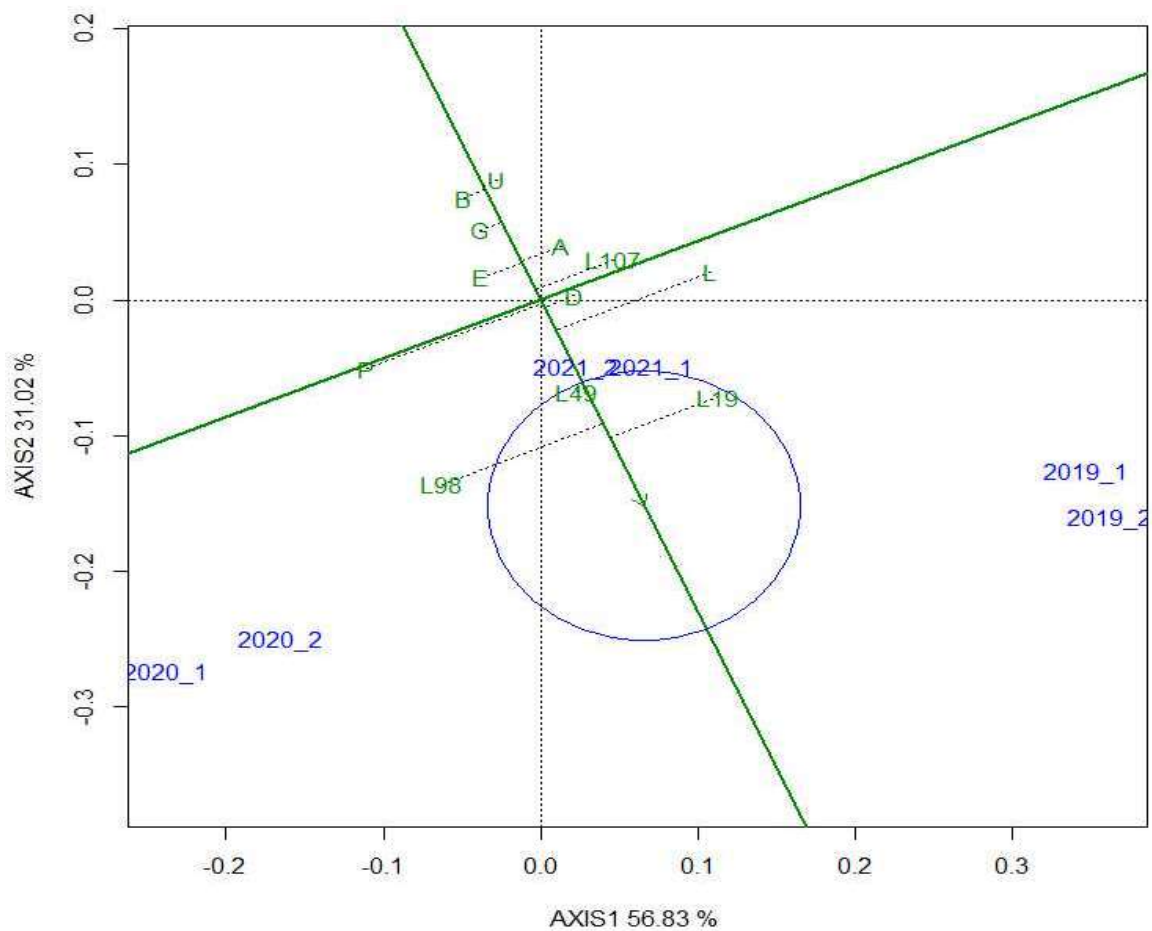


Рис. 4.1 Діаграма основних компонентів і асоціації генотипів пшениці з агрономічними ознаками. Умовні позначення відповідають таблиці 4.1. Крім того, SPP – сума опадів від сходів до колосіння, GDD – сума ефективних температур ( $>5^{\circ}\text{C}$ ) від сходів до колосіння.

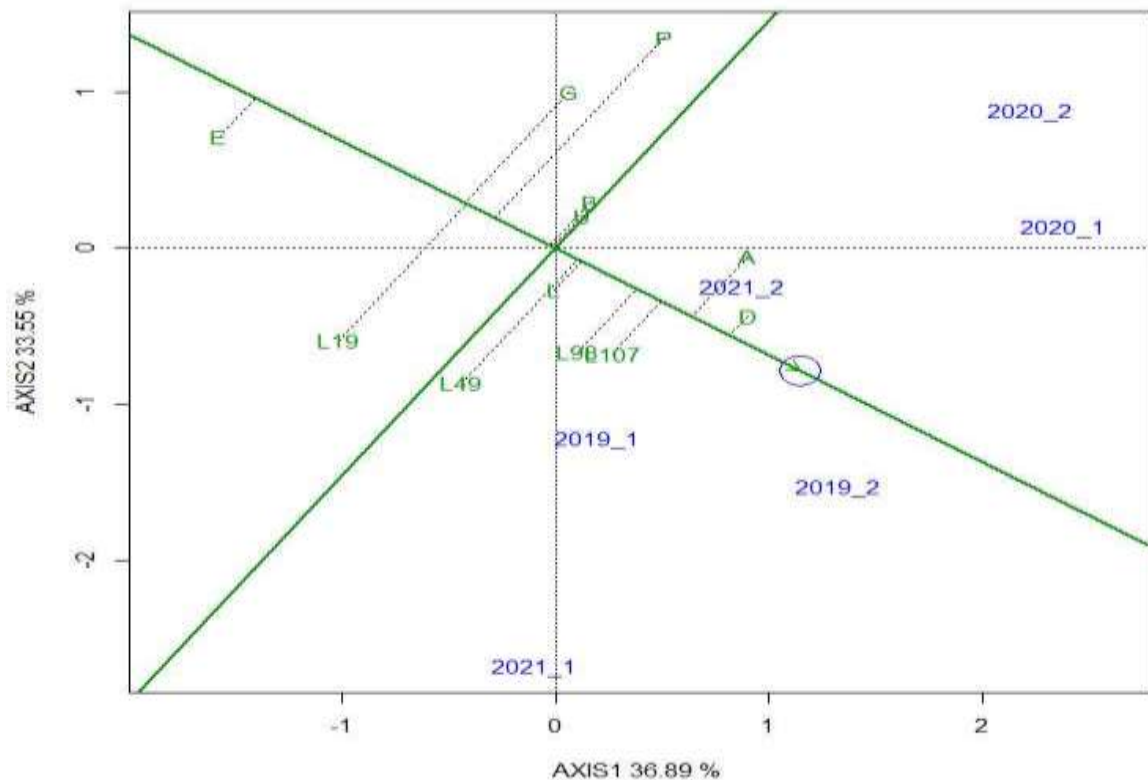
Таким чином, біplot розташував показники врожайності наступним чином: МІП Дніпрянка  $>$  МІП Ассоль  $>$  ЛЮТ 60107  $>$  ЛЮТ 55198  $>$  ЛЮТ 60049  $>$  МІП Лада, тобто сорти і лінії правіше від початку координат (значення адаптивної норми) відрізнялись за продуктивністю у порядку зменшення проєкції на вектор АЕС.

Практично аналогічним чином спостерігалось ранжування за показником NDVI – ЛЮТ 37519>ЛЮТ 55198>ЛЮТ 60049> МП Лода >МП >Дніпрянка (рис. 4.2 А 2В), винятком були лінія ЛЮТ 37519 і сорт МП Ассоль. Аналізуючи характер цього біплота, слід зазначити, що в цілому характер розташування генотипів за урожаєм і показником NDVIan співпадав, відрізняючись в деяких нюансах, які, можливо пов'язані з генетично обумовленими особливостями реутилізації надземної біомаси в урожай зерна, адже NDVI є одним з індикаторів її накопичення.



NDVI при цвітінні (NDVIan)

А



Урожай зерна

B

Рис. 4.2 Біплотний графік за координатою середнього середовища (АЕС), що показує середню врожайність і стабільність 12 генотипів (А – NDVІan, В – урожай зерна), оцінених у 2018-2021 рр.

Вісь, перпендикулярна АЕС, відображала стабільність урожайності генотипу (лінії). Стабільність урожайності генотипів вважається сильнішою, якщо довжина лінії, перпендикулярної горизонтальній осі АЕС, була коротшою. Генотипи МІП Дніпрянка, МІП Ассоль були найбільш стабільними та високопродуктивними, оскільки вони були найдалшими від центра з найкоротшою довжиною вектора. Найдовші вектори середовища серед тестових роблять його найбільш «дискримінаційним» з потенціалом для розрізнення різних генотипів. Порівняльний аналіз стабільності і урожайності за GGE-biplot показав, що сорт Дніпрянка був найстабільнішим, а також одним із найкращих за врожайністю у різних досліджуваних середовищах. Подібним чином лінії ЛЮТ 60107 і ЛЮТ 55198 також мали вищу середню врожайність

і стабільність, порівняно з іншими лініями, отже, їх можна використовувати як високопродуктивні в різних середовищах. Ці лінії можна також рекомендувати для подальшої реєстрації у якості сортів.

Стабільність генотипів за показником NDVI<sub>an</sub> виявилась дещо вищою, порівняно з урожайністю, проте загалом характер ранжування зберігався. Таким чином, проведений аналіз головних компонент, АММІ та GGE-biplot аналіз показав принципову можливість опосередкованої оцінки та вибору генотипів за урожайністю на основі спектральних вегетаційних індексів.

Розкладання фенотипової дисперсії на її компоненти, генотипову дисперсію та дисперсію середовища дозволило оцінити величину мінливості, зумовленої генотиповими особливостями, і, таким чином, оцінити такі параметри, як успадковуваність ( $h^2g$ ), генетична дисперсія ( $V_g$ ), залишкова дисперсія ( $V_e$ ), фенотипова дисперсія ( $V_p$ ), дисперсія взаємодії генотип  $\times$  середовище  $V_{GEI}$ , селекційна точність, генотиповий коефіцієнт варіації  $CV_g$ , коефіцієнт залишкової варіації  $CV_e$ , і перевірити, для яких ознак є більший внесок через генотипову дисперсію. Висока успадковуваність була оцінена для всіх досліджуваних ознак, представлених у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Компоненти дисперсії та генетичні параметри 12 генотипів пшениці для 10 ознак, 2018-2021 рр.

Компоненти дисперсії *	Ознаки#									
	Yield	NDVI <sub>sv</sub>	NDVI <sub>rv</sub>	NDVI <sub>an</sub>	PH	SpL	SpN	GpE	MoK	WKE
$h^2g$	0.62	0.39	0.69	0.76	0.63	0.48	0.41	0.23	0.67	0.50
$V_g$	0.16	0.0001	0.0004	0.0035	14.72	0.14	0.16	0.77	4.31	0.01
$V_{GEI}$	0.36	0.0004	0.0006	0.0043	34.14	0.44	0.90	9.94	7.84	0.03
$V_e$	0.55	0.0245	0.0112	0.0018	35.55	0.44	1.01	50.02	13.31	0.21
$V_r$	0.08	0.0006	0.0004	0.0004	0.31	0.01	0.04	0.78	1.52	0.00
$V_p$	1.15	0.026	0.013	0.010	84.72	1.03	2.11	61.50	26.97	0.26
m	7.15	0.52	0.60	0.71	103.7	9.3	17.0	39.2	44.3	1.7
$CV_g$ %	5.58	2.16	3.39	8.33	3.70	4.02	2.34	2.24	4.69	5.42
$CV_e$ %	10.33	30.18	17.69	6.00	5.75	7.11	5.93	18.05	8.24	26.37
$CV_p$ %	4.06	4.63	3.17	2.90	0.54	1.22	1.20	2.25	2.78	2.84

## продовження таблиці 4.4

CV <sub>r</sub> %	15.03	30.85	18.77	14.08	8.88	10.94	8.57	20.02	11.73	29.10
p <sub>G</sub>	0.036	0.330	0.011	0.002	0.030	0.052	0.269	0.079	0.014	0.087
p <sub>G×E</sub>	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
p <sub>E</sub>	0.000	0.000	0.000	0.034	0.002	0.036	0.050	0.001	0.081	0.000
LSD	0.75	0.03	0.04	0.09	7.08	0.81	0.90	2.24	3.66	0.20
LRT**	43.94	6.48	22.51	69.86	53.83	3.05	2.58	1.14	14.37	1.48

# Умовні позначення ознак відповідають табл.1.

\*  $h^2g$  – успадкованість у широкому розумінні;  $V_g$  – варіанса генотипу;  $V_{GEI}$  – варіанса  $G \times E$ ;  $V_e$  – варіанса середовища;  $V_r$  – залишкова дисперсія;  $V_p$  – фенотипова варіанса;  $m$  – генеральне середнє;  $CVg$  %,  $CVe$  %,  $CVp$  %,  $CVr$  % – генотиповий, середовищний, фенотиповий та залишковий коефіцієнти варіації відповідно;  $p_G$  – значущість генотипу;  $p_E$  – значущість середовища;  $p_{G \times E}$  – значущість взаємодії  $G \times E$ ; LSD – найменша суттєва різниця; LTR – тесту максимальної правдоподібності. \*\* $c^2_1$  % = 6.63,  $c^2_5$  % = 3.84

Таке розкладання компонентів дисперсії є важливими для селекціонерів, оскільки вони допомагають у проведенні селекційних програм, спрямованих на отримання кращого результату. Високі значення коефіцієнта генетичної дисперсії ( $CVg$ ) та успадкованості значення бажані для пошуку кращої генетичної конституції, оскільки ці зміни кількісно визначають величину генетичної варіації, доступної для відбору. Для більшості оцінюваних ознак спостерігалось переважання генетичної варіації у фенотиповій дисперсії. Оцінки успадкованості ознак коливалися в межах від 0,23 ( $GpE$ ) до 0,76 ( $NDVIan$ ), оцінка за допомогою тесту максимальної правдоподібності (LRT) також підтвердила суттєвий вплив генотипів на більшість ознак. Таким чином, наявність генетичної мінливості цих ознак дає змогу відібрати кращі генотипи за фенотипами. Висока успадкованість свідчить про те, що такий фенотип здебільшого зумовлений генотипом, варіації успадковуються наступним поколінням, і добір на основі фенотипової варіації буде ефективним для покращення врожаю в майбутньому.

Проте для подальшого використання виділеного матеріалу у селекційному процесі важливо прогнозувати генетичну цінність, усуваючи

вплив навколишнього середовища. Змішані моделі та багатофакторний аналіз є потужними інструментами для відбору кращих генотипів у програмах селекції рослин, зокрема метод BLUP (найкращий лінійний неупереджений прогноз) використовували для прогнозування генетичних цінностей та визначення потенціалу генотипів пшениці для генетичного вдосконалення рослин завдяки відбору багатьох ознак (Zobel, Wright & Gauch, 1988, Gauch, 2013). Значення, передбачені за допомогою методології BLUP для досліджених ознак, вказують на бажані генотипові значення ліній і сортів, оскільки вони демонструють перевагу по відношенню до середнього значення і до стандарту і таким чином можна виділити кращі лінії. Результати такого аналізу для урожаю зерна і величини показника NDVI<sub>an</sub> представлені на рисунку 4.3. За прогнозованими генетичними значеннями урожайності генотипи розташувались у такому порядку: МПП Дніпрянка>МПП Ассоль>ЛЮТ 55198>ЛЮТ 60107> МПП Лада (рис. 4.3 А), інші (за винятком лінії EP 55023) від стандарту Подолянка не відрізнялись.

За прогнозованими генетичними значеннями NDVI<sub>an</sub> порядок генотипів був наступним: МПП Ассоль>МПП Дніпрянка>ЛЮТ 55198>EP 55023> МПП Лада, інші (за виключенням МПП Ювілейна) від стандарту не відрізнялись. Важливо, що ТОП-3 в обох випадках були сорти МПП Ассоль, МПП Дніпрянка і лінія ЛЮТ 55198, що свідчить про перспективність використання показника NDVI як фонові ознаки для добору високопродуктивних генотипів (Топко Р. І., Волощук С. І. & Ковалишина Г. М., 2023). Однак методів аналізу за однією ознакою і аналізу середнього значення, регресії та відхилення від регресії може бути недостатньо для оцінки продуктивності і стабільності за багатьма ознакам і середовищами. Тому дані аналізують за індексом стабільності багатьох ознак, як, наприклад, середньозважене значення суми абсолютних балів, запропонованих Olivoto та ін. (Olivoto et al., 2019), або рейтингом адаптивності сорту у багатьох середовищах, як запропоновано зокрема В.А. Власенком (Власенко, 2006).

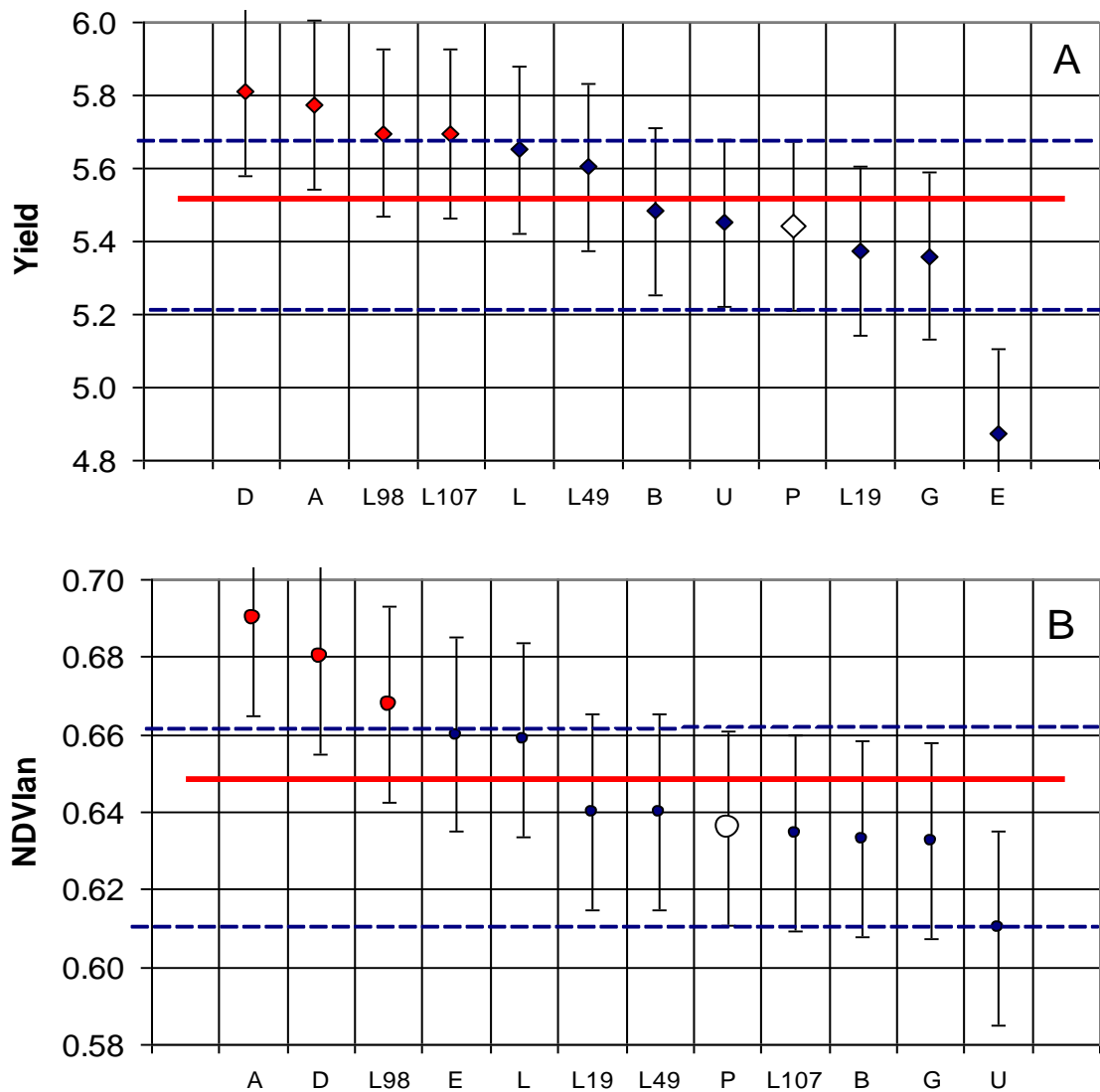


Рис. 4.3 Прогнозовані генетичні значення (найкращий лінійний неупереджений прогноз – BLUP) 12 генотипів озимої пшениці для ознак: урожай (Yield, т/га) та NDVlan.

Червоні (сприятливі) і сині (несприятливі) крапки представляють генотипові значення вище або нижче загального середнього (червона лінія), білі крапки представляють стандарт (Подолька). Стопчикки являють собою довірчий інтервал генотипового значення. Синім пуктиром виділено довірчий інтервал для порівняння зі стандартом.

Індекс підсумовування рангів  $I_j$  (Mulamba & Mock, 1978) є аналогом попереднього з тією різницею, що він застосовується для прогнозованих генетичних значень. За індексом  $I_j$ , індексом дистанції між генотипом і ідеотипом  $D_{ii}$  (Wricke & Weber, 1986), та індексом  $Z$  (Mendes, Ramalho &

Abreu, 2009) на основі передбачуваних значень кращих генотипів, які переважають стандарт, було розраховано селекційний приріст (selection gaine – SG) за всіма показниками і відсоток селекційного приросту (SG %). Слід зазначити, що індекс Z, запропонований Mendes F.F. et al. (Mendes, Ramalho & Abreu, 2009), є аналогом індексу відхилення від адаптивної норми, запропонованого П. П. Літуном та ін. (Літун та ін., 2009), і також відрізняється лише застосуванням до прогнозованих генотипових значень ознак. Результати такої оцінки наведено у таблиці 4.5. Звертає на себе увагу те, що різні індекси дають дещо різні прогнозовані значення селекційних приростів, оскільки набір відібраних генотипів відрізняється. Добір за індексом Ij забезпечив найбільшу суму оцінок SG % (14,3 %), порівняно з іншими моделями добору. Проте представлені генотипи, відібрані за цим індексом, мають середнє значення висоти рослин на 1,6 см більше, що, очевидно, є несприятливим для програм селекції пшениці.

Відбір за NDVI забезпечив очікуваний приріст урожайності, співставний з безпосереднім доббором на продуктивність, однак інші показники мали менше селекційне зрушення. Можливо також, що для більш точної оцінки потрібне включення певних вагових коефіцієнтів для різних ознак, оскільки в цільову ознаку (урожай зерна) вони мають різний вклад.

Очевидно, це потребує додаткового вивчення, зокрема відсутність однакового SG % серед усіх ознак у сприятливому напрямку відбору можна пояснити існуванням лінійного зв'язку між ознаками. Якщо природа цього зв'язку зумовлена генетичними факторами, він може бути порушений внаслідок рекомбіногенезу.

Більш інформативним може бути індекс Z (індекс відхилення від адаптивної норми). На основі зваженого значення цього індексу за всіма ознаками чи за їх групою можна виявити ті, за якими генотипи можуть бути класифіковані як бажані чи небажані в багатьох середовищах.

На рисунку 4.4 представлена оцінка генотипів за значенням індексу Z при відборі генотипів тільки за продуктивністю (рис. 4.4A), за індексами NDVI

(рис. 4.4B), морфобіометричними ознаками (рис. 4.4C) та за комплексом ознак (рис. 4.4D).

Таблиця 4.5

Оцінки загальних середніх значень ( $\bar{X}_0$ ), середніх значень відібраних генотипів ( $\bar{X}_s$ ), селекційного диференціалу (SD), успадкованості ( $h^2$ ), селекційного приросту (SG) та його частки в % (SG %) при одночасному відборі для кращих генотипів озимої пшениці за шістьма ознаками.

Ознака	$\bar{X}_0$	$\bar{X}_s$	SD	$h^2$	SG	SG %	Відібрані генотипи
Індекс підсумовування рангів							
Урожайність	7,1	7,39	0,39	0,62	0,24	3,24	ЛЮТ 55198
Висота рослин	103,7	103,30	2,63	0,63	1,65	1,60	МПП Лада
Довжина колоса	9,3	9,31	0,25	0,48	0,12	1,30	МПП Ассоль
Кількість зерен	39,2	39,45	0,65	0,23	0,15	0,38	ЛЮТ 60049
Маса зернівки	44,3	45,15	2,15	0,67	1,44	3,19	
Маса зерна з колоса	1,7	1,80	0,17	0,50	0,09	4,84	
Тривалість періоду сходи-колосіння (ТВП)	212,1	212,9	-0,92	0,59	-0,54	-0,25	S=14,3 %*
Індекс дистанції між генотипом і ідеотипом							
Урожайність	7,1	7,19	0,09	0,62	0,06	0,79	EP 55023
Висота рослин	103,7	101,49	-2,21	0,63	-1,39	-1,37	ЛЮТ 55198
Довжина колоса	9,3	9,30	0,00	0,48	0,00	0,03	ЛЮТ 37519
Кількість зерен	39,2	39,24	0,04	0,23	0,01	0,03	ЛЮТ 60049
Маса зернівки	44,3	44,50	0,20	0,67	0,13	0,30	
Маса зерна з колоса	1,7	1,76	0,06	0,50	0,03	1,83	
ТВП	212,1	209,76	-2,33	0,59	-1,37	-0,65	S=0,95 %
Відбір за продуктивністю							
Урожайність	7,1	7,41	0,31	0,62	0,19	2,57	МПП Дніпрянка
Висота рослин	103,7	104,89	1,44	0,63	0,91	0,86	МПП Ассоль
Довжина колоса	9,3	9,33	0,22	0,48	0,11	1,13	ЛЮТ 55198
Кількість зерен	39,2	39,34	0,51	0,23	0,12	0,30	ЛЮТ 60107
Маса зернівки	44,3	44,51	1,95	0,67	1,30	2,93	ЛЮТ 60049
Маса зерна з колоса	1,7	1,77	0,10	0,50	0,05	2,83	
ТВП	212,1	212,40	-1,23	0,59	-0,73	-0,34	S=10,3 %
Відбір за NDVI							
Урожайність	7,1	7,39	0,29	0,62	0,18	2,46	МПП Лада
Висота рослин	103,7	101,77	-1,93	0,63	-1,22	-1,19	ЛЮТ 37519
Довжина колоса	9,3	9,35	0,05	0,48	0,02	0,25	МПП Дніпрянка
Кількість зерен	39,2	39,39	0,19	0,23	0,04	0,11	ЛЮТ 60049
Маса зернівки	44,3	44,76	0,46	0,67	0,31	0,69	ЛЮТ 60107
Маса зерна з колоса	1,7	1,75	0,05	0,50	0,03	1,54	
ТВП	212,1	212,13	0,04	0,59	0,02	0,01	S=3,88 %

\* S – сума відсоток селекційного приросту

Така ж оцінка за графічним відображенням індексу Z для генетичних значень окремих ознак може бути корисною для більш детального вивчення

генотипів за окремими ознаками чи групами ознак. За допомогою візуального аналізу за індексом  $Z$  можна визначити більшу частку сприятливих алелей для всіх ознак, які розглядаються при відборі. За подібністю зображень на рисунку 4.4 найбільшим був рівень узгодженості між відбором за продуктивністю та відбором за індексом NDVI.

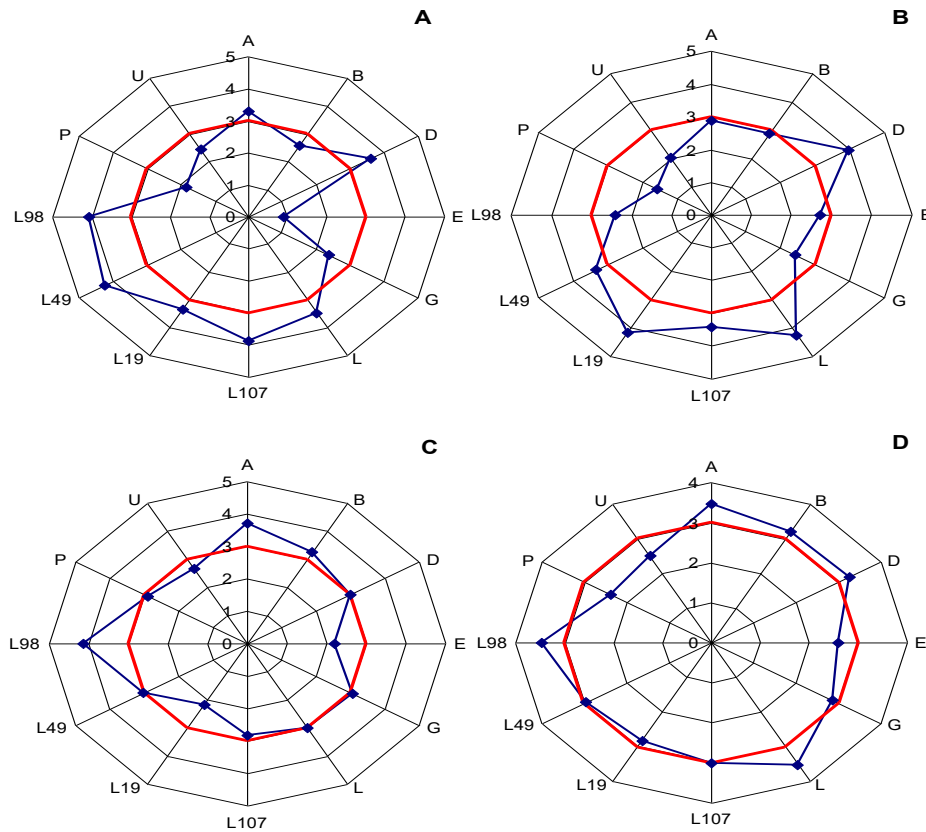


Рис. 4.4 Прогнозування генетичних переваг за допомогою зваженого індексу віддаленості від адаптивної норми ( $Z$ -індекс), застосованого до передбачених BLUP генотипових значень урожайності (А), індексу NDVI під час припиненні та відновленні вегетації і при цвітінні (В), морфобіометричних показників (С) та за комплексом ознак (D). Відібрані генотипи мають значення  $>3$ .

Це є свідченням можливості використання спектральних вегетаційних індексів у селекційному процесі, особливо враховуючи дистанційний та неструктивний характер оцінки, а метод REML/BLUP у поєднанні з багатоваріантними методами для вибору кращих генотипів з графічним виділенням за індексом  $Z$  генотипів дозволяє визначити їх як перспективні за комплексом ознак. Для селекції ліній пшениці також цікавим є розташування

показників генотипових значень для виявлення кращих генотипів за селекційними ознаками, що виділяються графічно за індексом Z.

#### **Висновки до розділу 4.**

1. Встановлено можливість використання спектральних вегетаційних індексів, отриманих із БПЛА, у селекційному процесі. Більш точна ідентифікація високоперспективних генотипів за комплексом ознак забезпечується поєднаним застосуванням багатовимірних статистичних методів, селекційних індексів із безпосереднім використанням показників NDVI.

2. Метод REML/BLUP, у поєднанні з багатовимірними методами АММІ та GGE-білот із графічним виділенням генотипів за індексом Z, дозволяє визначити перспективні за комплексом ознак.

3. За урожайністю виділились генотипи МП Ассоль, МП Дніпрянка, ЛЮТ 55198, ЛЮТ 37519, ЛЮТ 60049, ЛЮТ 60107; при відборі за показниками NDVI – МП Лада, МП Дніпрянка, ЛЮТ 37519, ЛЮТ 60049, ЛЮТ 60107; за морфобіометричними ознаками – МП Ассоль, Балада МИР, ЛЮТ 55198; за комплексом ознак – МП Ассоль, Балада МИР, МП Лада, МП Дніпрянка, ЛЮТ 55198, ЛЮТ 37519. Селекційні лінії, які знаходилися близько до кола, потребують подальшого дослідження на предмет стабільності, оскільки їх продуктивність близька до адаптивної норми.

4. Виділено лінії ЛЮТ 55198, ЛЮТ 37519, ЛЮТ 60049, ЛЮТ 6010 і сорти МП Лада, МП Дніпрянка для подальшого використання в програмах селекції. Перспективою подальших досліджень є підвищення точності оцінки і добору потенційно високоврожайних і стабільних ліній пшениці в селекційних програмах за допомогою дистанційного зондування з обмеженням використання традиційних деструктивних методів.

Результати досліджень розділу 4 висвітлені у науковій праці, яку наведено в списку використаних джерел (Топко Р. І., Волощук С. І. & Ковалишина Г. М., 2023).

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПОЛЬОВОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Впровадження нових методів у селекційних процес створює передумови для інвестування грошових коштів. Одні методи вимагають невеликих вкладень грошових та людських ресурсів, інші більш затратні. На даному прикладі ми постараємось розібрати розмір вкладень та повернення інвестицій від впровадження даного методу.

Оскільки даний метод використовувався під час створення нових сортів пшениці озимої таких як: МПП Ассоль, Балада миронівська, Грація миронівська, МПП Ювілейна, МПП Лада, МПП Дніпрянка і селекційних ліній: Еритроспермум 55023, Лютесценс 22198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049, Лютесценс 60107, всі подальші розрахунки ми будемо використовувати згідно отриманих результатів врожайності та середньозважених ринкових цін протягом 2019–2021 рр.

Середньозважена ціна в період з 01.01.2019 по 31.12.2021 становила 6020 грн/т з ПДВ для Київського регіону, згідно даних закупівельних цін компанії «Нібулон». Дану ціну ми будемо використовувати у розрахунках економічної ефективності використання нових сортів МПП.

Розглянемо витрати на обладнання та відповідного програмного забезпечення, що необхідні для запровадження методу спектральної польової діагностики, що безпосередньо використовувалась нами під час написання дисертаційної роботи (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1

Вартість матеріалів та програмного забезпечення (ПЗ) для запровадження методу спектральної польової діагностики в посівах пшениці озимої

Вид обладнання або ПЗ	Основна характеристика для виконання завдання	Ціна по 100 % передоплаті з ПДВ
Дрон DJI Matrice 100	Час польоту – 45хв. Гранична швидкість вітру – 10м/с	110 500 грн
Камера Parrot SEQUOIA	Спектральний діапазон: Green (550 nm), Red (660 nm), Red Edge(725 nm), NIR(790 nm).	134 750 грн
ПЗ (Pix4Dmapper Pro)	Ліцензія на 1 прилад	131 670 грн
Персональний комп'ютер	Обов'язкова наявність 8 ГБ ram та сучасної відеокарти.	12 750 грн
Всього		389 670 грн

Рівень прибутковості нових сортів та селекційних ліній МП, що досліджувались у протягом 2018–2021 рр. наведено нижче.

Ті сорти, що перевищують середній трирічний рівень врожайності сорту стандарту Подолянка беруть для розрахунків економічної ефективності.

Таблиця 5.2

Середня врожайність по строках висіву і по роках та рівень відхилення до сорту стандарту

Назва сорту/лінії	Середня врожайність по строках, т/га 2019 р.	Середня врожайність по строках, т/га 2020 р.	Середня врожайність по строках, т/га 2021 р.	Середня врожайність, т/га 2019-2021 рр.	Відхилення врожайності до контролю, т/га
МПП Ассоль	7,60	3,30	6,90	5,93	0,56
Балада миронівська	7,65	2,55	6,12	5,44	0,06
Грація миронівська	7,85	2,12	5,73	5,23	-0,14
Еритроспермум 55023	6,21	1,16	6,02	4,46	-0,91
МПП Ювілейна	7,43	2,64	6,25	5,44	0,06
МПП Лада	7,65	2,25	7,01	5,64	0,26
МПП Дніпрянка	8,29	3,17	6,66	6,04	0,66
Лютесенс 55198	7,92	2,14	7,39	5,82	0,44
Лютесенс 37519	8,30	1,15	6,28	5,24	-0,13
Лютесенс 60049	8,14	1,48	7,22	5,61	0,24
Лютесенс 60107	8,29	2,41	6,79	5,83	0,45
Подольянка ст.	7,10	3,07	5,96	5,38	0,00

Сорти Грація миронівська та лінія Еритроспермум 55023 показали нижчий рівень врожайності в середньому по трьох досліджуваних роках, тому в даному випадку ми не беремо їх до розрахунків. Середній приріст між сортами МПП Ассоль, Балада миронівська, МПП Ювілейна, МПП Лада та МПП Дніпрянка становить:

$$0,56 + 0,06 + 0,06 + 0,26 + 0,66 / 5 = 0,32 \text{ т/га};$$

Зважаючи на це, середня розрахункова вартість 1 т. продукції, а саме пшениці 3-го класу протягом 2019–2021 рр. становить 6020 грн/т з ПДВ. Грошова прибавка в даному випадку становить:

$$0,32 \times 6020 = 1\,926,4 \text{ грн/га з ПДВ};$$

### **Висновки до розділу 5.**

1. На сьогоднішній день, розвиток методів фенотипування в селекційній практиці набуває все більшого поширення. Впровадження і розробка недорогих але в той же час дієвих інструментів стає дедалі актуальніше.

2. Розрахункова вартість впровадження методу польової спектральної оцінки пшениці озимої становить 389 670 грн. з ПДВ, що є відносно не дорогим в порівнянні із іншими методами.

3. Даний метод є багаторазовим у використанні і не потребує щорічної амортизації окрім поновлення ліцензії для програмного забезпечення, що становить 131 670 грн.

4. Середній економічний ефект у вигляді приросту грошового доходу, від використання нових сортів Миронівської селекції становить 1 926,4 грн/га з ПДВ, в порівнянні з вирощуванням сорту стандарту Подолянка.

Результати досліджень розділу 5 висвітлені у науковій праці, яку наведено в списку використаних джерел (Демидов О. А. та ін., 2023).

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та стан розвитку селекції пшениці озимої в Україні та світі. Наведено детальний опис погодніх умов, що склались упродовж трьох досліджуваних років та як вони вплинули на спектральні і врожайні показники досліджуваних генотипів. Висвітлено результати нового методу польової спектральної діагностики пшениці озимої в умовах Лісостепу України та кореляційні зв'язки отриманих спектральних даних із врожайністю досліджуваних сортозразків. За результатами випробувань, було виділено кращі сорти Миронівської селекції та цінні селекційні лінії. За отриманими результатами було сформовано наступні висновки:

1. Визначено морфо-біологічну та спектральну польову оцінку семи сортів та п'яти селекційних ліній пшениці м'якої озимої за двома строками сівби.
2. Встановлено, що мультиспектральний датчик, закріплений на БПЛА, є надійною платформою для вимірювання NDVI для прогнозування біомаси пшениці та врожайності.
3. Виділено кращі сорти і селекційні лінії за комплексом морфо-біологічних показників та значенням NDVI індексу в період часу припинення осінньої вегетації: МІП Лада, МІП Ювілейна, МІП Дніпрянка, МІП Ассоль, Балада миронівська та лінії Еритроспермум 55023, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 та Лютесценс 55198. Значення NDVI індексу стандарта Подолянка варіювало в межах 0,32–0,45 в залежності від строку сівби, в той час як у сорту МІП Лада та лінії Еритроспермум 55023 значення NDVI індексу встановлено в межах 0,33–0,48 для другого і першого строку сівби відповідно.
4. Визначено за комплексом морфо-біологічних та спектральних показників у період часу відновлення весняної вегетації наступні сорти: МІП Дніпрянка, МІП Лада, Балада миронівська та селекційні лінії: Лютесценс 37519, Еритроспермум 55023, які мали значення NDVI індексу в межах

0,43–0,58 в залежності від строку сівби. Сорт стандарт мав значення NDVI індексу на рівні 0,53 та 0,42 для першого і другого строку сівби відповідно.

5. Проранжовано сорти і селекційні лінії за комплексом морфо-біологічних показників, врожайності та значенням NDVI індексу в період фази цвітіння пшениці озимої. Кращими за першого строку сівби відзначились сорти: МПП Лада, МПП Дніпрянка та селекційні лінії: Лютесценс 55198, Лютесценс 37519, Лютесценс 60049 і Лютесценс 60107. Врожайність даних генотипів перевищувала сорт Подолянку від 0,37 т/га до 2,33 т/га, відповідно. Вони також перевищували стандарт за NDVI індексом від 0,1 до 0,33. За результатами другого строку сівби, кращими виявили сорт МПП Лада та селекційні лінії Лютесценс 55198 і Лютесценс 60049. МПП Дніпрянка, Лютесценс 37519 та Лютесценс 60107 перевищували стандарт за значенням NDVI індексу та рівнем врожайності лише у 2018/19 вегетаційному році досліджень. Сорти МПП Ассоль та Грація миронівська переважали стандарт за обох строків сівби, як за значенням NDVI індексу так і за результатами врожайності.

6. Встановлено, що у всіх досліджуваних генотипів показник склоподібності зерна був на рівні або вище стандарту Подолянка.

7. Доведено, що метод REML/BLUP, у поєднанні з багатовимірними методами АММІ та GGE-білот із графічним виділенням генотипів за індексом  $Z$ , дозволяє визначити перспективні за комплексом ознак. Встановлено, що сорт МПП Дніпрянка був найстабільнішим, а також одним із найкращих за врожайністю у різних досліджуваних середовищах. Лінії Лютесценс 60107 і Лютесценс 55198 також демонстрували вищу середню врожайність і стабільність, їх можна використовувати як високопродуктивні в різних середовищах, а також рекомендувати для передачі на кваліфікаційну експертизу УІЕСР.

8. Розраховано економічну ефективність впровадження методу польової спектральної діагностики у селекційну практику наукової установи. Рівень витрат складає 389 670 грн з ПДВ. Збільшення доходу на 1 га від

вирощування нових сортів Миронівської селекції становить 1 926,5 грн з ПДВ, в порівнянні із стандартом.

## РЕКОМЕНДАЦІ СЕЛЕКЦІЙНІЙ ПРАКТИЦІ ТА ВИРОБНИЦТУ

Науково-дослідним установам:

- впровадити метод польової спектральної діагностики у селекційний процес для підвищення продуктивності і якості оцінки вихідного, селекційного матеріалу на всіх етапах доборів і виділення кращих ліній та сортів;

- проводити порівняльний аналіз та статистичну обробку даних результатів фенотипування, морфо-біологічних показників та врожайності, на етапах часу припинення осінньої вегетації, часу відновлення весняної вегетації та у фазі цвітіння для пшениці м'якої озимої досліджуваних сортозразків за допомогою методів аналізу: AMMI, GGE-biplot, REML/BLUP.

Сільгосп підприємствам різних форм власності:

- рекомендуємо запровадити у виробництво сорти: Балада миронівська, МП Дніпрянка, МП Ассоль та МП Лада, як ті, що виділились за комплексом цінних господарських ознак. Сорт МП Ассоль рекомендовано висівати у оптимальні строки сівби для отримання зерна пшениці з високими показниками якості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Acorsi, M. G., Abati Miranda, F. das D., Martello, M., et al. (2019). Estimating biomass of black oat using UAV-based RGB imaging. *Agronomy*, 9(7), 344. doi: 10.3390/agronomy9070344.
- Ahmed, A. (1999). Response of immature embryos to in vitro regeneration of some wheat (*T. aestivum*) genotypes under different osmotic stress of mannitol. *Journal of Agricultural Science*, 3, 25-34.
- Altenbach, S. B., Vensel, W. H., & Dupont, F. M. (2010). Analysis of expressed sequence tags from a single wheat cultivar facilitates interpretation of tandem mass spectrometry data and discrimination of gamma gliadin proteins that may play different functional roles in flour. *BMC Plant Biology*, 10, 7. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-7>
- Alvarado G., López M., Vargas M. et al. (2016). META-R (Multi Environment Trial Analysis with R for Windows.) Version 6.0. [Посилання на документ](<http://hdl.handle.net/11529/10201>)
- Ames, N. P., Clarke, J. M., Marchylo, B. A., Dexter, J. E., & Woods, S. M. (1999). Effect of environment and genotype on durum wheat gluten strength and pasta viscoelasticity. *Cereal Chemistry*, 76, 582–586. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.4.582>
- Anderson, W., Baethgen, W., Capitanio, F., Ciais, Ph., Cook, B.I., da Cunha, C.G.R., Goddard, L., Schauburger, B., Sonder, K., Podestá, G., van der Velde, M., You, L. (2023). Climate variability and simultaneous breadbasket yield shocks as observed in long-term yield records. *Agricultural and Forest Meteorology*, 331, 109321. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109321>.
- Andrew, S., & Bryn, S. (2021). Wheat Outlook: Economic Research Service, USDA. WHS-21j. <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/102370/whs-21j.pdf?v=941.5>.
- Andrews, J. L., Blundell, M. J., & Skerritt, J. H. (1993). A simple antibody-based test for dough strength. III. Further simplification and collaborative evaluation for wheat quality screening. *Cereal Chemistry*, 70, 241–246.

Araus, J. L., Kefauver, S. C., Zaman-Allah, M., Olsen, M. S., & Cairns, J. E. (2018). Translating High-Throughput Phenotyping into Genetic Gain. *Trends in Plant Science*, 23(5), 451–466.

Arzani, A., & Mirodjagh, S. (1999). Response of durum wheat cultivars to immature embryo culture, callus induction, and in vitro salt stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 58, 67-72.

Atzberger C. (2013). Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems, and major information needs. *Remote Sensing*, 5, 949-981.

Babenko, Vitalina, Zomchak, Larysa, & Nehrey, Maryna. (2021). Ecological and economic aspects of sustainable development of Ukrainian regions. *E3S Web of Conferences*, 280, 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128002003>.

Bajji, M., Lutts, S., & Kinet, J. (2001). Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum*) cultivars differing in drought resistance. *Journal of Plant Physiology*, 156, 75-83.

Barabaschi, D., Tondelli, A., Desiderio, F., Volante, A., Vaccino, P., Valè, G., & Cattivelli, L. (2015). Next generation breeding. *Plant Science*, 242, 3–13.

Battenfield, S. D., Guzman, C., Gaynor, R. C., Singh, R. P., Peña, R. J., Dreisigacker, S., ... Poland, J. A. (2016). Genomic selection for processing and end-use quality traits in the CIMMYT spring bread wheat breeding program. *Plant Genome*, 9, 1–12.

Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., et al. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 79–87. doi: 10.1016/j.jag.2015.02.012.

Bernardo, R. (2008). Molecular markers and selection for complex traits in plants: Learning from the last 20 years. *Crop Science*, 48, 1649–1664. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.03.0131>

Berzonsky, W. A., & Francki, M. G. (1999). Biochemical, molecular, and cytogenetic technologies for characterizing 1RS in wheat: A review. *Euphytica*, 108, 1–19. <https://doi.org/10.1023/A:1003638131743>

Blanco, A., Bellomo, M. P., Lotti, C., Maniglio, T., Pasqualone, A., Simeone, R., ... Di Fonzo, N. (1998). Genetic mapping of sedimentation volume across environments using recombinant inbred lines of durum wheat. *Plant Breeding*, 117, 413–417. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1998.tb01965>

Boehm, J. D., Jr, Ibba, M. I., Kiszonas, A. M., & Morris, C. F. (2017a). End-use quality of CIMMYT-derived soft-kernel durum wheat germplasm: I. Grain, milling, and soft wheat quality. *Crop Science*, 57, 1475–1484. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0774>

Boehm, J. D., Jr, Ibba, M. I., Kiszonas, A. M., & Morris, C. F. (2017b). End-use quality of CIMMYT-derived soft-kernel durum wheat germplasm: II. Dough strength and pan bread quality. *Crop Science*, 57, 1485–1494. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0775>

Boehm, J. D., Jr, Ibba, M. I., Kiszonas, A. M., See, D. R., Skinner, D. Z., & Morris, C. F. (2017c). Identification of genotyping-bysequencing sequence tags associated with milling performance and end-use quality traits in elite hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*, 77, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.007>

Boehm, J. D., Jr, Ibba, M. I., Kiszonas, A. M., See, D. R., Skinner, D. Z., & Morris, C. F. (2018). Genetic analysis of kernel texture (grain hardness) in a hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.) bi-parental population. *Journal of Cereal Science*, 79, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.015>

Boehm, J. D., Jr, Zhang, M., Cai, X., & Morris, C. F. (2017d). Molecular and cytogenetic characterization of the 5DS-5BS chromosome translocation conditioning soft kernel texture in durum wheat. *Plant Genome*, 10. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.04.0031>

Bortesi, L., & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances*, 33, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.12.006>

Bruins, M. B. M. (1998). *Fusarium Head Blight Resistance in Wheat*. Wageningen, 131.

Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A., et al. (2011). NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content, and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*, 39(1), 147–159. doi: 10.1556/CRC.39.2011.1.15.

Campbell, K. G., Finney, P. L., Bergman, C. J., Gualberto, D. G., Anderson, J. A., Giroux, M. J., ... Verel, A. (2001). Quantitative trait loci associated with milling and baking quality in a soft 9 hard wheat cross. *Crop Science*, 41, 1275–1285. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4141275x>

Carmo-Silva, E., Scales, J. C., Madgwick, P. J., & Parry, M. A. (2015). Optimising Rubisco and its regulation for greater resource use efficiency. *Plant Cell Environ.*, 38(9), 1817-1832.

Carter, A. H., Garland-Campbell, K., Morris, C. F., & Kidwell, K. K. (2012). Chromosomes 3B and 4D are associated with several milling and baking quality traits in a soft white spring wheat (*Triticum aestivum* L.) population. *Theoretical and Applied Genetics*, 124, 1079–1096. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1770-x>

Chapman, S. C., Merz, T., Chan, A., et al. (2014). Pheno-copter: A low-altitude, autonomous remote-sensing robotic helicopter for high-throughput field-based phenotyping. *Agronomy*, 4(2), 279–301. doi: 10.3390/agronomy4020279.

Chawade, A., Van Ham, J., Blomquist, H., et al. (2019). High-throughput field-phenotyping tools for plant breeding and precision agriculture. *Agronomy*, 10(5), 258. doi: 10.3390/agronomy9050258.

Clarke, J. M., Marchylo, B. A., Kovacs, M. I. P., Noll, J. S., McCaig, T. N., & Howes, N. K. (1998). Breeding durum wheat for pasta quality in Canada. *Euphytica*, 100, 163–170. <https://doi.org/10.1023/A:1018313603344>

Cox, T. S., Shogren, M. D., Sears, R. G., Martin, T. J., & Bolte, L. C. (1989). Genetic improvement in milling and baking quality of hard red winter wheat cultivars, 1919 to 1988. *Crop Science*, 29, 626–631. <https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900030015x>

Crino, P. (1997). Culture filtrate as a selective agent of resistance to phytopathogenic fungi. R.K. Upadhyay та K.G. Mukerji (ред.), *Toxins in Plant Disease Development and Evolving Biotechnology*, 183-208.

D'Ovidio, R., Porceddu, E., & Lafiandra, D. (1994). PCR analysis of genes encoding allelic variants of high-molecular-weight glutenin subunits at the Glu-D1 locus. *Theoretical and Applied Genetics*, 88, 175–180.

Darji P., Desai N., Bhavsar D., & Pandya H. (2023). A review: Applications of remote sensing in agriculture. *International Association of Biologicals and Computational Digest*, 2(1), 108–117.

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

Du, M., Noguchi, N. (2017). Monitoring of wheat growth status and mapping of wheat yield's within-field spatial variations using color images acquired from UAV-camera System. *Remote Sensing*, 9(3), 289. doi: 10.3390/rs9030289.

Duan, B., Fang, S., Zhu, R., et al. (2019). Remote estimation of rice yield with unmanned aerial vehicle (UAV) data and spectral mixture analysis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 204. doi: 10.3389/fpls.2019.00204.

Duan, T., Chapman, S. C., Guo, Y., & Zheng, B. (2017). Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*, 210, 71-80.

Duan, T., Chapman, S. C., Guo, Y., & Zheng, B. (2017). Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*, 210, 71-80.

Duan, T., Chapman, S.C., Guo, Y., & Zheng, B. (2017). Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research*, 210, 71-80.

Echeverry-Solarte, M., Kumar, A., Kianian, S., Simsek, S., Alamri, M. S., Mantovani, E. E., ... Mergoum, M. (2015). New QTL alleles for quality-related traits in spring wheat revealed by RIL population derived from supernumerary9 non-supernumerary spikelet genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, 128, 893–912. <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2478-0>

Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., & Braun, H. J. (2022). Global Trends in Wheat Production, Consumption and Trade. B M.P. Reynolds & H.J. Braun (Ред.), *Wheat Improvement*, 47-66. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4).

Evans, J. R., & Lawson, T. (2020). From green to gold: agricultural revolution for food security. *Journal of Experimental Botanic*, 71(7), 2211-2215.

FAO. (2023). Ukraine: Humanitarian response update – 20 April 2023. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc5732en>.

FAOSTAT Crop Database. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2020). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/Q>.

Fischer, R. A., Byerlee, D., & Edmeades, G. O. (2009). Can technology deliver on the yield challenge to 2050? Expert Meeting on How to feed the World in 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Economic and Social Development Department, (Rome, 24-26 June 2009). <https://www.fao.org/3/ak977e/ak977e.pdf>.

Foley, J. A.; Ramankutty, N.; Brauman, K. A.; Cassidy, E. S.; Gerber, J. S.; Johnston, M.; Mueller, N.D.; O’Connell C.; Ray, D.K.; West, P.C.; et al. (2011). Solutions of a cultivated planet. *Nature*, 478, 337–342.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). *Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics*. Rome, Italy.

Fufa, H., Baeziger, P. S., Beecher, B. S., Graybosch, R. A., Eskridge, K. M., & Nelson, L. A. (2005). Genetic improvement trends in agronomic performances

and end-use quality characteristics among hard red winter wheat cultivars in Nebraska. *Euphytica*, 144, 187–198. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-5811-x>

Furbank, R. T., Sharwood, R., Estavillo, G. M., Silva-Perez, V., & Condon, A.G. (2020). Photons to food: genetic improvement of cereal crop photosynthesis. *Journal of Experimental Botanic*, 71(7), 2226-2238.

Gauch H. G. (2013). A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. *Crop Science*, 1860–1869. doi: 10.2135/cropsci2013.04.0241

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Haddad, D., et al. (2010). Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818.

Graybosch, R. A. (2000). Improved quality 1RS wheats via genetics and breeding. *Wheat Gluten. Proc. 7th int. gluten workshop 2000*, 11–16. Royal Soc. Chem.

Guillen-Climent, M. L., Zarco-Tejada, P. J., Berni, J. A. J., et al. (2012). Mapping radiation interception in row-structured orchards using 3D simulation and high-resolution airborne imagery acquired from a UAV. *Precision Agriculture*, 13(4), 473–500. doi: 10.1007/s11119-012-9263-8.

Gulyaev, B. I., Ilyashuk, E. M., & Mitrofanov, B. A. (1983). Photosynthesis and production process. Kiev: Nauk. dumka. Gulyaev, B.I., Rozhko, I.I., Rogachenko, A.D. & Mitrofanov, B.A. (1989). Photosynthesis, production process and plant productivity. *Naukova dumka*, 42.

Haghighattalab, A., González Pérez, L., Mondal, S., et al. (2016). Application of unmanned aerial systems for high throughput phenotyping of large wheat breeding nurseries. *Plant Methods*, 12(1), 35. doi: 10.1186/s13007-016-0134-6.

Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., et al. (2019). A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. *Plant Science*, 282, 95–103. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022.

Hawkesford, M.J., Araus, J.L., Park, R.F., Calderini, D.F., Miralles, D.J., Shen, T., Zhang, J., & Parry, M. A. (2013). Prospects of doubling global wheat yields. *Food and Energy Security*, 2, 34-48.

Heather, J. M., & Chain, B. (2016). The sequence of sequencers: The history of sequencing DNA. *Genomics*, 107, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2015.11.003>

Heather, J. M., & Chain, B. (2016). The sequence of sequencers: The history of sequencing DNA. *Genomics*, 107, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2015.11.003>

Hoffmeister, D., Waldhoff, G., Korres, W., et al. (2016). Crop height variability detection in a single field by multi-temporal terrestrial laser scanning. *Precision Agriculture*, 17, 296–312. doi: 10.1007/s11119-015-9420-y.

Hu, N., Du, C., Zhang, W., Liu, Y., Zhang, Y., Zhao, Z., & Wang, Z. (2022). Did Wheat Breeding Simultaneously Improve Grain Yield and Quality of Wheat Cultivars Releasing over the Past 20 Years in China? *Agronomy*, 12(9), 2109. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092109>.

Huang, M., Cabrera, A., Hoffstetter, A., Griffey, C., Van Sanford, D., Costa, J., ... Sneller, C. (2016). Genomic selection for wheat traits and trait stability. *Theoretical and Applied Genetics*, 129, 1697–1710. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2733-z>

Jin, H., Wen, W., Liu, J., Zhai, S., Zhang, Y., Yan, J., ... He, Z. (2016). Genome-wide QTL mapping for wheat processing quality parameters in a Gaocheng 8901/Zhoumai 16 recombinant inbred line population. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1032.

Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermata, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleons, N., Ray, D. P., & Morisette, J. T. (2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83, 3–15.

Kiszonas, A. M., & Morris, C. F. (2016). Identifying genetic markers of wheat (*Triticum aestivum*) associated with flavor preference using a laboratory mouse model. *Journal of Cereal Science*, 71, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.012>

Kiszonas, A. M., Boehm, J. D. Jr, See, D. R., & Morris, C. F. (2017). Identification of SNPs, QTLs, and dominant markers associated with wheat flavor

using genotyping-by-sequencing. *Journal of Cereal Science*, 76, 140–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.006>

Koop, H., Herz, S., Golds, T., & Nickelson, J. (2007). The genetic transformation of plastids. R. Bock (ed.), *Cell and molecular biology of plastids*, 457—510.

Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., & Richardson, W. (1969). Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 97-131.

Langridge, P., Lagudah, E. S., Holton, T. A., Appels, R., Sharp, P. J., & Chalmers, K. J. (2001). Trends in genetic and genome analyses in wheat: A review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 1043–1077.  
<https://doi.org/10.1071/AR01082>

Le Cun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436–444. doi: 10.1038/nature14539.

Lee, C.-J., Yang, M.-D., Tseng, H.-H., et al. (2023). Single-plant broccoli growth monitoring using deep learning with UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, 107739. doi: 10.1016/j.compag.2023.107739.

Long S. P., Marshall-Colon A., Zhu X.-G. (2015). Meeting the Global Food Demand of the Future by Engineering Crop Photosynthesis and Yield Potential. *Cell*, 56–66. doi: 10.1016/j.cell.2015.03.019

Long, S. P., Marshall-Colon, A., Zhu, X.-G. (2015). Meeting the Global Food Demand of the Future by Engineering Crop Photosynthesis and Yield Potential. *Cell*, 161, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.03.019>.

Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sidike, P., Hartling, S., Maimaitiyiming, M., Peterson, K., Shavers, E., Fishman, J., Peterson, J., Kadam, S., et al. (2017). Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134, 43-58.

Maimaitijiang, M., Ghulam, A., Sidike, P., Hartling, S., Maimaitiyiming, M., Peterson, K., Shavers, E., Fishman, J., Peterson, J., Kadam, S., et al. (2017). Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134, 43-58.

Manifesto, M. M., Feingold, S., Hopp, H. E., Schlatter, A. R., & Dubcovsky, J. (1998). Molecular markers associated with differences in bread-making quality in a cross between bread wheat cultivars with the same high Mr glutenins. *Journal of Cereal Science*, 27, 217–227. [https://doi.org/10.1006/S0733-5210\(97\)91000-6](https://doi.org/10.1006/S0733-5210(97)91000-6)

Maxam, A. M., & Gilbert, W. (1977). A new method for sequencing DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74, 560–564. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.2.560>

Meier, U. (2001). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. *BBCH Monograph*

Mendes F. F., Ramalho M. A. P. Abreu A. F. B. (2009). Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1312–1318. doi: 10.1590/S0100-204X2009001000015

Mergoum, M., Harilal, V. E., Simsek, S., Alamri, M. S., Schatz, B. G., Kianian, S. F., ... Bassi, F. M. (2013). Agronomic and quality QTL mapping in spring wheat. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 1, 19–33.

Morgun, V. V., & Kiriziy, D. A. (2012). Prospects and modern strategies of wheat physiological traits improvement for increasing productivity. *Physiology biochemistry culture plants*, 44(6), 463-483.

Morgun, V. V., & Pryadkina, G. A. (2014). The efficiency of photosynthesis and the prospects for increasing the productivity of winter wheat. *Fiziologiya rasteniy i genetyka*, 46(4), 279-301.

Morgunov, A. I., Belan, I., Zelensky, Y., Roseeva, L., Tomoskozi, S., Bekes, F., ... Crossa, J. (2013). Historical changes in grain yield and quality of spring wheat varieties cultivated in Siberia from 1900 to 2010. *Canadian Journal of Plant Science*, 93, 425–433. <https://doi.org/10.4141/cjps2012-091>

Mujeeb-Kazi, A., Kazi, A. G., Dundas, I., Rasheed, A., Ogonnaya, F., Kishii, M., ... Mahmood, T. (2013). Genetic diversity for wheat improvement as a conduit to food security. *Advances in agronomy* 179–257. Academic Press.

Mulamba N. N., Mock J. J. (1978). Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. *Egyptian Journal of Genetics and Cytology*, 40–51.

Naqvi, S., Farre, G., Sanahuja, G., et al. (2010). When more is better: multigene engineering in plants. *Trends in Plant Science*, 15, 48–56.

Nelson, J. C., Andreescu, C., Breseghello, F., Finney, P. L., Gualberto, D. G., Bergman, C. J., ... Sorrells, M. E. (2006). Quantitative trait locus analysis of wheat quality traits. *Euphytica*, 149, 145–159. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9062-7>

Olanrewaju, S., Rajan, N., Ibrahim, A. M. H., et al. (2019). Using aerial imagery and digital photography to monitor growth and yield in winter wheat. *International Journal of Remote Sensing*, 40(18), 6905–6929. doi: 10.1080/01431161.2019.1597303.

Olivoto, T., Lucio, A.D., da Silva, J.A., et al. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949–2960. doi: 10.2134/agronj2019.03.0220.

Onibonoje, M.O.; Nwulu, N. (2021). Synergistic Technologies for Precision Agriculture. In *Artificial Intelligence and IoT-Based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture*; IGI Global: Hershey, PA, USA, 123–139.

Ort, D. R., Merchant, S. S., Alric, J., & Zhu, X. G. (2015). Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 112(28), 8529–8536.

Pacheco A., Vargas M., Alvarado G. et al. (2016). GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows.) Version 4.1. [Посилання на документ](<http://hdl.handle.net/11529/10203>)

Parker, G. D., Chalmers, K. J., Rathjen, A. J., & Langridge, P. (1999). Mapping loci associated with milling yield in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Breeding*, 5, 561–568. <https://doi.org/10.1023/A:1009678023431>

Paruelo, J. M., & Lauenroth, W. K. (1998). Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography*, 25, 721–733.

Paul, M. J., Watson, A., & Griffiths, C. A. (2020). Linking fundamental science to crop improvement through understanding source and sink traits and their integration for yield enhancement. *Journal of Experimental Botanic*, 71(7), 2270–2280.

Pauly, M. H., Shane, W. W., & Gengenbach, B. G. (1987). Selection for bacterial blight phytotoxin resistance in wheat tissue culture. *Crop Science*, 2, 340–344.

Pellegrineschi, A., Fennell, S., McLean, S., Brito, R. M., Velazquez, L., Salgado, M., ... Hoisington, D. (1999). Wheat transformation in CIMMYT: A description of a service laboratory. *In Vitro Cellular and Developmental Biology*, 35, 43–49.

Poland, J. A., Brown, P. J., Sorrells, M. E., & Jannink, J. L. (2012). Development of high-density genetic maps for barley and wheat using a novel two-enzyme genotyping-by-sequencing approach. *PLoS ONE*, 7, e32253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032253>

Potgieter, A. B., George-Jaeggli, B., Chapman, S. C., et al. (2017). Multi-spectral imaging from an unmanned aerial vehicle enables the assessment of seasonal leaf area dynamics of sorghum breeding lines. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1532. doi: 10.3389/fpls.2017.01532.

Prasad, M., Kumar, N., Kulwal, P., Roder, M., Balyan, H., Dhaliwal, H., & Gupta, P. (2003). QTL analysis for grain protein content using SSR markers and validation studies using NILs in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 106, 659–667. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-1114-y>

Psaltopoulos, S. D. (2017). The Ukraine War and Food Security Crisis. *Eurasian Journal of Agricultural Economics*, 2(2), 13-23.

Rasheed, A., Wen, W., Gao, F., Zhai, S., Jin, H., Liu, J., ... Mather, D. E. (2016). Development and validation of KASP assays for genes underpinning key economic traits in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 129, 1843–1860. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2743-x>

Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS One*, 8(6), e66428. doi: 10.1371/journal.pone.0066428.

Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS One*, 8(6), e66428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>.

Reynolds, M. P., & Braun, H.-J. (2022). Wheat Improvement. B M.P. Reynolds & H.J. Braun (Ред.), *Wheat Improvement* (с. 3-16). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4).

Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S. C., Furbank, R. T., Manes, Y., Mather, D. E., & Parry, M. A. J. (2011). Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of Experimental Botanic*, 62(2), 439-452.

Reynolds, M. P., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., Parry, M., & Slafer, G. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant Cell Environ.*, 35(10), 1799-1823.

Roudsari, M., Salmanian, A., Mousavi, A., et al. (2009). Regeneration of glyphosate-tolerant *Nicotiana tabacum* after plastid transformation with a mutated variant of bacterial *aroA* gene. *Iran Journal of Biotechnology*, 7, 247—253.

Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. et al. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*. 1973., 309–317. [Посилання на документ](<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf>)

Rouse, J.W., Haas, R.H., Scheel, J.A., & Deering, D.W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, 1, 48-62.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell J.A., & Deering D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309–317.

Rutkoski, J., Poland, J., Mondal, S., et al. (2016). Canopy temperature and vegetation indices from high-throughput phenotyping improve accuracy of pedigree and genomic selection for grain yield in wheat. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 6(9), 2799–2808. doi: 10.1534/g3.116.032888.

Saba Rabab, Edmond Breen, Alem Gebremedhin, Fan Shi, Pieter Badenhorst, Yi-Ping Phoebe Chen, & Hans D. Daetwyler. (2021). A New Method for Extracting Individual Plant Bio-Characteristics from High-Resolution Digital Images. *Remote Sensing*, 13(6), 1212. <https://doi.org/10.3390/rs13061212>.

Sanger, F., Nicklen, S., & Coulson, A. R. (1977). DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74, 5463–5467. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463>

Schmidt, A. L., Liu, C., Martin, D., Kelly, A., & McIntyre, L. (2004). Molecular markers for selected quality traits in Australian hexaploid bread wheat. In *New directions for a diverse planet. Proc. 4th Int. Crop Sci. Congr., Brisbane, QLD, Australia. Gosford, NSW: Regional Institute Ltd.*

Sears, E. R. (1954). *Aneuploids of common wheat. University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station Bulletins*, 572, 1–58.

Senapati, N., & Semenov, M.A. (2020). Large genetic yield potential and genetic yield gap estimated for wheat in Europe. *Global Food Security*, 24, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100340>.

Senapati, N., Brown, H. E., & Semenov, M. A. (2019). Raising genetic yield potential in high productive countries: Designing wheat ideotypes under climate

change. *Agric For Meteorol*, 271, 33-45.  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.025>.

Shanmugapriya P., Rathika S., Ramesh T., Janaki P. (2019). Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1), 2270–2283.

Shaw, D. J. (2007). *World Food Summit, 1996. B World Food Security*. Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1057/9780230589780\\_35](https://doi.org/10.1057/9780230589780_35).

Sigurbjörsson, E. (1995). Application of in vitro mutation techniques for crop improvement. *Euphytica*, 85, 303-315.

Simkin, A. J., Lopez-Calcagno, P. E., & Raines, C. A. (2019). Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botanic*, 70(4), 1119-1140.

Sissons, M. (2016). GlutoPeak: A breeding tool for screening dough properties of durum wheat semolina. *Cereal Chemistry*, 93, 550– 556. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-16-0063-R>

Skrypnyk, A., Klymenko, N., Tuzhyk, K., Galaieva, L., & Rohoza, K. (2021). Prerequisites and prospects for sustainable development of grain production in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 7(3), 90-106. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.03.06>.

Skrypnyk, A., Klymenko, N., Tuzhyk, K., Galaieva, L., & Rohoza, K. (2021). Prerequisites and prospects for sustainable development of grain production in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 7(3), 90-106. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.03.06>.

Skrypnyk, A., Zhemoyda, O., Klymenko, N., Galaieva, L., Koval, T. (2021). Econometric Analysis of the Impact of Climate Change on the Sustainability of Agricultural Production in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 22(3), 275-288. <https://doi.org/10.12911/22998993/132945>.

Sourdille, P., Perretant, M. R., Charmet, G., Leroy, P., Gautier, M. F., Joudrier, P., ... Bernard, M. (1996). Linkage between RFLP markers and genes

affecting kernel hardness in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 93, 580–586. <https://doi.org/10.1007/BF00417951>

Southern, E. M. (1975). Detection of specific sequences among DNA fragments separated by gel electrophoresis. *Journal of Molecular Biology*, 98, 503–517. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(75\)80083-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(75)80083-0)

Sozzi M, Kayad A, Gobbo S, Cogato A, Sartori L, Marinello F. (2021). Economic Comparison of Satellite, Plane, and UAV-Acquired NDVI Images for Site-Specific Nitrogen Application: Observations from Italy. *Agronomy*, 11(11), 2098.

Su, J., Liu, C., Coombes, M., et al. (2018). Wheat yellow rust monitoring by learning from multispectral UAV aerial imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 157–166. doi: 10.1016/j.compag.2018.10.017.

Sun, J., Poland, J. A., Mondal, S., Crossa, J., Juliana, P., Singh, R. P., Rutkoski, J. E., Bansal, U. K., Pontarollo, E., Cuthbert, R., Vincent, D., Pretorius, Z. A., & Huerta-Espino, J. (2019). High-throughput phenotyping platforms enhance genomic selection for wheat grain yield across populations and cycles in early-stage. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(6), 1705–1720.

Sun, J., Poland, J. A., Mondal, S., et al. (2019). High-throughput phenotyping platforms enhance genomic selection for wheat grain yield across populations and cycles in the early stage. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(6), 1705–1720. doi: 10.1007/s00122-019-03309-0.

Suprayogi, Y., Pozniak, C. J., Clarke, F. R., Clarke, J. M., Knox, R. E., & Singh, A. K. (2009). Identification and validation of quantitative trait loci for grain protein concentration in adapted Canadian durum wheat populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 119, 437–448.

Tattaris, M., Reynolds, M. P., & Chapman, S. C. (2016). A Direct Comparison of Remote Sensing Approaches for High-Throughput Phenotyping in Plant Breeding. *Frontiers in Plant Science*, 7, 61.

Tester, M., & Langridge, P. (2010). Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967), 818–822.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Science*, 108, 20260–20264.

Topko, R. I., & Kovalyshyna H. M. (2022). Remote spectral analysis of varieties and lines of winter wheat during the flowering period. *Plant and soil science*. ISSN 2518-1017. T. 18, № 2. P 148–157. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.2.2022.265181>

Torres-Sánchez, J.; Pena, J. M.; de Castro, A. I.; López-Granados, F. (2014). Multi-Temporal Mapping of the Vegetation Fraction in Early-Season Wheat Fields Using Images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113.

Tsilo, T. J., Hareland, G. A., Chao, S., & Anderson, J. A. (2011). Genetic mapping and QTL analysis of flour color and milling yield related traits using recombinant inbred lines in hard red spring wheat. *Crop Science*, 51, 237–246. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0711>

Udall, J. A., Souza, E., Anderson, J., Sorrells, M. E., & Zemetra, R. S. (1999). Quantitative trait loci for flour viscosity in winter wheat. *Crop Science*, 39, 238–242. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900010036x>

Vain, P. (2007). Thirty years of plant transformation technology development. *Plant Biotechnology Journal*, 5, 221—229.

Vij, S., & Tyagi, A. (2007). Emerging trends in the functional genomics of the abiotic stress response in crop plants. *Plant Biotechnology Journal*, 3, 361—380.

Wang, F., Wang, F., Zhang, Y., et al. (2019). Rice yield estimation using parcel-level relative spectral variables from UAV-based hyperspectral imagery. *Frontiers in Plant Science*, 10, 453. doi: 10.3389/fpls.2019.00453.

Wang, H., Yin, W., & Hu, Z. (2009). Advances in chloroplast engineering. *Journal of Genetics and Genomics*, 36, 387—398.

Wricke G., Weber W.E. (1986). *Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding* (1st ed.). New York: Walter de Gruyter, 1986. 408 p.

Yan W., Hunt L.A., Sheng Q., Szlavnic Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 597–605.

Yan, W., Hunt, L. (2002). Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*, 42(1), 21–30. doi: 10.2135/cropsci2002.0021.

Yan, W., Tinker, N.A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623–645. doi: 10.4141/P05-169.

Yang, C., Everitt, J.H. (2002). Relationships between yield monitor data and airborne multirate multispectral digital imagery for grain sorghum. *Precision Agriculture*, 3, 373–388. doi: 10.1023/A:1021544906167.

Zemetra, R., Schotzko, D., Smith, S., & Lauver, M. (1993). In vitro selection for Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) resistance in wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Cell Reports*, 12, 312—315.

Zhang, J., Virk, S., Porter, W., et al. (2019). Applications of unmanned aerial vehicle-based imagery in turfgrass field trials. *Frontiers in Plant Science*, 10, 279. doi: 10.3389/fpls.2019.00279.

Zhang, Y., Liang, Z., Zong, Y., Wang, Y., Liu, J., Chen, K., ... Gao, C. (2016). Efficient and transgene-free genome editing in wheat through transient expression of CRISPR/Cas9 DNA or RNA. *Nature Communications*, 7, 12617. <https://doi.org/10.1038/ncomms12617>

Zhu, X.-G. (2010). Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annu. Rev. Plant. Biol.*, 61, 235-261.

Zobel R. W., Wright M. J., Gauch H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 388–393.

Zong, Y., Wang, Y., Li, C., Zhang, R., Chen, K., Ran, Y., ... Gao, C. (2017). Precise base editing in rice, wheat and maize with a Cas-9-cytidine deaminase fusion. *Nature Biotechnology*, 35, 438–440. <https://doi.org/10.1038/nbt.3811>

Ачасов, А. Б., Ачасова, А. О., & Тітенко, Г. В. (2015). Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів. *Видання*, 11.

Бавол, А. В., Дубровна, О. В., & Моргун, Б. В. (2014). Ідентифікація генів *Dreb/* у рослин-регенерантів м'якої пшениці, отриманих зі стійких до

модельованого водного дефіциту калюсних ліній. Фізіологія рослин і генетика, 46(2), 136-142.

Бараболя, О. В. (2008). Вплив агроекологічних факторів на урожайність та якість зерна пшениці твердої ярої в лівобережній лісостеповій зволоженій підзоні [Дисертація канд. с.-г. наук, 06.01.09]. 197–198.

Білик, Д. П., Блінцов, І. С., Ведута, П. П. та ін. (1965). Пшениця на Півдні. Одеса: Маяк. (С. 157).

Блищик Д. В., Феоксітов П. О., (2015). Агрометеорологічні умови росту та розвитку озимої пшениці в осінньо-зимовий період на півдні України. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук.

Бойко, В., & Бойко, Л. (2022). Продовольча безпека та ризики для аграрного виробництва під час війни в Україні. Економіка та суспільство, (41), <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-41-27>.

Бугай С. М. (1965). Сортова агротехніка озимої пшениці. Озима пшениця на Україні, 21

Булавка, Н. В., Голик, Л. М. (2007). Яровизаційна потреба сучасних сортів пшениці м'якої озимої. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин, 54–58.

Бурденюк-Тарасевич, Л. А. (2008). Главные направления селекции озимой мягкой пшеницы с повышенным адаптивным потенциалом в условиях Лесостепи Украины. Вісн. БЦДАУ: Зб. наук. пр., Вип. 52, 12–17.

Василюк, П. М., Уліч, Л. І. (2013). Наукове обґрунтування після реєстраційних досліджень сортів. Вісник аграрної науки, No 1, 45–49.

Власенко, В. А., Кочмарський, В. С., Колючий, В. Т. [та ін.]. (2012). Селекційна еволюція миронівських пшениць. Миронівка, 330 с.

Власенко, В. А. (2006). Оцінка адаптивності сортів пшениці м'якої ярої. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин, 4, 93–103. doi: 10.21498/2518-1017.4.2006.68043.

Власенко, В. А., Коломієць, Л. А., Басанець, Г. С., Маринка, С. М. (2006). Характер впливу гідротермічного режиму на продукційний процес пшениці

озимої та шляхи підвищення адаптивного потенціалу. Селекція і насінництво: Міжвід. темат. наук. зб., 198–207. Харків.

Волкодав, В. В. (Ред.) (2003). Методика проведення експертизи та державного сортовипробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур. Охорона прав на сорти рослин: офіц. бюл. Київ: Алефа. Вип. 2, Ч. 3, 241 с.

Волошук, С. І. (2006). Клітинна селекція пшениці на стійкість до *Fusarium graminearum* Schwabe. Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. - К., 2006. С 16.

Волошук, С. І., Волошук, Г. Д., Гірко, В. С. (2001). Використання клітинних технологій *in vitro* в селекції озимої тисниці на стійкість до грибних патогенів. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть, Т. 1, 625-634.

Г. М. Жолобак, С. С. Дугін, О. М. Сибірцева, Т. А. Казанцев, & І. Ф. Романчук. (2020). Визначення вмісту азоту і хлорофілу в рослинах озимої пшениці двох сортів за даними наземного і аеродистанційного спектрометрування. Український журнал дистанційного зондування Землі, 25, 4–13.

Гаврилюк, М. М., Чайка, В.Г. (2011). Функціонування насінництва: науково-організаційні заходи. Насінництво, № 9, 1–4.

Голик, Л. М. (2005). Створення зимостійких сортів озимої пшениці з використанням низьких температур. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво, Вип. 47, с. 30-36. Львів ; Оброшино.

Гупало, М. Г. (1950). Характеристика почвенно-климатических условий Станции. Работы по селекции и семеноводству зерновых, зернобобовых культур и многолетних трав. Научный отчет за 1944–1949 гг. Киев-Харьков: Госиздат с.-л. УССР, 8–12.

Демидов О. А., Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Метод польового фенотипування селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої з використанням NDVI індексу в умовах Лісостепу України. Методичні рекомендації. Київ : Компринт, 2023. 44 с.

Доспехов, Б. А. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) (5-е изд., перераб. и доп.). Агропромиздат, 351 с.

ДСТУ 3768–04 (2014). Пшениця. Технічні умови. Київ: Держстандарт України.

Дубровна О. В., Моргун Б. В. (2009). Клітинна селекція пшениці на стійкість до стресових чинників довкілля. Фізіологія і біохімія культурних рослин, 463 - 475.

Дубровна, О. В., Моргун, Б. В., & Бавол, А.В. (2014). Біотехнології пшениці: клітинна селекція та генетична інженерія. Логос, 32.

Дубровна, О. В., Чугункова, Т. В., Бавол, А. В., Лялько, І.І. (2012). Біотехнологічні основи створення рослин, стійких до стресів. - К.: Логос.

Ерошенко, Ф. В. (2016). Активный фотосинтетический потенциал. Евразийский союз учёных, 2–3(23), 117-120.

Жуков, А. В., Кунах, О. Н., Задорожная, Г. А., & Андрусевич, Е. В. (2013). Ландшафтная экология как основа пространственного анализа продуктивности агроценозов. Екологія та ноосферологія, 24(1–2), 68–80.

Звонар, А. М., Мірошніченко, М. М. (2020). Вплив погодних умов року та сортових особливостей на споживання азоту та формування якості зерна пшениці озимої. Вісник аграрної науки Причорномор'я, 3, 87. doi: 10.31521/2313-092X/2020-3(107).

Зінченко, М. О., Дубровна, О. В., & Бавол, О. В. (2012). Селекція м'якої пшениці на комплексну стійкість до метаболітів збудника офіобольозу та водного дефіциту. Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів, 10(1), 20-27.

Калашникова, Е. А. (2003). Биологические основы клеточной селекции растений. Доклады Таврической научной академии, 275, 110-112.

Камінський, В.Ф., Шевченко, І.П., Коломієць, Л.П. (2018). Науково-методичне забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення як передумова сталого розвитку агропромислового комплексу України. Вісник

аграрної науки, 2018, №1 (778), 5-10.  
[https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201801-](https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201801-01)

01.<https://epub.chnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/8518/1>.

Карєвіна, К., Костирко, І., Олійник, Р. (2019). Індиксація метеорологічної посухи. *Географія*, 2(75), 71-77. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.201975.12>

Кириленко, В. В. (2007). Формотворчий процес у гібридних поколіннях озимої м'якої пшениці на групову стійкість проти збудників основних хвороб з використанням ШКІФ. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур в Лісостепу України, 214–218. К.: Наук. думка.

Кириленко, В. В. (2014). Традиційні та сучасні методи селекції *Triticum aestivum* L. у Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин, Вип. 4, с. 41-43. УДК 633.11«324»:631.524.528.

Коломієць, Л. А., Гуменюк, О. В., Хоменко, С. О. (2009). Використання генетичних ресурсів пшениці озимої м'якої в практичній селекції на адаптивність. *Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку*, Т. 2, с. 598-606. К.: Логос.

Кочмарський, В. С., Коломієць, Л. А., Кириленко, В. В. (2012). Селекція пшениці м'якої озимої у Миронівському інституті пшениці В. М. Ремесла НААН. *Вісник аграрної науки*, 51-54.

Кочмарський, В. С., Кириленко, В. В., & Коломієць, Л. А. (2012). Використання різних мутагенних чинників у селекції пшениці озимої. *Індукований мутагенез в селекції рослин*, с. 168-177.

Крамарьов, С. М., Жемела, Г. П., & Шакалій, С. М. (2014). Продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої залежно від мінерального живлення в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*, 6, 61-67.

Литвиненко, М. А. (2005). За доброго господарювання пшениця у нас не гірша, ніж в Канаді. *Зерно і хліб*, № 4, 39–41.

Литвиненко, М. А. (2016). Основні віхи 100-річного періоду селекції пшениці м'якої озимої у відділі селекції та насінництва пшениці СГІ–НЦНС (огляд). Збірник наукових праць СГІ–НЦНС, Вип 27, с. 9-22. UDC 633.11.«324»:631.526.

Литвиненко, М. А., & Топал, М.М. (2013). Вплив трансформації 1AL/1RS на елементи продуктивності у популяціях F1 та лініях F2 пшениці м'якої озимої. Зб. наук. пр. СПІ - НЦНС, Вип. 22, с. 27-37. Одеса.

Літун, П. П., Кириченко, В. В., Петренкова, В. П., Коломацька, В. П. (2009). Системний аналіз в селекції польових культур, 351.

Лотиш, О. Я. (2018). Стратегічний аналіз зернової галузі України: стан та перспективи розвитку. Інтелект ХХІ, № 3, 74-79.

Мединець, В. Д. (1974). Влияние экологических условий и времени возобновления весенней вегетации растений на соотношение органов и продуктивность озимой пшеницы, их значение для сортовой агротехники и селекции. Втореф. дис. доктора с.-х. наук, Харьков.

Мединець, В. Д. (2014). Роль часу відновлення весняної вегетації в онтогенезі, філогенезі та селекції зимуючих рослин. Тези наук.-практ. конф., присвяченої 90-річному ювілею доктора с.-г. наук Мединця Василя Дмитровича.

Мединець, О. Є. (2014). Енергетичні чинники розвитку хвороб пшениці озимої. Тези наук.-практ. конф., присвяченої 90-річному ювілею доктора с.-г. наук Мединця Василя Дмитровича.

Методика проведення експертизи та державного сортовипробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур. (2003). Охорона прав на сорти рослин, 13-15.

Мілютенко, Т. Б., Довбиш, М. Й., Ключко, А. А., Лисікова, В. М. (2011). Потенціал сортових ресурсів. Ефективне його використання – головна передумова стабільного виробництва зерна. Насінництво, № 2, 1-6.

Моргун, Б. В., Степаненко, О. В., Степаненко, А. І., Рибалка, О. І. (2015). Молекулярно-генетична ідентифікація поліморфізму генів Wx у гібридах

м'якої пшениці за допомогою мультиплексних полімеразних ланцюгових реакцій. Фізіологія рослин і генетика, 47(1), 25-35.

Моргун, Б. В., Чугункова, Т. В., Рибалка, О. І., та ін. (2013). Молекулярна ідентифікація алеля GluB1a1 у сортах і лініях пшениці. Фізіологія рослин і генетика, 45(4), 290-295.

Моргун, В. В., Санін, Є.В., Швартау, В.В. (2012). Сорти та оптимальні системи вирощування озимої пшениці. Ін-т фізіології рослин і генетики НАН України; Клуб 100 центнерів, Компанія «Сингента», 22-23. Швейцарія. К.: Логос.

Моргун, В. В., & Логвиненко, В. Ф. (1995). Мутаційна селекція пшениці. К.: Наукова думка.

Моргун, В. В., Гаврилюк, М. М., Оксьом, В. П., та ін. (2014). Впровадження у виробництво нових, стійких до стресових факторів, високопродуктивних сортів озимої пшениці, створених на основі використання хромосомної інженерії та маркер-допоміжної селекції. Наука та інновації, 10(5), 40-48.

Моргун, В. В., Дубровна, О. В., & Моргун, Б. В. (2016). Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. Фізіологія рослин і генетика, 48(3), 196-214. УДК 577.21:57.085.1:577.233.3:633.

Мостіпан, М. І. (2015). Рослинництво. Лабораторний практикум. Кіровоград: Лисенко В. Ф. (С. 317).

Попов, С. І. (2000). Залежність урожаю та якості зерна ярої твердої пшениці від вмісту в ґрунті поживних речовин. Селекція і насінництво, 84, 84–92.

Посібник українського хлібороба. (2010). Рекомендації з посіву озимих культур під урожай 2011 року в контексті кліматичних змін (Крим, Степ, Лісостеп, Полісся). Наук.-виробнич. щорічник, Вип. № 2.

Посудін, Ю. І. (2003). Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник. Київ: Світ.

Починок В. М., Радченко О. М. (2011). Сучасний стан досліджень запасних білків пшениці. Физиология и биохимия культурных растений, 255-266.

Ремесло, В. Н. (1976). Мироновские пшеницы (2-е изд., перераб. и доп.). Колос, 336 с.

Ремесло, В. Н. (1979). Результати, перспективи і шляхи ускорення селекції озимої пшениці. Селекція і сортова агротехніка озимої пшениці: наукові праці ВАСХНІЛ, 8-19. М.: Колос.

Рибалка, О. І., Моргун, Б. В., & Починок, В. М. (2012). Сучасні дослідження якості зерна пшениці у світі: генетика, біотехнологія та харчова цінність запасних білків. Физиология и биохимия культурных растений, 44(1), 3–22.

Різник О. І., Сайко В. Ф., Лобас М. Г. (1994). Зернові, зернобобові, круп'яні культури і кукурудза в агроєкосистемах. Наукові основи ведення зернового господарства.

Сиволап, Ю. М., Кожухова, Н. Е., & Календарь, Р. Н. (2011). Варіабельність і специфічність геномів сільськогосподарських рослин. Астропринт, 24.

Танчик С. П., Мокрієнко В. А., Моторний В. А. (2014). Продуктивність пшениці озимої залежно від строків сівби. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України, № 2.

Танчик, С. П., Мокрієнко, В. А., & Моторний, В. А. (2014). Продуктивність пшениці озимої залежно від строків сівби. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2.

Терещенко, Ю. Ф. (2014). Висвітлення екологічного ефекту ЧВВВ в підручниках для аграрних ВИШІВ. Тези наук.-практ. конф., присвяченої 90-річному ювілею доктора с.-г. наук Мединця Василя Дмитровича.

Топко Р. І., Волощук С. І., Ковалишина Г. М. 2023. Оцінка генотипів пшениці м'якої озимої за даними дистанційного зондування та агрономічними

ознаками, пов'язаними з урожайністю. Наукові доповіді НУБіП України. №5/105. <https://doi.org/10.31548/agr2021.04.068>

Топко Р. І., Ковалишина Г.М., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В. (2021 а). Спектральна оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої в період відновлення весняної вегетації. *Plant and soil science*. Vol. 12, №4. С 68–79. doi: 10.31548/agr2021.04.068

Топко Р. І., Ковалишина Г.М., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В. (2021 б). Спектральна оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої в осінній період. *Plant and soil science*, 29–36. doi: 10.31548/agr2021.02.029

Мединця В. Д. (2001). Управління онтогенезом рослин (агроекологічний напрямок). *Полтава: Верстка*. 12-14.

Черенков А. В., Гирка А. Д., Педаш О. О., Дубовий О. І. (2009). Вплив строків сівби та азотних підживлень на ріст і розвиток рослин озимої пшениці впродовж весняно-літнього періоду вегетації. *Бюлетень Інституту зернового господарства*, 86-93.

Черенков, А. В., Гасанова, І. І., Солодушко, М. М. (2014). Пшениця озима – розвиток та селекція культури в історичному аспекті. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*, (6), 3-6.

Черенков, А. В., Гирка, А. Д., Педаш, О. О., & Дубовий, О. І. (2009). Вплив строків сівби та азотних підживлень на ріст і розвиток рослин озимої пшениці впродовж весняно-літнього періоду вегетації. *Бюлетень Інституту зернового господарства*, 86-93.

Шевченко, О. І., Кривда, Ю. І., Демиденко, В. Г. (2009). Деградація чорнозему типового у сівозмінах Миронівського інституту пшениці. *Науково-технічний бюлетень МПП ім. В. М. Ремесла*, Вип. 9, Миронівка, 292–300.

Шелепов, В. В., Дубовий, В. І., Кириленко, В. В., Лісовий, М. П., & Шелепов, В. В. (2005). Створення стійких сортів озимої пшениці з використанням комплексних інфекційних фонів патогенів у ланках селекційного процесу. *Колобіг*, 329.

## ДОДАТКИ

## Додаток А.1



УДК 633.111.1:3246/631.527:375.21:528.6(202.485/477)

Розглянуто та затверджено до друку

Вченою радою Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН  
України, протокол № 10 від 10.09.2023 року

Рецензенти:

Володар О. П. – доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник відділу олійних сільськогосподарських культур Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН України

Павлюк С. В. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу біотехнології, селекції і фізіології Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України

**Авторської колектив:** Демиден О.А., Топко Р. І., Вишгород Г. Б., Гунько О.В., Коваленко Г. М. **Метод польового фенотипування селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої з використанням NDVI індексу в умовах Лісо-stepу України. Методичні рекомендації.** Київ: Компрікс, 2023. 44 с.

Методичні рекомендації присвячені теоретичному обґрунтуванню та практичній розробці актуального наукового завдання з польового фенотипування селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої в умовах Лісо-stepу України.

Наукові методичні рекомендації адресовані науковцям, аспірантам, докторантам, викладачам навчальних закладів, студентам ЗВО та фахівцям агропромислових підприємств і різних форм власності.

За довідками звертатися:

Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН України  
Адреса: 08853, вул. Центральна 64, корп. 2, с. Центральне Обухівського району Київської області; факс: (04574)-74-416, тел. (04574)-74-133

## Додаток А.2

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи  
та інноваційної діяльності  
Національного університету біоресурсів  
і природокористування України  
і професор аграрних наук,  
доктор філософських наук,  
професор КОНДРАТЮК  
«6» листопада 2023 р.



## ПОГОДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної  
роботи та розвитку Національного  
університету біоресурсів і  
природокористування України  
доктор економічних наук, професор  
Сергій КВАША  
«6» листопада 2023 р.

## А К Т

про впровадження результатів  
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
у науковий процес

Цим актом стверджується, що результати дисертації на тему: «Мультиспектральна діагностика сортів та селекційних ліній пшениці озимої з використанням NDVI індексу в умовах Львівщини України», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 201 «Агронія», виконану Тонком Ростиславом Ігоровичем, впроваджено у наукову програму «Вирішення проблеми забезпечення продовольчої безпеки шляхом збереження та розширення генофонду зернових та плодкових культур» на кафедрі генетики, селекції і насінництва ім. проф. М. О. Зеленького Національного університету біоресурсів і природокористування України – сорти та перспективні лінії, які були менш чутливими до строків сівби – МП Лада, МП Ассоль, Грація МИР, Лютецене 55198 та Лютецене 60049, а сорти Грація МИР і МП Дніпрянка та селекційні лінії Еритроспермум 55023, Лютецене 55198, Лютецене 37519 і Лютецене 60049 перевищували сорт стандарт Подольнка за такими показниками як: вміст білка та клейковини, схожість і маса 1000 насінни.

Директор НДІ  
рослиництва та ґрунтознавства  
доктор с.-г. наук, професор

Дмитро ЛІТВИНОВ

Декан аграрнобіологічного факультету  
доктор с.-г. наук, професор

Оксана ТОНХА

Завідувач кафедри  
генетики, селекції і насінництва  
ім. проф. М. О. Зеленького  
кандидат с.-г. наук, доцент

Олександр МАКАРЧУК

## Додаток Б.1

Кількість опадів та середня температура повітря щодобово протягом трьох  
 вегетаційних років 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 в.р.

Дата	Опади за день, мм	Середня температура повітря, °С	Дата	Опади за день, мм	Середня температура повітря, °С	Дата	Опади за день, мм	Середня температура повітря, °С
02.09.18	0	23	02.09.19	0	22	02.09.20	0	25,8
03.09.18	0	22,1	03.09.19	0	24	03.09.20	0	23,1
04.09.18	0	21,6	04.09.19	0,1	15,9	04.09.20	0	19,3
05.09.18	0	21,2	05.09.19	0	15,9	05.09.20	0	19,1
06.09.18	0	19,9	06.09.19	0	17,1	06.09.20	0	20,8
07.09.18	0	19,9	07.09.19	0	19,5	07.09.20	0	22,8
08.09.18	15	14,6	08.09.19	0	21,2	08.09.20	0,3	17,2
09.09.18	5,4	15,5	09.09.19	0	20	09.09.20	0	18,1
10.09.18	15,3	16,3	10.09.19	0	19,6	10.09.20	0	20,8
11.09.18	20	16,8	11.09.19	0	18,8	11.09.20	0	17,2
12.09.18	0	18,1	12.09.19	0	19,9	12.09.20	0	16,4
13.09.18	0	19,6	13.09.19	0	20,5	13.09.20	0	20,3
14.09.18	0	19,7	14.09.19	0	16,4	14.09.20	0	19,3
15.09.18	0	18,5	15.09.19	0	15	15.09.20	0	19,1
16.09.18	6	16,7	16.09.19	0	18,8	16.09.20	0	20,2
17.09.18	0	13,9	17.09.19	0	15,8	17.09.20	0	21,5
18.09.18	0	16,5	18.09.19	0,7	11,3	18.09.20	0	11
19.09.18	0	18,6	19.09.19	0	10,5	19.09.20	0	13,9
20.09.18	0	19,8	20.09.19	0,3	7,8	20.09.20	0	13
21.09.18	0	20,5	21.09.19	0	9,6	21.09.20	0	14,2
22.09.18	0	21	22.09.19	0	14,3	22.09.20	0	17,7
23.09.18	4	12,4	23.09.19	0	9,1	23.09.20	0	16,5
24.09.18	5,3	11,9	24.09.19	0	8,5	24.09.20	0	17,5
25.09.18	4	8,6	25.09.19	0	11,7	25.09.20	0	19,5
26.09.18	0	7,5	26.09.19	3	11,4	26.09.20	0	21,5
27.09.18	0	11,1	27.09.19	0,1	11,5	27.09.20	5	17,6
28.09.18	0	14,2	28.09.19	0	13,5	28.09.20	0	13,8
29.09.18	12,8	10,1	29.09.19	7,8	14,8	29.09.20	0	16,6
30.09.18	0	7,3	30.09.19	0	16,4	30.09.20	16	13,4
01.10.18	0	9	01.10.19	2	13,6	01.10.20	2	15
02.10.18	2	12	02.10.19	0	17,1	02.10.20	0,8	14,7
03.10.18	14	10,8	03.10.19	0	18,4	03.10.20	0	16
04.10.18	0,7	8,2	04.10.19	0,8	10,5	04.10.20	0	18,2
05.10.18	0	9	05.10.19	1	8,2	05.10.20	0	17,6
06.10.18	0	11,6	06.10.19	0	7,8	06.10.20	0	17,6
07.10.18	0	12,9	07.10.19	0,7	4,4	07.10.20	9,9	18,1
08.10.18	0	13,7	08.10.19	0	5,1	08.10.20	7	17,7
09.10.18	0	8,4	09.10.19	0	10,1	09.10.20	0	16,7
10.10.18	0	8,3	10.10.19	0	14,8	10.10.20	0	14,7
11.10.18	0	11,8	11.10.19	0	11,6	11.10.20	0	13,7
12.10.18	0	12,4	12.10.19	0	13,1	12.10.20	0	14,9
13.10.18	0	9,4	13.10.19	0	16,2	13.10.20	0	16,3

## Продовження Додатка Б.1

14.10.18	0	9,9	14.10.19	0	15	14.10.20	0	15,1
15.10.18	0	11,1	15.10.19	0	15,5	15.10.20	0	13,6
16.10.18	0	14	16.10.19	0	13,9	16.10.20	0	14,6
17.10.18	0	14,4	17.10.19	0	15	17.10.20	7,5	12,5
18.10.18	0	13,4	18.10.19	0	14,2	18.10.20	0	9,1
19.10.18	0	12,1	19.10.19	0	14,4	19.10.20	0	7,6
20.10.18	0	12,1	20.10.19	0	11,8	20.10.20	0	6,5
21.10.18	0	10,4	21.10.19	0	11,5	21.10.20	0	8,2
22.10.18	0	6,5	22.10.19	0,3	10,2	22.10.20	0	13,1
23.10.18	0	6,9	23.10.19	0	10,2	23.10.20	0	14,7
24.10.18	6	7,2	24.10.19	0,3	10,1	24.10.20	0	14,2
25.10.18	1	4,9	25.10.19	0,8	10	25.10.20	0	11,6
26.10.18	4,3	6	26.10.19	0,6	9	26.10.20	0	10,7
27.10.18	0	9,7	27.10.19	0	9,7	27.10.20	0,2	11,2
28.10.18	0	13,8	28.10.19	0,5	9,7	28.10.20	0	9,5
29.10.18	0	13,5	29.10.19	0	6,3	29.10.20	2	7,7
30.10.18	0,3	13,3	30.10.19	0	2,2	30.10.20	0	9,8
31.10.18	0	10,8	31.10.19	0	0,1	31.10.20	9	8,1
01.11.18	0	8,3	01.11.19	0	1,7	01.11.20	7,7	7,8
02.11.18	0	8,9	02.11.19	0	4,5	02.11.20	1,1	7
03.11.18	0	7,6	03.11.19	4	9	03.11.20	0,1	7,9
04.11.18	0	8,5	04.11.19	0,1	14,7	04.11.20	0	7,6
05.11.18	0,2	7,7	05.11.19	3	14,5	05.11.20	0	7,4
06.11.18	<b>0</b>	<b>4,5</b>	06.11.19	0	14,7	06.11.20	0	5,6
07.11.18	0	4,7	07.11.19	1	8,3	07.11.20	0	8,5
08.11.18	0	3,9	08.11.19	0,3	8,4	08.11.20	0	7,8
09.11.18	0	2,7	09.11.19	0,1	13,2	09.11.20	0	7,7
10.11.18	0	2,9	10.11.19	0	10,9	10.11.20	0	6,1
11.11.18	0,4	1	11.11.19	2,4	10	11.11.20	<b>0</b>	<b>4,4</b>
12.11.18	0	0,5	12.11.19	0	7,2	12.11.20	0	3,2
13.11.18	0	-2,7	13.11.19	0	9,7	13.11.20	0	2,7
14.11.18	2	-2,8	14.11.19	0	6,2	14.11.20	0,5	3,1
15.11.18	1,9	-0,2	15.11.19	0	4,1	15.11.20	0,2	3,7
16.11.18	0	-2	16.11.19	0	8,6	16.11.20	0,9	1,7
17.11.18	0	-1,6	17.11.19	0	7,6	17.11.20	0,4	-1,6
18.11.18	0	-2,7	18.11.19	0,1	2,9	18.11.20	3	-1,3
19.11.18	0	-0,8	19.11.19	0	6,7	19.11.20	0	-1,2
20.11.18	2	-2,1	20.11.19	<b>0,2</b>	<b>4,2</b>	20.11.20	2	0,4
21.11.18	0	-3,8	21.11.19	0	-0,8	21.11.20	4	0,7
22.11.18	0	-4	22.11.19	0	-6,8	22.11.20	0	0,9
23.11.18	0	-3,8	23.11.19	0	-6,5	23.11.20	0	4,2
24.11.18	0	-5,9	24.11.19	0	-6	24.11.20	0,2	4,3
25.11.18	0,7	-1,5	25.11.19	0	-3,5	25.11.20	0	5
26.11.18	8	0,3	26.11.19	0	-2,9	26.11.20	0	4,9
27.11.18	6,9	-3,2	27.11.19	0	-2,8	27.11.20	0	2,4
28.11.18	0	-5,7	28.11.19	0	-0,1	28.11.20	7	2,4
29.11.18	0	-7	29.11.19	6	4,7	29.11.20	0,4	1
30.11.18	0	-10,2	30.11.19	0,1	3,2	30.11.20	0	-1

## Продовження Додатка Б.1

01.12.18	16	-6,2	01.12.19	0	-0,4	01.12.20	6	-0,6
02.12.18	0,2	-8,2	02.12.19	1	-1,4	02.12.20	0,7	-0,4
03.12.18	0	-3,9	03.12.19	3	-0,7	03.12.20	0	-0,6
04.12.18	0	2,4	04.12.19	0	-1,1	04.12.20	0,1	0,2
05.12.18	2,1	0,2	05.12.19	0	1,3	05.12.20	0	-1
06.12.18	1	0,4	06.12.19	0	-0,3	06.12.20	0	-4,5
07.12.18	0	-3,3	07.12.19	0	-1,1	07.12.20	0	-7,1
08.12.18	0,3	-1,7	08.12.19	0	2,8	08.12.20	0,4	-6,8
09.12.18	7	0,9	09.12.19	0	3,3	09.12.20	0	-4,7
10.12.18	0	-1	10.12.19	0	4,5	10.12.20	0,6	-3,3
11.12.18	0	-0,2	11.12.19	0,1	1,9	11.12.20	2	-1,4
12.12.18	13	-0,3	12.12.19	0,1	2	12.12.20	0	-2,5
13.12.18	5,7	-0,4	13.12.19	0	-0,2	13.12.20	3,9	0,3
14.12.18	6	-0,2	14.12.19	0,6	1,6	14.12.20	7,4	0,2
15.12.18	0,8	-1,8	15.12.19	5	5,3	15.12.20	0	0,5
16.12.18	0	-3,3	16.12.19	0	6,6	16.12.20	0	0,1
17.12.18	0	-4,6	17.12.19	0	6	17.12.20	0,1	0,7
18.12.18	0	-5,5	18.12.19	0	6	18.12.20	0,1	0,4
19.12.18	0	-6,2	19.12.19	0	5,8	19.12.20	0	1,1
20.12.18	0,7	-4,8	20.12.19	0	1,9	20.12.20	0	1,1
21.12.18	0,1	-2,5	21.12.19	0,8	7,2	21.12.20	0,4	-0,7
22.12.18	2	-1,7	22.12.19	0,1	9,2	22.12.20	0	-2
23.12.18	1,3	1,4	23.12.19	0,1	10,3	23.12.20	4	-1,3
24.12.18	2	-0,3	24.12.19	2,5	6,3	24.12.20	1,3	0,4
25.12.18	7,6	-3,3	25.12.19	5	5	25.12.20	9	3,3
26.12.18	1	-1,2	26.12.19	4,4	4,6	26.12.20	0	1,2
27.12.18	1	0,7	27.12.19	5,9	1,4	27.12.20	0	-0,3
28.12.18	1,4	1,4	28.12.19	6	0,7	28.12.20	0,6	0,4
29.12.18	2,5	-0,2	29.12.19	2,3	-1,3	29.12.20	1,4	3,3
30.12.18	0	-2,1	30.12.19	0	-2,4	30.12.20	0,3	7,8
31.12.18	0	-4,2	31.12.19	1	1,9	31.12.20	0	7,8
01.01.19	0,2	-2,9	01.01.20	1,2	1,2	01.01.21	3,8	6,9
02.01.19	1,4	-0,3	02.01.20	0	-0,3	02.01.21	0	3,2
03.01.19	3	-1,1	03.01.20	0	0,1	03.01.21	0	1,4
04.01.19	0	-2,6	04.01.20	0	1	04.01.21	0,3	2
05.01.19	0	-3,9	05.01.20	0,3	1,2	05.01.21	0	0
06.01.19	4	-5,4	06.01.20	0,9	-0,7	06.01.21	0,4	1,6
07.01.19	1,2	-7,5	07.01.20	0	-3	07.01.21	8	3,6
08.01.19	0	-10,5	08.01.20	0	-2,4	08.01.21	1	1,8
09.01.19	0,2	-10,5	09.01.20	0,7	0,1	09.01.21	0	0,3
10.01.19	2	-6,8	10.01.20	2	1,5	10.01.21	0	0,1
11.01.19	0,2	-8	11.01.20	0,3	4,1	11.01.21	0	-1,3
12.01.19	0,4	-6,4	12.01.20	0	0,2	12.01.21	0	-1,3
13.01.19	0	-0,9	13.01.20	0	2,3	13.01.21	0	-2,5
14.01.19	0,7	-2,8	14.01.20	0	2,2	14.01.21	3	-2
15.01.19	0,5	-2,8	15.01.20	0	1,9	15.01.21	1,4	-8,4
16.01.19	0,2	-4,3	16.01.20	0	1,9	16.01.21	0	-14,1
17.01.19	0	-3,4	17.01.20	0	1,1	17.01.21	0	-17,6

## Продовження Додатка Б.1

18.01.19	0	-0,1	18.01.20	0	-0,5	18.01.21	0	-17,2
19.01.19	0	-3,4	19.01.20	0	-1,2	19.01.21	0	-16,2
20.01.19	3	-8,7	20.01.20	0	-0,4	20.01.21	0	-14,4
21.01.19	4	-6,4	21.01.20	0	2	21.01.21	0	-3,3
22.01.19	0	-11,4	22.01.20	0,3	2	22.01.21	0	0,7
23.01.19	9	-7,5	23.01.20	0,6	0,9	23.01.21	0	1
24.01.19	0,2	-8,2	24.01.20	0	1,2	24.01.21	0,7	6,8
25.01.19	0	-10,8	25.01.20	0	0,8	25.01.21	6	7
26.01.19	0	-6,1	26.01.20	0	1,3	26.01.21	3	2,5
27.01.19	3	-6,6	27.01.20	0	0,5	27.01.21	4	-0,5
28.01.19	0	-6,9	28.01.20	0	0,1	28.01.21	13	-1
29.01.19	1,3	1,7	29.01.20	8,1	1,4	29.01.21	6	-3,5
30.01.19	2,9	2,8	30.01.20	3,3	2,3	30.01.21	4	-4
31.01.19	2	1,3	31.01.20	2	2,4	31.01.21	2	-2,2
01.02.19	0,4	1,2	01.02.20	1	3,1	01.02.21	10,9	-3,6
02.02.19	0,3	0,5	02.02.20	0,8	7,8	02.02.21	0,4	-5,6
03.02.19	0	1,9	03.02.20	0,3	4,2	03.02.21	0	-1,3
04.02.19	0	3	04.02.20	1	2,3	04.02.21	1,2	1,1
05.02.19	0	0,8	05.02.20	9	0,2	05.02.21	0	-4,3
06.02.19	1	-0,6	06.02.20	0,2	-2,3	06.02.21	0	-8
07.02.19	0	-2,3	07.02.20	1	-4,9	07.02.21	0	-12,8
08.02.19	0	-1,8	08.02.20	0	-5	08.02.21	10	-10,6
09.02.19	0	-2,1	09.02.20	0	-1,7	09.02.21	8,3	-5,5
10.02.19	0	-2,2	10.02.20	0	0,4	10.02.21	3,3	-4
11.02.19	0	0,6	11.02.20	9	3,5	11.02.21	6	-4,3
12.02.19	13	1,4	12.02.20	1	2,4	12.02.21	5	-10,8
13.02.19	8	-0,9	13.02.20	1	2	13.02.21	1,8	-11,7
14.02.19	0,1	0,7	14.02.20	0	3,2	14.02.21	0,2	-7,8
15.02.19	0	0,7	15.02.20	0	3,5	15.02.21	0,5	-8,1
16.02.19	0,3	2,2	16.02.20	0	3,5	16.02.21	0	-13,5
17.02.19	0	3,8	17.02.20	0	4,3	17.02.21	0	-11,9
18.02.19	0	1,1	18.02.20	0	4,5	18.02.21	0	-10
19.02.19	0	0,1	19.02.20	0	4,2	19.02.21	0	-12,5
20.02.19	0	2,7	20.02.20	0	3,6	20.02.21	0	-6,8
21.02.19	0	1,6	21.02.20	0	2,7	21.02.21	0	1,7
22.02.19	0	-5,3	22.02.20	0	2,4	22.02.21	0	3,2
23.02.19	0,2	-5,5	23.02.20	0,4	4,9	23.02.21	0	-1
24.02.19	0	-1,5	24.02.20	8	3,4	24.02.21	0,4	0
25.02.19	0	2,5	25.02.20	0	3,1	25.02.21	0	5,2
26.02.19	3	1,3	26.02.20	0	5,4	26.02.21	0	5,8
27.02.19	0	1,4	27.02.20	19	3,7	27.02.21	0,6	2,7
28.02.19	0	4,7	28.02.20	0	2,8	28.02.21	0,7	1,5
01.03.19	0,4	2	29.02.20	0	2,8	01.03.21	0,9	1
02.03.19	0	-1,9	01.03.20	0	4,7	02.03.21	0	1,6
03.03.19	0	-0,8	02.03.20	0,3	5,8	03.03.21	0	1,7
04.03.19	0,7	5,5	03.03.20	<b>0,1</b>	<b>8,9</b>	04.03.21	0	4,1
05.03.19	<b>2</b>	<b>5,4</b>	04.03.20	0	11,2	05.03.21	0,6	1,9
06.03.19	0	5,3	05.03.20	0	11,5	06.03.21	2	-1,5

## Продовження Додатка Б.1

07.03.19	0	5,1	06.03.20	0	9	07.03.21	0	-0,5
08.03.19	0	9,2	07.03.20	0,3	11,3	08.03.21	0,4	0,2
09.03.19	1	10,2	08.03.20	3	8	09.03.21	0	-3,8
10.03.19	2,3	6	09.03.20	1,4	7,9	10.03.21	0	-3,4
11.03.19	0,7	4,2	10.03.20	0,5	7,8	11.03.21	0	-3,2
12.03.19	0	2,1	11.03.20	0,3	7,8	12.03.21	4	-3,3
13.03.19	0	1,5	12.03.20	0	10,6	13.03.21	0,7	3,2
14.03.19	0	2,9	13.03.20	0,3	9,9	14.03.21	0	3,6
15.03.19	0	3,7	14.03.20	3	4,2	15.03.21	3	4,3
16.03.19	4	3,7	15.03.20	0	-0,4	16.03.21	0	4,5
17.03.19	0	6	16.03.20	0	2,1	17.03.21	5	1,8
18.03.19	0	9,5	17.03.20	0	3,7	18.03.21	2	2,7
19.03.19	2	7,4	18.03.20	0	6	19.03.21	1,1	1,8
20.03.19	6	5,7	19.03.20	0	10,6	20.03.21	5,4	1,2
21.03.19	0	4,3	20.03.20	0	9,6	21.03.21	0	1,3
22.03.19	0	7,2	21.03.20	0	8,1	22.03.21	0	2,4
23.03.19	0	3,3	22.03.20	5,8	2,1	23.03.21	0,4	0
24.03.19	0	4,7	23.03.20	0	-0,7	24.03.21	2,5	1,1
25.03.19	0	5,3	24.03.20	0	-1,1	25.03.21	0	2
26.03.19	0,1	3,5	25.03.20	0	2	26.03.21	0	5,3
27.03.19	8	1,3	26.03.20	0	5,2	27.03.21	<b>0</b>	<b>7,8</b>
28.03.19	0	1,3	27.03.20	0	8,5	28.03.21	0	8,8
29.03.19	0	4,4	28.03.20	0	11	29.03.21	0,3	7,7
30.03.19	0	8,2	29.03.20	0	10,8	30.03.21	0	8,5
31.03.19	0	11,7	30.03.20	0	7	31.03.21	0	8,3
01.04.19	0	8,6	31.03.20	0	0,2	01.04.21	0	13
02.04.19	0	4,5	01.04.20	0	2	02.04.21	5	7
03.04.19	0	4,5	02.04.20	0	6,4	03.04.21	0	6,3
04.04.19	0	5,2	03.04.20	0	9,4	04.04.21	0	5,8
05.04.19	0	7,8	04.04.20	0	8,1	05.04.21	0	4,9
06.04.19	0	9,5	05.04.20	0	6,4	06.04.21	0	8
07.04.19	0	13,4	06.04.20	0	7,4	07.04.21	5	3,1
08.04.19	0	15,3	07.04.20	0	10,3	08.04.21	0,3	2,8
09.04.19	0	15,3	08.04.20	0	14,3	09.04.21	0	4,4
10.04.19	0	15,5	09.04.20	0	12,8	10.04.21	0	6,8
11.04.19	2	11,2	10.04.20	2	9,8	11.04.21	0	9,7
12.04.19	0	7,9	11.04.20	0	7	12.04.21	0,1	7,3
13.04.19	0,3	5,6	12.04.20	0	6,5	13.04.21	0	9,2
14.04.19	0	5	13.04.20	0	13,2	14.04.21	0	11,2
15.04.19	0,7	3,7	14.04.20	11	5,1	15.04.21	0,1	10
16.04.19	11	8,3	15.04.20	0	4,9	16.04.21	16	7,3
17.04.19	5,5	8,8	16.04.20	0	12,1	17.04.21	4,3	6,6
18.04.19	0	9,2	17.04.20	0	10,1	18.04.21	0	8,1
19.04.19	0,3	9	18.04.20	0	7,9	19.04.21	0	7,5
20.04.19	0	8,7	19.04.20	0	8,6	20.04.21	0	8,5
21.04.19	0	10,6	20.04.20	0	6,9	21.04.21	0,6	8,7
22.04.19	0	11,3	21.04.20	0	6,9	22.04.21	0	13,2
23.04.19	0	12,5	22.04.20	0	8,6	23.04.21	2,6	8,1

## Продовження Додатка Б.1

24.04.19	0	14,4	23.04.20	0	11,5	24.04.21	0	4,8
25.04.19	0	15,8	24.04.20	0	14,5	25.04.21	0,4	7,1
26.04.19	0	16,1	25.04.20	0	15,3	26.04.21	11,8	4,1
27.04.19	0	15,7	26.04.20	31	8,9	27.04.21	0	4,2
28.04.19	0,6	17,1	27.04.20	0	9,4	28.04.21	0	7,1
29.04.19	0	13,4	28.04.20	0	12,6	29.04.21	0	11,1
30.04.19	3	9	29.04.20	0	15,8	30.04.21	1	15,2
01.05.19	17	10,1	30.04.20	3,5	14,7	01.05.21	0,4	16,2
02.05.19	0,6	10,5	01.05.20	0,3	13,7	02.05.21	6	15,1
03.05.19	0,5	14,4	02.05.20	5	16,8	03.05.21	0	12,2
04.05.19	0,1	15	03.05.20	5	15,8	04.05.21	0	9,2
05.05.19	0,5	17,1	04.05.20	4,1	15,6	05.05.21	0	14,3
06.05.19	2	15	05.05.20	0,3	13,6	06.05.21	3,1	11,7
07.05.19	1,3	15,7	06.05.20	8	10,4	07.05.21	0	13,2
08.05.19	0,1	9,4	07.05.20	6	8	08.05.21	10	9,2
09.05.19	2,3	9,2	08.05.20	1	10,2	09.05.21	0	9
10.05.19	4	12	09.05.20	0	11,9	10.05.21	0	11,7
11.05.19	0	14,3	10.05.20	0	16	11.05.21	0	15,9
12.05.19	0	15,8	11.05.20	0	20,7	12.05.21	0	11,2
13.05.19	10	15,5	12.05.20	2,3	12,8	13.05.21	0	13,3
14.05.19	0,1	17,8	13.05.20	0	9,9	14.05.21	1,3	16,2
15.05.19	0	18,9	14.05.20	3	12,5	15.05.21	4,7	16,9
16.05.19	0	21,4	15.05.20	0	11,2	16.05.21	0	18,4
17.05.19	0	22,2	16.05.20	9	11,7	17.05.21	6,6	16
18.05.19	0	21,2	17.05.20	2	12,8	18.05.21	1	15,4
19.05.19	0	21	18.05.20	0	14,1	19.05.21	0,9	14,7
20.05.19	0	22,2	19.05.20	0	14,2	20.05.21	2	14,8
21.05.19	8	18,7	20.05.20	0,5	14	21.05.21	0	14,9
22.05.19	2	17,3	21.05.20	0	10,9	22.05.21	0	16,7
23.05.19	0,4	18,6	22.05.20	0	8,5	23.05.21	0	18
24.05.19	0,6	19,8	23.05.20	0	10,1	24.05.21	42	13,1
25.05.19	1,3	17,7	24.05.20	0,4	11,8	25.05.21	0	16,4
26.05.19	0,1	19,7	25.05.20	12	11,6	26.05.21	1	17,5
27.05.19	0	21,5	26.05.20	6	11,8	27.05.21	0	18,2
28.05.19	0	22,4	27.05.20	3	12,9	28.05.21	2	18,6
29.05.19	0	21,4	28.05.20	7	12	29.05.21	3	16,2
30.05.19	0	21	29.05.20	0	14,9	30.05.21	3	14,7
31.05.19	0	22,5	30.05.20	16	13,7	31.05.21	0	11,9
01.06.19	0,4	22,2	31.05.20	0,7	12,9	01.06.21	0	11,7
02.06.19	4	21,2	01.06.20	3	11,1	02.06.21	1,8	12,9
03.06.19	0	22,3	02.06.20	4	11,2	03.06.21	0	16,9
04.06.19	0	21,9	03.06.20	0	13	04.06.21	0	17,7
05.06.19	8	21,3	04.06.20	0	15,7	05.06.21	0	18,1
06.06.19	0,4	22,3	05.06.20	0,6	18,7	06.06.21	0	16,3
07.06.19	49	21,7	06.06.20	0	22,1	07.06.21	3,5	18,1
08.06.19	0	21,4	07.06.20	0	23,8	08.06.21	0,7	19
09.06.19	4	21,3	08.06.20	0	24	09.06.21	0	19,3
10.06.19	0	23,7	09.06.20	0	25,5	10.06.21	13	17,6

## Продовження Додатка Б.1

11.06.19	0	24,5	10.06.20	0	26,6	11.06.21	5	17,1
12.06.19	0	24,8	11.06.20	0	27,4	12.06.21	0	19,3
13.06.19	6	23,3	12.06.20	0	26,3	13.06.21	35	17,9
14.06.19	0	25	13.06.20	0	25,3	14.06.21	4	19,1
15.06.19	0	25	14.06.20	4	21,6	15.06.21	0	21,4
16.06.19	0	23,6	15.06.20	14	22,9	16.06.21	12	19,9
17.06.19	0	23,1	16.06.20	0,4	22,4	17.06.21	1,7	22
18.06.19	0	23,2	17.06.20	6	22	18.06.21	10	20,9
19.06.19	0	23,2	18.06.20	0	22,5	19.06.21	0,4	21,8
20.06.19	0	24,3	19.06.20	0	23,9	20.06.21	0,3	23
21.06.19	0	25,2	20.06.20	0	22,2	21.06.21	0	23,9
22.06.19	0	26,2	21.06.20	0	24,8	22.06.21	0	24,1
23.06.19	0	25,5	22.06.20	14	21,5	23.06.21	0	23,7
24.06.19	0	24,4	23.06.20	0,1	22,5	24.06.21	0	26,2
25.06.19	0	23,2	24.06.20	0	20,8	25.06.21	0	26,1
26.06.19	0	22,9	25.06.20	0	21,4	26.06.21	9	24,8
27.06.19	11	21,7	26.06.20	0	21,5	27.06.21	1	22
28.06.19	0	17,2	27.06.20	0	23,5	28.06.21	0	21,7
29.06.19	4	15,4	28.06.20	11	24,2	29.06.21	9	20,4
30.06.19	0	18,1	29.06.20	0	22,8	30.06.21	3	22,2
01.07.19	0	25,2	30.06.20	0	21,8	01.07.21	5	23,9
02.07.19	0	24,1	01.07.20	0	22,2	02.07.21	3	21,3
03.07.19	0	21,1	02.07.20	0	25,1	03.07.21	6,3	21,8
04.07.19	0	16,9	03.07.20	0	26,1	04.07.21	0	22,9
05.07.19	1	18,2	04.07.20	0	25,1	05.07.21	0	23,3
06.07.19	2	18,7	05.07.20	1	23,3	06.07.21	2,3	22,4
07.07.19	0	21,5	06.07.20	0	24,2	07.07.21	0	22,3
08.07.19	0,5	17,9	07.07.20	4	20,8	08.07.21	0	23,8
09.07.19	0	16,7	08.07.20	9,3	16,2	09.07.21	0	22,8
10.07.19	0	15,7	09.07.20	0	18	10.07.21	0	24,1
11.07.19	0	15	10.07.20	0	20,8	11.07.21	0	24,6
12.07.19	3	15,5	11.07.20	0	25,3	12.07.21	2	22,6
13.07.19	0	17,5	12.07.20	5	23,9	13.07.21	0,6	24,3
14.07.19	0	17,9	13.07.20	0,9	15,7	14.07.21	0	25,7
15.07.19	0	18,1	14.07.20	0	17	15.07.21	0	27,2
			15.07.20	0	18,1			

## Додаток Б.2

Зведені дані опадів, суми температур та тривалості періоду, днів для розрахунку ГТР (гідро термічного розподілу)

Рік	Періоди розвитку пшениці озимої							Кількість днів від посіву до		
	ПС-ПВ	ПВ-ВВ	ВВ-ВТ	ВТ-КС	КС-МС	МС-ВС	ВС-ЗБ	Сума	ВС	ЗБ
<i>Опади, мм</i>										
2018/2019	51,5	183,6	43,9	31,5	74,2	0	31,5	416,2		
2019/2020	26	116	28	99	65	14	21,3	369,3		
2020/2021	102,5	274	57,9	106,9	174,9	19,9	110,2	846,3		
*середнє багаторічне	124,4	245,8	60,6	62,4	77,1	32,5	73,2	675,9		
<i>Сума активних температур 5 °C і більше</i>										
2018/2019	469	56,9	303,6	441,4	520,8	142,1	226,4	2167,2		
2019/2020	538,5	86,7	349,8	456	483,1	317,6	161,7	2393,4		
2020/2021	512,7	57,5	222,1	378,3	725,3	204,5	306	2406,5		
*середнє багаторічне	479,1	77,2	298,1	399,8	484,3	312,5	342,9	2359,9		
<i>Середньодобова температура повітря. оC</i>										
2018/2019	10,2	-1,5	7,3	15,2	18,6	24,8	17,4			
2019/2020	10	1,7	7,4	12,3	19,3	22,4	23,4			
2020/2021	11,8	-1,1	7,5	14	19,6	22,7	23,5			
*середнє багаторічне	8,9	-1,9	9,1	15,4	19,3	21	20,9			
<i>Тривалість окремих періодів, діб</i>										
2018/2019	47	127	49	29	28	6	13	252	286	299
2019/2020	55	102	49	36	24	13	6	242	279	285
2020/2021	44	135	33	27	37	9	13	239	285	298
*середнє багаторічне	59	126	37	27	25	15	17	249	290	307

## Додаток В.1

Морфо-біологічні та спектральні дані сортів та селекційних ліній пшениці озимої у період ЧПОВ і ЧВВВ за 2018/2019  
вегетаційні роки

Рік	Сорт, лінія	Кількість стебел, шт.				Кількість листків, шт.				Висота рослин, см				Маса однієї рослини, г				NDVI index			
		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
18/19	МІП Ассоль	2,16	1,12	1,80	1,20	5,84	3,12	6,12	3,88	21,28	16,49	24,94	19,44	0,72	0,27	0,89	0,45	0,42	0,28	0,71	0,60
18/19	Балада МИР	3,00	2,00	2,96	1,56	8,00	5,00	8,36	4,68	22,00	13,30	22,34	19,55	0,95	0,48	1,12	0,54	0,41	0,28	0,72	0,62
18/19	Грація МИР	2,40	1,00	2,68	1,60	5,52	3,16	7,16	5,08	21,23	16,27	20,02	15,87	0,86	0,39	1,12	0,58	0,39	0,27	0,67	0,57
18/19	Еритроспермум 55023	2,64	1,24	3,00	1,80	7,32	3,84	8,24	5,80	21,54	15,88	18,63	19,72	0,92	0,42	1,34	0,62	0,38	0,27	0,68	0,55
18/19	МІП Ювілейна	1,16	1,60	1,96	1,80	4,44	4,08	6,00	8,80	25,63	17,90	20,84	18,10	0,78	0,81	0,85	0,62	0,40	0,28	0,68	0,57
18/19	МІП Лада	2,56	1,20	2,48	2,32	6,40	3,44	6,52	7,04	25,02	18,89	23,72	15,04	0,97	0,42	1,19	0,61	0,44	0,29	0,72	0,61
18/19	МІП Дніпрянка	2,52	1,72	3,00	1,80	6,12	4,52	7,92	4,80	24,89	19,12	22,28	20,58	0,76	0,45	1,09	0,58	0,40	0,27	0,72	0,62
18/19	Подольянка St	2,68	1,68	2,52	2,20	7,56	3,80	6,88	6,68	18,52	18,27	20,04	18,11	0,76	0,42	0,82	0,72	0,35	0,26	0,64	0,55
18/19	Лютесценс 55198	2,84	1,40	2,40	1,84	7,12	3,60	7,12	5,24	19,91	17,74	19,12	18,96	0,88	0,52	0,96	0,64	0,42	0,27	0,65	0,54
18/19	Лютесценс 37519	2,40	1,00	4,32	5,21	5,60	3,20	11,32	13,92	22,10	21,14	20,70	14,53	0,90	0,51	1,20	0,54	0,42	0,28	0,72	0,63
18/19	Лютесценс 60049	2,72	1,92	2,00	1,88	7,00	4,72	6,08	6,20	18,46	17,45	18,65	18,21	0,71	0,50	0,77	0,64	0,42	0,29	0,71	0,61
18/19	Лютесценс 60107	2,28	2,16	2,84	1,32	5,52	5,16	7,12	4,92	25,01	18,16	21,30	15,92	0,81	0,53	1,12	0,46	0,39	0,28	0,69	0,61

## Додаток В.2

Морфо-біологічні та спектральні дані сортів та селекційних ліній пшениці озимої у період ЧПОВ і ЧВВВ за 2019/2020 вегетаційні роки

Рік	Сорт, лінія	Кількість стебел, шт.				Кількість листків, шт.				Висота рослин, см				Маса однієї рослини, г				NDVI index			
		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
19/20	МІП Ассоль	1,00	1,00	2,32	3,36	1,68	1,00	7,16	9,00	7,68	5,49	17,59	18,00	7,67	7,30	4,82	6,37	0,14	0,13	0,57	0,84
19/20	Балада МИР	1,00	1,00	2,28	2,93	2,24	1,00	8,83	7,67	7,80	4,70	14,91	15,37	9,27	5,28	6,20	5,60	0,16	0,15	0,74	0,51
19/20	Грація МИР	1,00	1,00	1,84	2,27	2,12	1,04	7,04	5,87	9,10	5,17	14,84	13,73	8,36	7,20	5,14	6,09	0,18	0,15	0,63	0,47
19/20	Еритроспермум 55023	1,00	1,00	2,00	2,67	1,68	1,00	7,56	7,00	7,71	4,87	14,64	16,98	7,60	7,03	6,73	8,00	0,17	0,15	0,77	0,81
19/20	МІП Ювілейна	1,00	1,00	2,05	3,00	1,52	1,00	7,67	7,25	6,60	5,13	14,09	12,85	7,40	6,70	6,63	5,89	0,15	0,14	0,58	0,44
19/20	МІП Лада	1,00	1,00	2,24	1,71	1,90	1,00	5,84	4,12	8,10	3,90	17,41	16,15	6,90	5,61	5,93	7,63	0,23	0,14	0,49	0,45
19/20	МІП Дніпрянка	1,00	1,00	3,16	3,18	1,56	3,90	7,88	7,53	6,29	5,61	18,40	18,51	8,00	0,14	7,20	6,67	0,17	0,14	0,76	0,86
19/20	Подольянка St	1,00	1,00	2,43	2,61	1,40	1,00	7,04	6,22	7,06	5,24	17,26	17,42	6,56	6,01	4,54	6,21	0,15	0,12	0,63	0,59
19/20	Лютесценс 55198	1,00	1,00	1,84	1,95	2,08	1,16	6,12	5,47	13,29	6,64	16,66	14,50	8,26	7,53	5,67	5,90	0,29	0,15	0,56	0,42
19/20	Лютесценс 37519	1,00	1,00	2,29	2,20	2,88	1,08	8,65	5,33	10,80	5,44	16,99	14,55	7,50	6,00	4,63	9,73	0,21	0,14	0,91	0,49
19/20	Лютесценс 60049	1,00	1,00	1,67	2,69	1,84	1,00	5,25	6,00	6,10	4,17	16,13	15,33	7,29	5,93	7,02	5,81	0,16	0,13	0,46	0,63
19/20	Лютесценс 60107	1,00	1,00	2,72	2,88	2,52	1,00	8,20	6,84	10,17	5,21	17,90	17,80	8,18	5,95	5,80	5,78	0,21	0,12	0,66	0,62

## Додаток В.3

Морфо-біологічні та спектральні дані сортів та селекційних ліній пшениці озимої у період ЧПОВ і ЧВВВ за 2020/2021 вегетаційні роки

Рік	Сорт, лінія	Кількість стебел, шт.				Кількість листків, шт.				Висота рослин, см				Маса однієї рослини, г				NDVI index			
		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ		ЧПОВ		ЧВВВ	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
20/21	МІП Ассоль	2,00	1,00	3,35	1,75	5,70	2,85	10,90	6,70	22,40	14,90	15,20	10,50	15,60	8,20	8,34	7,93	0,84	0,40	1,13	0,48
20/21	Балада МИР	1,85	1,00	2,75	2,05	6,05	2,40	9,45	6,25	16,61	11,43	15,09	11,83	11,26	8,27	7,96	7,55	1,01	0,33	1,11	0,56
20/21	Грація МИР	1,50	1,00	2,90	2,15	4,55	2,25	9,90	6,65	17,32	9,93	14,07	9,38	8,52	7,56	8,80	7,90	0,62	0,28	1,02	0,58
20/21	Еритроспермум 55023	2,00	1,00	2,50	1,40	6,85	2,40	9,25	5,15	15,96	11,10	17,25	11,30	7,63	7,85	8,04	7,98	0,78	0,27	1,11	0,49
20/21	МІП Ювілейна	1,75	1,00	3,10	2,00	5,60	2,65	10,95	5,80	16,88	12,43	16,99	10,68	9,28	6,99	10,04	7,60	0,71	0,28	1,56	0,45
20/21	МІП Лада	1,60	1,00	3,15	1,55	5,35	2,85	11,30	5,90	15,21	11,31	17,83	11,92	9,10	6,50	8,70	7,80	0,73	0,30	1,56	0,58
20/21	МІП Дніпрянка	1,95	1,00	3,15	2,60	7,45	3,00	11,55	8,50	17,73	11,10	15,40	11,14	6,89	6,21	8,67	7,50	0,80	0,34	1,26	0,58
20/21	Подольська St	1,47	1,00	2,90	2,20	4,95	2,85	10,50	7,00	13,63	9,27	13,63	9,50	9,87	6,19	8,90	6,90	0,50	0,24	0,87	0,42
20/21	Лютесценс 55198	2,00	1,00	3,05	2,10	6,30	2,90	11,60	6,90	17,71	10,39	15,60	11,20	7,99	6,98	9,70	7,99	0,79	0,32	1,27	0,57
20/21	Лютесценс 37519	0,91	0,49	2,65	1,75	5,20	2,35	9,15	6,00	15,07	8,56	15,62	10,46	7,37	5,81	7,03	6,40	0,65	0,28	0,94	0,51
20/21	Лютесценс 60049	1,90	1,00	3,05	2,10	6,05	2,60	12,05	6,60	15,37	8,31	13,89	8,42	7,92	6,45	7,71	6,97	0,71	0,24	1,19	0,47
20/21	Лютесценс 60107	1,85	1,00	3,05	2,50	5,90	2,95	12,05	7,65	14,68	10,26	14,78	9,72	6,88	6,48	10,46	6,94	0,55	0,27	1,08	0,38

## Додаток Г.1

Морфо-біологічний і структурний аналіз колосу сортів та селекційних ліній 1го і 2го строку висіву у 2018/2019 вегетаційному році

Генотип	Строк	Довжина рослини, см	Кількість стебел, шт.	Аналіз головного колосу				Маса зерна з рослини, г	Маса 1000 зерен, г	NDVI index	Врожайність, т/га
				Довжина, см	Кількість колосків, шт.	Кількість зерен, шт.	Вага зерен, г				
МПП Ассоль	I	102,50	3,30	10,29	18,70	50,30	2,56	6,29	51,21	0,66	7,47
МПП Ассоль	II	98,95	3,63	9,95	18,16	51,26	2,33	6,40	45,52	0,69	7,7
МПП Ассоль	X	<b>100,72</b>	<b>3,47</b>	<b>10,12</b>	<b>18,43</b>	<b>50,78</b>	<b>2,45</b>	<b>6,34</b>	<b>48,37</b>	<b>0,68</b>	<b>7,59</b>
Балада МИР	I	104,90	2,85	11,32	19,55	50,05	2,53	6,13	50,29	0,56	7,98
Балада МИР	II	97,95	3,45	11,22	19,95	50,25	2,24	6,12	44,69	0,54	7,63
Балада МИР	X	<b>101,43</b>	<b>3,15</b>	<b>11,27</b>	<b>19,75</b>	<b>50,15</b>	<b>2,39</b>	<b>6,12</b>	<b>47,49</b>	<b>0,55</b>	<b>7,81</b>
МПП Дніпрянка	I	109,90	3,40	8,77	16,20	37,30	1,94	5,52	52,55	0,79	8,25
МПП Дніпрянка	II	103,00	3,40	9,47	17,60	44,80	2,24	6,24	50,63	0,66	7,98
МПП Дніпрянка	X	<b>106,45</b>	<b>3,40</b>	<b>9,12</b>	<b>16,90</b>	<b>41,05</b>	<b>2,09</b>	<b>5,88</b>	<b>51,59</b>	<b>0,73</b>	<b>8,12</b>
Грація МИР	I	97,00	2,90	9,46	17,80	51,40	2,59	6,07	50,93	0,66	8,34
Грація МИР	II	101,00	3,40	8,59	17,20	46,40	2,19	6,24	47,49	0,54	8,07
Грація МИР	X	<b>99,00</b>	<b>3,15</b>	<b>9,02</b>	<b>17,50</b>	<b>48,90</b>	<b>2,39</b>	<b>6,16</b>	<b>49,21</b>	<b>0,60</b>	<b>8,21</b>
МПП Лада	I	98,91	3,68	11,03	20,43	47,45	1,92	6,78	40,83	0,89	7,91
МПП Лада	II	102,21	3,69	9,56	18,79	45,62	1,79	6,36	39,45	0,79	7,39
МПП Лада	X	<b>100,56</b>	<b>3,68</b>	<b>10,30</b>	<b>19,61</b>	<b>46,53</b>	<b>1,85</b>	<b>6,57</b>	<b>40,14</b>	<b>0,84</b>	<b>7,65</b>
EP 55023	I	89,50	3,20	8,46	16,80	40,90	2,07	5,91	50,95	0,64	6,59
EP 55024	II	86,40	3,00	8,34	16,60	43,85	2,29	5,36	53,17	0,56	5,54
EP 55025	X	<b>87,95</b>	<b>3,10</b>	<b>8,40</b>	<b>16,70</b>	<b>42,38</b>	<b>2,18</b>	<b>5,64</b>	<b>52,06</b>	<b>0,60</b>	<b>6,07</b>

## продовження Додатку Г.1

Подольанка, St	I	108,40	3,20	9,53	17,80	41,00	2,04	5,66	50,20	0,59	7,68
Подольанка, St	II	98,50	3,30	10,69	20,00	48,30	2,28	6,16	47,12	0,51	6,92
Подольанка, St	X	<b>103,45</b>	<b>3,25</b>	<b>10,11</b>	<b>18,90</b>	<b>44,65</b>	<b>2,16</b>	<b>5,91</b>	<b>48,66</b>	<b>0,55</b>	<b>7,30</b>
МПП Ювілейна	I	99,70	3,00	9,37	17,40	41,50	1,99	5,27	48,05	0,61	7,52
МПП Ювілейна	II	96,40	3,20	9,65	18,20	42,20	1,89	5,21	45,39	0,56	7,33
МПП Ювілейна	X	<b>98,05</b>	<b>3,10</b>	<b>9,51</b>	<b>17,80</b>	<b>41,85</b>	<b>1,94</b>	<b>5,24</b>	<b>46,72</b>	<b>0,59</b>	<b>7,43</b>
ЛЮТ 55198	I	108,30	3,30	9,89	17,20	48,40	2,46	6,41	50,96	0,69	7,76
ЛЮТ 55198	II	91,50	2,80	10,82	18,40	50,20	2,43	6,32	48,80	0,64	7,93
ЛЮТ 55198	X	<b>99,90</b>	<b>3,05</b>	<b>10,35</b>	<b>17,80</b>	<b>49,30</b>	<b>2,44</b>	<b>6,37</b>	<b>49,88</b>	<b>0,66</b>	<b>7,85</b>
Лютесенс 37519	I	99,90	3,30	8,90	16,40	42,30	1,79	5,41	42,89	0,92	8,88
Лютесенс 37519	II	86,10	3,40	9,44	17,40	48,00	2,22	6,67	46,67	0,92	7,43
Лютесенс 37519	X	<b>93,00</b>	<b>3,35</b>	<b>9,17</b>	<b>16,90</b>	<b>45,15</b>	<b>2,01</b>	<b>6,04</b>	<b>44,78</b>	<b>0,92</b>	<b>8,16</b>
ЛЮТ 60049	I	103,30	3,30	9,44	17,20	42,60	2,03	5,81	47,76	0,77	8,16
ЛЮТ 60049	II	88,50	3,40	10,40	17,80	45,10	2,17	6,36	48,40	0,77	7,98
ЛЮТ 60049	X	<b>95,90</b>	<b>3,35</b>	<b>9,92</b>	<b>17,50</b>	<b>43,85</b>	<b>2,10</b>	<b>6,08</b>	<b>48,08</b>	<b>0,77</b>	<b>8,07</b>
ЛЮТ 60107	I	111,90	3,10	9,02	17,40	41,70	1,95	5,16	47,24	0,77	8,25
ЛЮТ 60107	II	102,80	3,30	9,10	16,60	40,70	1,87	5,08	46,13	0,71	8,07
ЛЮТ 60107	X	<b>107,35</b>	<b>3,20</b>	<b>9,06</b>	<b>17,00</b>	<b>41,20</b>	<b>1,91</b>	<b>5,12</b>	<b>46,69</b>	<b>0,74</b>	<b>8,16</b>
<b>НІР05</b>		<b>2,64</b>	<b>0,39</b>	<b>0,42</b>	<b>0,74</b>	<b>4,06</b>	<b>0,21</b>	<b>0,76</b>	<b>4,22</b>		

X – середнє по строках, St – стандарт, EP – еритроспермум, ЛЮТ – лютесценс.

## Додаток Г.2

Морфо-біологічний і структурний аналіз колосу сортів та селекційних ліній 1го і 2го строку висіву у 2019/2020 вегетаційному році

Генотип	Строк	Довжина рослини, см	Кількість стебел, шт.	Аналіз головного колосу				Маса зерна з рослини, г	Маса 1000 зерен, г	NDVI index	Врожайність, т/га
				Довжина, см	Кількість колосків, шт.	Кількість зерен, шт.	Вага зерен, г				
МПП Ассоль	I	94,05	4,05	8,55	15,00	43,50	1,84	4,25	42,18	0,47	3,45
МПП Ассоль	II	92,25	4,10	9,92	17,40	48,75	1,91	4,43	39,08	0,44	3,10
МПП Ассоль	X	<b>93,15</b>	<b>4,08</b>	<b>9,23</b>	<b>16,20</b>	<b>46,13</b>	<b>1,87</b>	<b>4,34</b>	<b>40,63</b>	<b>0,46</b>	<b>3,28</b>
Балада МИР	I	93,29	3,71	10,84	18,53	49,35	2,38	4,19	48,16	0,53	2,27
Балада МИР	II	88,15	3,90	11,18	19,00	50,35	2,33	5,11	46,18	0,41	2,53
Балада МИР	X	<b>90,72</b>	<b>3,80</b>	<b>11,01</b>	<b>18,76</b>	<b>49,85</b>	<b>2,35</b>	<b>4,65</b>	<b>47,17</b>	<b>0,47</b>	<b>2,40</b>
МПП Дніпрянка	I	82,53	3,94	9,54	18,65	53,12	2,24	3,63	41,80	0,58	<b>2,47</b>
МПП Дніпрянка	II	87,40	4,45	9,07	17,00	50,45	2,11	5,10	41,72	0,44	<b>2,43</b>
МПП Дніпрянка	X	<b>84,96</b>	<b>4,20</b>	<b>9,30</b>	<b>17,82</b>	<b>51,78</b>	<b>2,17</b>	<b>4,36</b>	<b>41,76</b>	<b>0,51</b>	<b>2,45</b>
Грація МИР	I	74,08	3,85	9,20	16,23	41,46	1,54	3,11	36,96	0,64	1,26
Грація МИР	II	76,12	4,24	10,04	17,82	50,29	1,95	4,39	38,51	0,42	0,94
Грація МИР	X	<b>75,10</b>	<b>4,04</b>	<b>9,62</b>	<b>17,03</b>	<b>45,88</b>	<b>1,74</b>	<b>3,75</b>	<b>37,73</b>	<b>0,53</b>	<b>1,10</b>
МПП Лада	I	85,90	3,85	9,58	17,70	45,20	1,77	3,36	39,05	0,55	2,31
МПП Лада	II	86,20	4,40	10,15	18,70	44,25	1,72	4,32	38,87	0,33	2,85
МПП Лада	X	<b>86,05</b>	<b>4,13</b>	<b>9,87</b>	<b>18,20</b>	<b>44,73</b>	<b>1,74</b>	<b>3,84</b>	<b>38,96</b>	<b>0,44</b>	<b>2,58</b>
ЕР 55023	I	91,10	4,20	11,09	20,00	59,75	2,39	6,07	39,92	0,45	1,93
ЕР 55024	II	94,35	4,30	15,66	20,80	51,35	2,21	4,94	42,94	0,31	2,49
ЕР 55025	X	<b>92,73</b>	<b>4,25</b>	<b>13,37</b>	<b>20,40</b>	<b>55,55</b>	<b>2,30</b>	<b>5,51</b>	<b>41,43</b>	<b>0,38</b>	<b>2,21</b>

## продовження Додатку Г.2

Подольанка, St	I	94,15	4,25	9,76	17,10	47,60	2,00	5,18	41,91	0,54	3,58
Подольанка, St	II	96,90	4,40	10,18	18,00	48,80	2,20	4,85	44,98	0,47	2,77
Подольанка, St	X	<b>95,53</b>	<b>4,33</b>	<b>9,97</b>	<b>17,55</b>	<b>48,20</b>	<b>2,10</b>	<b>5,01</b>	<b>43,45</b>	<b>0,51</b>	<b>3,18</b>
МПП Ювілейна	I	91,11	3,78	9,88	17,33	45,94	1,79	3,59	38,97	0,70	2,34
МПП Ювілейна	II	94,25	4,45	9,95	18,30	42,00	1,64	4,15	38,93	0,66	3,59
МПП Ювілейна	X	<b>92,68</b>	<b>4,11</b>	<b>9,91</b>	<b>17,82</b>	<b>43,97</b>	<b>1,71</b>	<b>3,87</b>	<b>38,95</b>	<b>0,68</b>	<b>2,97</b>
ЛЮТ 55198	I	93,00	4,05	10,91	17,00	54,35	2,48	5,70	45,54	0,85	2,00
ЛЮТ 55198	II	90,05	4,05	10,48	18,20	51,70	2,20	5,06	42,46	0,59	2,23
ЛЮТ 55198	X	<b>91,53</b>	<b>4,05</b>	<b>10,70</b>	<b>17,60</b>	<b>53,03</b>	<b>2,34</b>	<b>5,38</b>	<b>44,00</b>	<b>0,72</b>	<b>2,12</b>
Лютесенс 37519	I	81,00	4,10	11,18	20,40	56,45	2,30	4,50	40,74	0,55	0,75
Лютесенс 37519	II	73,95	4,45	11,57	20,90	55,70	2,32	4,71	41,56	0,48	1,37
Лютесенс 37519	X	<b>77,48</b>	<b>4,28</b>	<b>11,37</b>	<b>20,65</b>	<b>56,08</b>	<b>2,31</b>	<b>4,60</b>	<b>41,15</b>	<b>0,52</b>	<b>1,06</b>
ЛЮТ 60049	I	83,75	3,85	10,53	17,30	48,85	2,05	4,26	41,97	0,62	1,55
ЛЮТ 60049	II	75,20	4,30	11,01	18,20	48,75	1,76	3,76	36,10	0,54	1,20
ЛЮТ 60049	X	<b>79,48</b>	<b>4,08</b>	<b>10,77</b>	<b>17,75</b>	<b>48,80</b>	<b>1,91</b>	<b>4,01</b>	<b>39,03</b>	<b>0,58</b>	<b>1,38</b>
ЛЮТ 60107	I	96,40	4,40	9,62	17,20	48,60	2,10	5,19	43,21	0,47	2,52
ЛЮТ 60107	II	91,50	4,45	9,66	18,50	50,50	2,24	4,76	44,26	0,39	2,30
ЛЮТ 60107	X	<b>94,0</b>	<b>4,4</b>	<b>9,6</b>	<b>17,9</b>	<b>49,6</b>	<b>2,2</b>	<b>5,0</b>	<b>43,7</b>	<b>0,4</b>	<b>2,4</b>
<b>НІР05</b>		<b>3,05</b>	<b>0,45</b>	<b>2,80</b>	<b>0,86</b>	<b>4,26</b>	<b>0,24</b>	<b>0,81</b>	<b>2,53</b>		

X – середнє по строках, St – стандарт, EP – еритроспермум, ЛЮТ – лютесценс.

## Додаток Г.3

Морфо-біологічний і структурний аналіз колосу сортів та селекційних ліній 1го і 2го строку висіву у 2020/2021 вегетаційному році

Генотип	Строк	Довжина рослини, см	Кількість стебел, шт.	Аналіз головного колосу				Маса зерна з рослини, г	Маса 1000 зерен, г	NDVI index	Врожайність, т/га
				Довжина, см	Кількість колосків, шт.	Кількість зерен, шт.	Вага зерен, г				
МПП Ассоль	I	112,56	4,72	7,90	15,40	36,28	1,46	3,61	40,20	0,80	6,87
МПП Ассоль	II	109,72	5,44	8,02	15,64	33,52	1,25	3,38	37,39	0,73	6,82
МПП Ассоль	X	<b>111,14</b>	<b>5,08</b>	<b>7,96</b>	<b>15,52</b>	<b>34,90</b>	<b>1,36</b>	<b>3,49</b>	<b>38,80</b>	<b>0,77</b>	<b>6,85</b>
Балада МИР	I	117,56	2,60	7,88	15,48	31,00	1,28	1,36	41,72	0,79	6,32
Балада МИР	II	116,60	3,72	8,33	15,80	30,16	1,21	2,18	40,39	0,72	6,15
Балада МИР	X	<b>117,08</b>	<b>3,16</b>	<b>8,10</b>	<b>15,64</b>	<b>30,58</b>	<b>1,25</b>	<b>1,77</b>	<b>41,05</b>	<b>0,76</b>	<b>6,24</b>
МПП Дніпрянка	I	105,32	4,44	7,38	15,24	34,64	1,45	3,66	41,85	0,67	4,38
МПП Дніпрянка	II	103,64	3,80	7,68	15,32	32,52	1,36	2,51	41,42	0,71	6,91
МПП Дніпрянка	X	<b>104,48</b>	<b>4,12</b>	<b>7,53</b>	<b>15,28</b>	<b>33,58</b>	<b>1,40</b>	<b>3,08</b>	<b>41,64</b>	<b>0,69</b>	<b>5,65</b>
Грація МИР	I	95,84	3,48	7,91	15,08	30,12	1,42	2,22	47,09	0,79	6,25
Грація МИР	II	88,76	3,60	8,28	15,88	30,88	1,21	2,12	39,14	0,69	5,72
Грація МИР	X	<b>92,30</b>	<b>3,54</b>	<b>8,09</b>	<b>15,48</b>	<b>30,50</b>	<b>1,32</b>	<b>2,17</b>	<b>43,12</b>	<b>0,74</b>	<b>5,99</b>
МПП Лада	I	112,92	5,12	8,54	16,76	33,72	1,38	4,09	40,72	0,79	6,3
МПП Лада	II	105,20	3,64	8,56	16,28	31,32	1,18	2,12	37,25	0,72	5,87
МПП Лада	X	<b>109,06</b>	<b>4,38</b>	<b>8,55</b>	<b>16,52</b>	<b>32,52</b>	<b>1,28</b>	<b>3,11</b>	<b>38,98</b>	<b>0,76</b>	<b>6,09</b>
EP 55023	I	113,88	3,68	8,16	16,36	32,40	1,29	2,57	40,14	0,82	7,07
EP 55024	II	99,44	4,08	8,84	17,48	34,72	1,44	2,32	40,93	0,80	7,2
EP 55025	X	<b>106,66</b>	<b>3,88</b>	<b>8,50</b>	<b>16,92</b>	<b>33,56</b>	<b>1,37</b>	<b>2,45</b>	<b>40,54</b>	<b>0,81</b>	<b>7,14</b>

## продовження Додатку Г.3

Подольянка, St	I	113,24	4,76	7,94	17,00	34,28	1,08	2,41	31,77	0,80	6,51
Подольянка, St	II	105,44	4,04	7,91	15,96	30,36	1,26	2,61	41,47	0,74	6,24
Подольянка, St	X	<b>109,34</b>	<b>4,40</b>	<b>7,93</b>	<b>16,48</b>	<b>32,32</b>	<b>1,17</b>	<b>2,51</b>	<b>36,62</b>	<b>0,77</b>	<b>6,38</b>
МПІ Ювілейна	I	118,68	3,72	8,55	16,52	35,96	1,56	2,85	43,40	0,69	4,81
МПІ Ювілейна	II	115,32	3,76	8,92	16,36	34,96	1,47	2,71	42,34	0,72	6,73
МПІ Ювілейна	X	<b>117,00</b>	<b>3,74</b>	<b>8,74</b>	<b>16,44</b>	<b>35,46</b>	<b>1,52</b>	<b>2,78</b>	<b>42,87</b>	<b>0,71</b>	<b>5,77</b>
ЛЮТ 55198	I	121,40	3,44	8,87	15,80	34,40	1,59	2,85	47,14	0,85	7,14
ЛЮТ 55198	II	110,64	3,44	8,86	16,20	34,32	1,48	2,14	43,72	0,82	7,41
ЛЮТ 55198	X	<b>116,02</b>	<b>3,44</b>	<b>8,86</b>	<b>16,00</b>	<b>34,36</b>	<b>1,54</b>	<b>2,49</b>	<b>45,43</b>	<b>0,84</b>	<b>7,28</b>
Лютесенс 37519	I	105,12	4,00	6,90	15,00	28,08	1,02	2,37	36,60	0,80	6,75
Лютесенс 37519	II	92,80	3,68	9,33	18,52	33,28	1,07	1,77	31,84	0,70	5,68
Лютесенс 37519	X	<b>98,96</b>	<b>3,84</b>	<b>8,11</b>	<b>16,76</b>	<b>30,68</b>	<b>1,04</b>	<b>2,07</b>	<b>34,22</b>	<b>0,75</b>	<b>6,22</b>
ЛЮТ 60049	I	110,36	3,28	7,98	15,88	31,00	1,29	1,49	41,69	0,82	7,13
ЛЮТ 60049	II	102,36	3,84	8,81	16,52	35,48	1,52	3,15	42,65	0,75	7,09
ЛЮТ 60049	X	<b>106,36</b>	<b>3,56</b>	<b>8,40</b>	<b>16,20</b>	<b>33,24</b>	<b>1,41</b>	<b>2,32</b>	<b>42,17</b>	<b>0,79</b>	<b>7,11</b>
ЛЮТ 60107	I	110,60	3,52	6,95	13,88	31,76	1,33	2,16	41,90	0,81	7,07
ЛЮТ 60107	II	99,80	3,40	8,20	16,60	36,96	1,57	2,21	42,32	0,78	6,5
ЛЮТ 60107	X	<b>105,20</b>	<b>3,46</b>	<b>7,57</b>	<b>15,24</b>	<b>34,36</b>	<b>1,45</b>	<b>2,19</b>	<b>42,11</b>	<b>0,80</b>	<b>6,79</b>
<b>НІР05</b>		<b>2,23</b>	<b>0,59</b>	<b>0,29</b>	<b>0,77</b>	<b>2,33</b>	<b>0,12</b>	<b>0,49</b>	<b>2,39</b>		

X – середнє по строках, St – стандарт, EP – еритроспермум, ЛЮТ – лютесценс

## Додаток Д.1

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

## Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Спектральна оцінка сортів та селекційних ліній пшениці озимої в осінній період. *Plant and soil science*. Вип. 12, № 2. 2021. С. 29–36. <https://doi.org/10.31548/agr2021.02.029> (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
2. Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Спектральна оцінка сортів та селекційних ліній пшениці озимої у період відновлення весняної вегетації. *Plant and soil science*. Вип. 12, № 4. 2021. С. 68–79. <https://doi.org/10.31548/agr2021.04.068> (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
3. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Дистанційний спектральний аналіз сортів та ліній пшениці озимої в період цвітіння. *Plant Varieties Studying and Protection*. Вип. 18, № 2. 2022. С. 148–157. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.2.2022.265183> (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
4. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої миронівської селекції за показниками якості зерна. *Plant Varieties Studying and Protection*. Вип. 18, № 3. 2022. С. 193–200. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.3.2022.269000> (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).
5. Топко Р. І., Волощук С. І., Ковалишина Г. М. Оцінка генотипів пшениці м'якої озимої за даними дистанційного зондування та агрономічними ознаками, пов'язаними з урожайністю. *Наукові доповіді НУБіП України*. № 5/105. 2023. [http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.012](http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.012) (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання статті).

### Методичні рекомендації:

6. Демидов О. А., Топко Р. І., Вологдіна Г. Б., Гуменюк О. В., Ковалишина Г. М. Метод польового фенотипування селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої з використанням NDVI індексу в умовах Лісостепу України. *Методичні рекомендації*. Київ: Компринт, 2023. 44 с. (50 % авторства: обробка і аналіз даних, написання методичних рекомендацій).

### Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Вологдіна Г. Б. Оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої з використанням вегетаційного індексу NDVI. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур*: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 19 квітня 2019 р.). Вінниця: ТОВ «Твори». 2019. С. 109. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

8. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Вологдіна Г. Б. Використання вегетаційного індексу NDVI в селекції пшениці озимої. *Наукові читання до 100-річчя від дня народження професора Івана Вікторовича Яшовського*: матеріали Міжнародної наукової конференції (м. Київ, 14–15 серпня 2019 р.). Київ, 2019. С. 46–47. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

9. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Рисін А. Л., Вологдіна Г. Б. Біометричні показники рослин пшениці озимої та спектральна оцінка перед перезимівлею в умовах лісостепу України. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур*: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 23 квітня 2021 р. Електронний ресурс: <http://confer.uisr.sops.gov.ua>. 2021. С. 106–107. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

10. Топко Р. І., Ковалишина Г. М., Вологдіна Г. Б. Оцінка сортів та перспективних ліній пшениці озимої з використанням вегетаційного індексу

NDVI під час цвітіння. *Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів* (с. Центральне, 29 квітня 2022 р.). Електронний ресурс: <http://confer.uisr.sops.gov.ua>. 2022. С. 107. (60 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

11. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Адаптивність сортів та перспективних ліній пшениці озимої Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла до змін клімату. *Селекція – надбання, сучасність і майбутнє (освіта, наука, виробництво): V Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 110-річ. з дня народження видатного вченого, селекціонера, Заслуженого працівника вищої школи, доктора сільськогосподарських наук, професора Зеленського Михайла Олексійовича* (м. Київ, 24–25 травня 2022 р.). Київ, 2022. С. 71. (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).

12. Топко Р. І., Ковалишина Г. М. Спектральна оцінка сортів пшениці озимої з використанням NDVI індексу. *Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 125-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України. Секція 2. Післявоєнне відновлення рослинних ресурсів та екологічна безпека країни* (м. Київ, 25 травня 2023 р.). Київ, 2023 С. 341. (70 % авторства: обробка і аналіз даних, написання тез).