

УДК 633.11: 581.19

О.Ю. Леонов, З.В. Усова\*, К.Ю. Суворова, М.І. Байбак, О.М. Росанкевич,  
Н.О. Усова

## **Особливості формування показників якості зерна селекційними лініями пшениці м'якої озимої**

*Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, Україна*

*\*E-mail: [ppiww2017@gmail.com](mailto:ppiww2017@gmail.com)*

UDC 633.11: 581.19

O.Yu. Leonov, Z.V. Usova\*, K.Yu. Suvorova, M.I. Baibak, O.M. Rosankevych,  
N.O. Usova

## **Grain Quality Indicators in Winter Bread Wheat Breeding Lines**

*Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

*\*E-mail: [ppiww2017@gmail.com](mailto:ppiww2017@gmail.com)*

**Реферат:** Якість зерна – це складна характеристика, яка залежить від низки ознак, а індивідуальний внесок кожної ознаки змінюється залежно від конкретної реакції на умови навколишнього середовища. Оцінювали вплив генотипу та середовища на якісні характеристики 1200 генотипів пшениці, а також аналізували взаємозв'язки між якісними ознаками. У результаті узагальнення багаторічних даних з використанням стандартизованих в межах окремих років значень виділені джерела високої натури зерна, високої та низької склоподібності зерна для селекції твердозерних та м'якозерних сортів, високого вмісту білка і клейковини та її якості, високих реологічних властивостей і хлібопекарських якостей. Серед сортів високими пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста відрізнялися Харус, Астет, Васирина, Фермерка, Патріотка, Мальованка, а низькими – Малуша та м'якозерний сорт кондитерського напрямку використання Мазурок, який крім того відрізнявся низькою склоподібністю зерна. Високою натурою зерна відзначались сорти Приваблива, Привітна, Принада, Гайок, Проня. Високим вмістом білка в зерні та клейковини в борошні характеризувалися Приваблива, Привітна, Гармоніка, Мазурок, при максимальних значеннях у сорту Принада. Об'єм хліба і загальна хлібопекарська оцінка вищими були у сортів Харус, Астет, Васирина, Статна, Фермерка, Диво, Гармоніка, Принада, Мавка ІР. Встановлені зв'язки між ознаками якості зерна, показано, що загальна хлібопекарська оцінка була тісно пов'язана з індексом деформації клейковини, пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста. Кластерний та факторний аналізи, проведені для узагальнення отриманих результатів, розподілили досліджувані ознаки на чотири кластери з масштабом евклідових відстаней менше 40% та чотири фактори, які пояснюють понад 70% від загальної мінливості, один з яких пов'язаний з хлібопекарськими якостями, інший – з реологічними властивостями, ще два з вмістом білка і клейковини та натурою і склоподібністю зерна. Визначені лінії з поєднанням високих значень різних факторів для різних напрямів використання. Результати дослідження можуть бути використані як критерії відбору для підвищення якості зерна м'якої пшениці в регіоні.

**Ключові слова:** пшениця м'яка озима, селекція, якість зерна, кластерний та факторний аналізи

**Abstract:** Grain quality is a complex characteristic that depends on several traits, and the individual contribution of each trait varies depending on the specific response to environmental conditions. The effects of genotype and environment on quality characteristics of 1,200 wheat genotypes were assessed; the relationships between quality traits were also analyzed. Having summarized long-term data using year-standardized values, we identified sources of high test weight, high and low kernel vitreousness for the breeding of hard and soft cultivars; sources of high protein and gluten contents and high gluten quality,

high rheological properties and baking scores. Among the cultivars, cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Fermerka', 'Patriotka', and 'Maliovanka' were distinguished by high dough resilience, flour strength and dough elasticity index, while cvs. 'Malusha' and a soft confectionery cultivar, 'Mazurok', were distinguished by low values of these characteristics; the latter was also characterized by low kernel vitreousness. Cultivars 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Prynada', 'Haiok', and 'Pronia' were distinguished by high test weight. High grain protein content and flour gluten content were intrinsic to cvs. 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Harmonika', and 'Mazurok', with the maximum values in cv. 'Prynada'. High loaf volume and overall baking score were recorded for cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Statna', 'Fermerka', 'Dyvo', 'Harmonika', 'Prynada', and 'Mavka IR'. Relationships between grain quality traits were evaluated; it was shown that overall baking score was closely correlated with gluten deformation index, dough resilience, flour strength and dough elasticity index. Cluster and principal component analyses, which were conducted to summarize the data, divided the studied traits into four clusters with a Euclidean distance of < 40% and four principal components that accounted for > 70% of the total variability; one of them is associated with baking qualities, another – with rheological properties, and two more – with protein and gluten contents, test weight and kernel vitreousness. Lines combining high values of different characteristics for different areas of use were selected. The results of this study can be used as breeding criteria to improve the quality of bread wheat grain in the region.

**Key words:** winter bread wheat, breeding, grain quality, cluster and principal component analyses.

## Вступ

Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі, і, як злак з широким діапазоном адаптивності, вона вирощується в різних кліматичних зонах, а якість її зерна суттєво впливає на ринкову вартість, харчову цінність та уподобання споживачів [1].

Пшениця, завдяки своєму цінному хімічному складу зерна та винятковим технологічним властивостям, є базовим зерном для харчової промисловості, її у багатьох країнах називають хлібним зерном [2, 3]. Зерно пшениці є джерелом вуглеводів, білка, харчових волокон та жирів, а також мінералів (включаючи P, K, Ca та Mg), вітамінів групи B та інших біологічно активних речовин [4].

Зміни клімату та природні варіювання погодних умов окремих років спричиняють недобір урожаю та зниження його якості, тому пріоритетним завданням у вирощуванні пшениці є забезпечення стабільного урожаю зерна з високою якістю [5]. Біотичні та абіотичні стресори є відомими факторами, що призводять до погіршення якості зерна пшениці та зниження врожайності [6].

Продуктивність і якість пшениці значно відрізняються внаслідок генотипу, середовища та їх взаємодії [7]. У той час як виробники пшениці вважають головною метою врожайність, в хлібопекарській промисловості важливою вимогою є стабільність характеристик якості зерна.

Якість зерна пшениці визначається на основі численних властивостей, які

## Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important agricultural crops in the world; being a cereal with a wide range of adaptability, it is grown in different climatic zones and wheat grain quality significantly affects the market and nutritional values as well as consumers' preferences [1].

Wheat, due to valuable chemical composition of its grain and exceptional technological properties, is a basic grain for the food industry; it is called bread grain in many countries [2, 3]. Wheat grain is a source of carbohydrates, protein, dietary fiber, fats, and minerals (including P, K, Ca, and Mg), B vitamins and other biologically active substances [4].

Climate change and year-to-year natural variations in weather conditions cause crop failure and reduced quality, so the priority in wheat cultivation is to ensure a stable yield of high-quality grain [5]. Biotic and abiotic stressors are known factors that lead to deterioration of wheat grain quality and reduced yield [6].

Wheat performance and quality vary significantly between different genotypes and environments and also because of genotype-environment interactions [7]. While wheat producers consider yield as the main goal, in the baking industry, stability of grain quality indicators is an important requirement.

Wheat grain quality is based on numerous properties that are in complex relationships and are determined by protein complex, milling

перебувають між собою в складних взаємозв'язках і зумовлені білковим комплексом, властивостями помелу, фізичними, хімічними, реологічними характеристиками тіста та якістю випічки. Оскільки більшість ознак якості пшениці демонструють складні закономірності успадкування, селекція на якість, і особливо хлібопекарську, є одним із найскладніших завдань у селекції пшениці [8].

Хлібопекарська якість пшениці озимої здебільшого визначається вмістом та якістю білка. Основний білок ендосперму, глютен, відповідає за якість хліба. Генетично визначений склад глютену є основним фактором генотипових відмінностей у хлібопекарській якості [9]. Seling S. зазначає, що якість білка є генотипово-специфічною, але на неї можуть впливати деякі негенетичні фактори, наприклад, надзвичайна нестача сірки [10]. Tannhaeuser S.M. et al. роблять висновок, що всі компоненти пшеничного борошна, а не лише білки, впливають на хлібопекарську якість [11]. Водночас дуже важливий внесок у хлібопекарську якість має глютен.

На жаль, добре відомий сильний негативний зв'язок між врожайністю зерна та вмістом білка. Багато досліджень зосереджувалися на цьому негативному зв'язку та досліджували його генетичну основу [12–17]. Цей зв'язок є важливим для селекційного прогресу в підвищенні врожайності зерна, з одного боку, та хлібопекарської якості, з іншого.

Наведені в літературі результати, загалом свідчать про значне збільшення врожайності зерна, але сталять під сумнів питання, чи було досягнуто значного прогресу в якості хлібопекарських виробів протягом останніх трьох-чотирьох десятиліть [18, 19].

Врожайність зерна та якість пшениці залежать від складної взаємодії між генотипом та багатьма факторами навколишнього середовища. Зміна навколишнього середовища часто розглядається як основний чинник, що впливає на якість кінцевого використання зерна. Температура вегетаційного періоду, вологість і температура під час наливу зерна, тривалість наливу зерна, розподіл опадів і внесення азотних і сірчаних добрив мають значний вплив на якість хлібобулочних виробів. Результати численних досліджень впливу генотипу та навколишнього середовища на хлібопекарські якості пшениці озимої широко опубліковані в літературі [20–24]. Williams R.M. et al. провели огляд 100 публікацій щодо впливу генотипу та середовища на якість пшениці. Показано, що

characteristics, physical, chemical and rheological properties of dough, and baking quality. Since most of the wheat quality traits demonstrate complex inheritance patterns, breeding for quality, especially baking quality, is one of the most difficult tasks in wheat breeding [8].

Baking quality of winter wheat is largely determined by protein content and quality. The main endosperm protein complex, gluten, is responsible for bread quality. Genetically determined composition of gluten is the main factor for genotypic differences in baking quality [9]. Seling S. noted that protein quality was genotype-specific, but it could be influenced by some non-genetic factors, for example, an extreme deficiency of sulfur [10]. Tannhaeuser S.M. et al. concluded that all components of wheat flour, not just proteins, affected baking quality [11]. At the same time, gluten makes a very important contribution to baking quality.

Unfortunately, it is well-known that grain yield is strongly and negatively correlated with protein content. Many studies have focused on this negative relationship and investigated its genetic basis [12–17]. This relationship is important for breeding progress in increasing grain yield, on the one hand, and baking quality, on the other.

Published results, in general, indicate a significant increase in grain yield, but they question whether significant progress has been achieved in the quality of bakery products over the past three to four decades [18, 19].

Wheat grain yield and quality depend on complex interactions between genotype and many environmental factors. Environmental changes are often considered as the major factor affecting the end-use quality of grain. Temperature during the growing period, humidity and temperature during grain filling, duration of grain filling, rainfall distribution and application of nitrogen and sulfur fertilizers significantly affect the quality of bakery products. Results of numerous studies of effects of genotype and environment on baking qualities of winter wheat are widely published [20–24]. Williams R.M. et al. reviewed 100 publications on the influence of genotype and environment on wheat quality. It was shown that variations in the relative contributions of genotype, environment and genotype-environment interaction to a large extent depended on genotypes and environments from

варіація відносного внеску генотипу, середовища та взаємодії генотипу з середовищем сильно залежить від генотипів та середовищ, з яких проводилася вибірка [25]. У дослідженнях Mikulíková було виявлено, що генотип має істотний вплив лише на твердість зерна; для вмісту білка, клейковини та числа седиментації Зелені переважав вплив генотипу, а для вмісту крохмалю, параметрів альвеографа та натури зерна обидва джерела варіації мали однакове значення [26]. Розуміння внеску генотипу, середовища та взаємодії генотипу з середовищем на якість зерна пшениці полегшує відбір за якістю в селекційних програмах.

У багатьох дослідженнях встановлено зв'язок між різними параметрами якості зерна [27–30]. Mladenov et al. виявили високі позитивні кореляції між вмістом білка і вмістом клейковини з одного боку та об'ємом хліба і його характеристиками з іншого. Випробовуючи велику групу генотипів пшениці в різних умовах посухи [29], Mohammadi et al. дійшли висновку, що, крім сорту та середовища, метод скринінгу також сприяє надійності та обґрунтованості висновків щодо зв'язків ознак [30].

Метою даної роботи стало визначення внеску генотипу, навколишнього середовища у варіації хлібопекарських ознак 1200 генотипів пшениці, досліджених протягом 16 років; також для виявлення кращих генотипів пшениці проаналізовано взаємозв'язки між різними ознаками хлібопекарської якості.

## Методика

Полеві дослідження проведені у 2008–2024 рр. на дослідних полях селекційної сівозміни Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (ІР НААН), розташованій за 18 км на схід від м. Харкова. Технологія вирощування загальноприйнята для зони Лісостепу. Площа ділянки 10 м<sup>2</sup>, повторність чотириразова. За роки досліджень вивчено понад 1200 сортів та селекційних ліній пшениці м'якої озимої селекції ІР НААН.

Оцінка показників якості зерна та борошна досліджуваних зразків виконувалась в лабораторії якості зерна ІР НААН згідно з методикою УІЕСР та методичними рекомендаціями, розробленими в Інституті [31, 32]. Вивчали показники якості: фізичні – натура (TW) і склоподібність (KV) зерна; біохімічні – вміст білка в зерні (GPC); технологічні: вміст клейковини в борошні (FGC) та індекс

which the sample was taken [25]. Mikulíková found that genotype had a significant effect only on kernel hardness, while the effect of growing year was dominant for protein and gluten contents and Zeleny sedimentation index, and all sources of variations (genotype, year's conditions, country of origin) had the same significance for starch content, alveograph parameters and test weight [26]. Understanding contributions of genotype, environment, and genotype-environment interactions to wheat grain quality facilitates selection for quality in breeding programs.

Many studies have demonstrated relationship between different grain quality parameters [27–30]. Mladenov et al. found strong positive correlations between protein and gluten content on the one hand and between loaf volume and loaf characteristics on the other. Testing a large group of wheat genotypes under various drought conditions [29], Mohammadi et al. concluded that, in addition to cultivar and environment, the screening method also contributed to the reliability and validity of conclusions about relationship between traits [30].

The purpose of this study was to determine the contributions of genotype and environment to the variations of baking traits of 1,200 wheat genotypes studied over 16 years; to identify the best wheat genotypes, and to analyze the relationships between different baking quality traits.

## Methods

The field studies were conducted in the experimental fields of the breeding crop rotation of the Yuryev Plant Production Institute of NAAS (YPPI NAAS), which are located 18 km east of Kharkiv, in 2008–2024. The cultivation technology is traditional for the forest-steppe. The plot area was 10 m<sup>2</sup>; the experiments were carried out in four replications. In the study years, over 1,200 winter bread wheat cultivars and breeding lines, which had been bred by the YPPI NAAS, were investigated.

The grain and flour quality indicators of the studied accessions was determined in the Grain Quality Laboratory of the YPPI NAAS in accordance with the guidelines developed by the Ukrainian Institute of Plant Variety Examination (UIPVE) and YPPI NAAS [31, 32]. The following quality indicators were evaluated: physical – test weight (TW) and kernel

деформації клейковини (GDI), пружність (P), розтяжність (L), збалансованість (P/L) тіста, сила борошна (W), індекс еластичності тіста (IE), об'єм седиментації SDS (SDS-SI). Також проводили хлібопекарську оцінку (об'єм хлібини (LV), оцінку поверхні хлібини (LUS), форми хлібини (LS), зовнішнього вигляду хлібини (LAS), кольору скоринки хлібини (LCC), пористості м'якуша хлібини (CP), еластичності м'якуша хлібини (CE) та кольору м'якуша хлібини (CC). У підсумку здійснювали загальну хлібопекарську оцінку (OBS).

Статистичну обробку експериментальних даних виконували, як описано в [33] з використанням пакета програм STATISTICA 6.1, SN BXXR502C631824NET3. Враховуючи досить значні варіювання показників якості зерна за роками та різний ступінь варіювання досліджуваних ознак, а також той факт, що селекційні лінії конкурсного випробування вивчалися у різні періоди, для узагальнення отриманих багаторічних даних використовували стандартизовані в межах окремих років значення (різниця між значенням конкретного показника конкретної лінії та середнім значенням відповідного показника у відповідний рік поділена на стандартне відхилення відповідного показника у відповідний рік). Для редукції даних та узагальнення отриманих результатів було проведено кластерний та факторний аналізи.

Погодні умови в роки досліджень зразків конкурсного сортовипробування склалися по різному, як сприятливо для розвитку рослин у різні фази вегетації, так і вкрай негативно. Найбільш сприятливими погодні умови для формування урожайності зерна пшениці м'якої озимої були у 2008, 2015, 2017 та 2022 рр. Посушливі умови перед та після сівби озимих культур у 2009, 2015, 2020 рр. спричиняли зниження польової схожості, запізні та нерівномірні сходи та зниження продуктивного стеблостою і урожайності у наступних 2010, 2016, 2021 рр. Зменшення урожайності 2023 року пов'язане з пізніми строками сівби у 2022 році через несвоєчасну підготовку ґрунту, зумовлену бойовими діями та тривалими роботами з обстеження полів на наявність вибухонебезпечних предметів. Зниження урожайності у 2024 році викликане відсутністю продуктивних опадів з березня до кінця червня, через що не відбулося весняного кущення, зменшились озерненість колоса та маса тисячі зерен.

vitreousness (KV); biochemical – grain protein content (GPC); technological – flour gluten content (FGC) and gluten deformation index (GDI), dough resilience (P), extensibility (L), and balance (P/L), flour strength (W), dough elasticity index (IE), and SDS-sedimentation index (SDS-SI). The baking quality was also assessed: loaf volume (LV), loaf surface score (LSS), loaf shape (LS), loaf appearance score (LAS), loaf crust color (LCC), crumb porosity (CP), crumb elasticity (CE), and crumb color (CC). From these parameters, the overall general baking score (OBS) was calculated.

Experimental data were statistically processed in STATISTICA 6.1 and SN BXXR502C631824NET3, as described in [33]. Taking into account considerable year-to-year variations in grain quality indicators and various degrees of variations in the studied traits, as well as the fact that the breeding lines were tested in competitive trials in different periods, year-standardized values (the difference between the value of a specific indicator of a specific line and the mean value of the corresponding indicator in the corresponding year divided by the standard deviation of the corresponding indicator in the corresponding year) were used to summarize the multi-year data. Cluster analysis and principal component analysis (PCA) were conducted to reduce and summarize data.

The weather in the years of testing of the accessions in competitive trials varied from favorable for the development of plants in different phases of vegetation and to extremely harsh. 2008, 2015, 2017, and 2022 had the most favorable weather for the formation of winter bread wheat grain yield. In 2009, 2015, and 2020, droughts before and after winter crop sowing decreased the field germination; so in the following 2010, 2016, and 2021, sprouts were late and uneven, the productive plant stand was poorer, and the yields were lower. Decreased yields in 2023 were attributed to untimely soil preparation and, consequently, late sowing in 2022 because of hostilities and extended surveys of the fields for explosives. Decreased yields in 2024 were associated with the lack of productive precipitation from March to the end of June, which resulted in no spring tillering; hence, there were fewer kernels per spike and the thousand kernel weight was reduced.

## Результати та обговорення

Одними з найдавніших показників якості зерна, які досі використовуються для визначення класності партій зерна, є натура та склоподібність. Середня за дослідженими сортами та лініями натура зерна перевищувала 800 г/л у 2012, 2013, 2014 та 2017 рр., тоді як у несприятливих для наливу зерна умовах 2010, 2018, 2023, 2024 рр. даний показник не перевищував 770 г/л. Серед вивчених ознак цей показник виявився найбільш стабільним, коефіцієнт варіації за лініями складав від 0,9 до 3,6% у межах окремих років, а за роками – 2,6 %. Серед інших показників якості натура зерна у більшості років була слабо пов'язана зі склоподібністю зерна (коефіцієнт кореляції складав 0,2-0,5, а у 2015 році досяг рівня 0,75, винятком став надзвичайно посушливий 2024 рік, коли зв'язок став негативним з  $r=-0,26$ ). У п'яти з років вивчення відзначена слабка позитивна кореляція з пружністю тіста ( $r$  від 0,2 до 0,5), а у 2010 році кореляція була негативною ( $r=-0,5$ ). У 2016 та 2018 рр. спостерігалася суттєва позитивна кореляція з числом падання. З рештою показників якості зв'язок натури зерна був незначним та нестабільним за роками.

На склоподібність зерна значною мірою впливають погодні умови року в період дозрівання. У наших дослідженнях склоподібність зерна виявилася однією з найбільш варіабельних ознак як за роками, де коефіцієнт варіації склав 25,9%, так і за лініями в межах окремих років (від 11,7 до 43,9%). Середня за зразками склоподібність 67% і більше виявлялася у 2012, 2019 та 2021 рр., меншою ніж 40% була у 2010, 2015, 2018 та 2020 рр. Склоподібність зерна не була суттєво пов'язана з іншими показниками якості, коефіцієнт кореляції не перевищував значення 0,37. У більшості років спостерігалася слабка кореляція показника з вмістом білка та клейковини, з іншими ознаками якості зерна зв'язок відзначався лише у окремі роки і був слабким.

У роки з середньою урожайністю ліній конкурсного сортовипробування понад 8 т/га (2008, 2015, 2017 та 2022) спостерігалось зменшення вмісту білка в зерні до 11,0–11,5% (табл. 1).

## Results and Discussion

Test weight and kernel vitreousness are among the oldest indicators of grain quality, but they are still used to determine the grain class. The mean test weight in the studied cultivars and lines exceeded 800 g/L in 2012, 2013, 2014, and 2017, while under unfavorable conditions for grain filling in 2010, 2018, 2023, and 2024, this indicator did not exceed 770 g/L. Of the studied parameters, this indicator turned out to be the most stable: the coefficient of inter-line variation was 0.9 - 3.6% in individual years, with the annual mean of 2.6%. In most of the years, test weight was weakly correlated with kernel vitreousness (the correlation coefficient was 0.2-0.5; 0.75 in 2015); the exception was 2024, an extremely dry year, when the correlation became negative ( $r=-0.26$ ). In five of the study years, there was a weak positive correlation between test weight and dough resilience ( $r = 0.2-0.5$ ); in 2010, this correlation was negative ( $r=-0.5$ ). In 2016 and 2018, there was a significant positive correlation between test weight and falling number. As to the other quality indicators, their correlations with test weight were insignificant and unstable across the years.

Kernel vitreousness is significantly influenced by weather factors during the ripening period. In our studies, kernel vitreousness turned out to be one of the most variable traits both by year, where the coefficient of variation was 25.9%, and by lines in individual years (from 11.7 to 43.9%). The mean vitreousness of 67% or higher in 2012, 2019 and 2021 and lower than 40% in 2010, 2015, 2018, and 2020. Kernel vitreousness was not significantly correlated with the other quality indicators: the correlation coefficients did not exceed 0.37. In most years, there was a weak correlation between this parameter and protein and gluten contents; the correlations with the other grain quality traits were weak and noted only in some years.

In 2008, 2015, 2017, and 2022, the lines yielded on average over 8 t/ha in the competitive trials and a decrease in grain protein content to 11.0–11.5% was observed in these years (Table 1).

**Таблиця 1.** Показники якості зерна зразків пшениці м'якої озимої у розсадниках конкурсного сортовипробування (середнє за роками вивчення), 2008–2024 рр.  
**Table 1.** Grain quality indicators of the winter bread wheat accessions grown in competitive trial nurseries (annual mean values), 2008–2024.

| Рік / Year                    | Урожайність,<br>т/га / Yield, t/ha | Нагура зерна,<br>г/л / Test weight,<br>g/L | Склоподібність<br>зерна, % / Kernel<br>vitreousness, % | Вміст білка в<br>зерні, % / Grain<br>protein<br>content, % | Вміст<br>клейковини в<br>борошні, % /<br>Flour gluten<br>content, % | Деформація<br>клейковини /<br>Gluten<br>deformation | Пружність тіста,<br>мм / Dough<br>resilience, mm | Розтяжність<br>тіста, мм /<br>Dough<br>extensibility, mm | Збалансованість<br>тіста / Dough<br>balance | Сила борошна,<br>о. а. / Flour<br>strength | Індекс<br>еластичності<br>тіста / Dough<br>elasticity index | Об'єм хліба зі<br>100 г борошна,<br>мл / Volume of<br>loaf from 100 g<br>of flour, cm <sup>3</sup> | Загальна<br>хлібопекарська<br>оцінка, бал /<br>Overall baking<br>score, points |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 2008                          | 8,93                               | 795                                        | 45,0                                                   | 10,99                                                      | 23,5                                                                | 75,3                                                | 63,1                                             | 93,3                                                     | 0,73                                        | 185                                        | -                                                           | 484                                                                                                | 5,21                                                                           |
| 2009                          | 6,49                               | 785                                        | 51,4                                                   | 13,77                                                      | 30,9                                                                | 87,2                                                | 68,0                                             | 115,3                                                    | 0,63                                        | 259                                        | -                                                           | 554                                                                                                | 6,60                                                                           |
| 2010                          | 4,65                               | 764                                        | 37,6                                                   | 14,89                                                      | 28,8                                                                | 40,5                                                | 73,6                                             | 121,5                                                    | 0,66                                        | 329                                        | 76,8                                                        | 743                                                                                                | 8,91                                                                           |
| 2011                          | 7,04                               | 781                                        | 46,7                                                   | 12,78                                                      | 23,2                                                                | 39,8                                                | 84,5                                             | 83,6                                                     | 1,10                                        | 286                                        | 66,3                                                        | 704                                                                                                | 8,69                                                                           |
| 2012                          | 5,88                               | 820                                        | 67,5                                                   | 13,38                                                      | 26,7                                                                | 51,5                                                | 92,0                                             | 86,7                                                     | 1,12                                        | 322                                        | 66,5                                                        | 751                                                                                                | 8,87                                                                           |
| 2013                          | 7,46                               | 810                                        | 51,5                                                   | 12,68                                                      | 23,2                                                                | 45,0                                                | 99,0                                             | 68,8                                                     | 1,56                                        | 280                                        | 59,7                                                        | 687                                                                                                | 8,64                                                                           |
| 2014                          | 6,48                               | 802                                        | 40,8                                                   | 12,54                                                      | 23,9                                                                | 43,6                                                | 90,5                                             | 101,3                                                    | 0,95                                        | 317                                        | 57,3                                                        | 684                                                                                                | 8,46                                                                           |
| 2015                          | 8,04                               | 775                                        | 33,8                                                   | 11,25                                                      | 21,9                                                                | 46,9                                                | 89,0                                             | 67,6                                                     | 1,52                                        | 243                                        | 60,0                                                        | 740                                                                                                | 8,74                                                                           |
| 2016                          | 5,76                               | 775                                        | 46,7                                                   | 12,95                                                      | 27,0                                                                | 88,4                                                | 66,9                                             | 69,1                                                     | 1,04                                        | 174                                        | 47,3                                                        | 597                                                                                                | 6,91                                                                           |
| 2017                          | 8,29                               | 838                                        | 58,6                                                   | 11,49                                                      | 21,7                                                                | 47,8                                                | 106,6                                            | 50,2                                                     | 2,22                                        | 241                                        | 56,2                                                        | 694                                                                                                | 8,75                                                                           |
| 2018                          | 6,88                               | 770                                        | 33,1                                                   | 13,05                                                      | 23,5                                                                | 39,9                                                | 77,1                                             | 79,6                                                     | 1,09                                        | 249                                        | 64,8                                                        | 785                                                                                                | 8,89                                                                           |
| 2019                          | 7,63                               | 792                                        | 67,0                                                   | 13,27                                                      | 25,3                                                                | 46,4                                                | 85,7                                             | 76,9                                                     | 1,27                                        | 279                                        | 69,7                                                        | 733                                                                                                | 8,87                                                                           |
| 2020                          | 7,20                               | 795                                        | 38,4                                                   | 13,84                                                      | 27,2                                                                | 80,1                                                | 80,2                                             | 83,1                                                     | 1,05                                        | 267                                        | 62,6                                                        | 713                                                                                                | 8,73                                                                           |
| 2021                          | 3,08                               | 790                                        | 78,6                                                   | 14,09                                                      | 33,1                                                                | 93,8                                                | 50,2                                             | 93,9                                                     | 0,60                                        | 158                                        | 47,4                                                        | 562                                                                                                | 6,87                                                                           |
| 2022                          | 8,29                               | 771                                        | 40,3                                                   | 11,33                                                      | 20,4                                                                | 32,3                                                | 87,6                                             | 66,6                                                     | 1,44                                        | 253                                        | 64,2                                                        | 587                                                                                                | 7,33                                                                           |
| 2023                          | 4,55                               | 765                                        | 59,2                                                   | 12,00                                                      | 22,5                                                                | 35,0                                                | 65,3                                             | 80,9                                                     | 0,87                                        | 232                                        | 77,4                                                        | 747                                                                                                | 8,48                                                                           |
| 2024                          | 1,98                               | 770                                        | 59,6                                                   | 12,27                                                      | 22,7                                                                | 57,6                                                | 61,1                                             | 65,1                                                     | 0,98                                        | 166                                        | 50,8                                                        | 602                                                                                                | 7,34                                                                           |
| Середнє /<br>General<br>mean  |                                    | 790                                        | 48,7                                                   | 12,64                                                      | 24,8                                                                | 56,8                                                | 80,4                                             | 81,1                                                     | 1,15                                        | 247                                        | 60,4                                                        | 661                                                                                                | 7,92                                                                           |
| за роками /<br>Annual<br>mean | 6,39                               | 788                                        | 50,3                                                   | 12,74                                                      | 25,0                                                                | 55,9                                                | 78,9                                             | 82,6                                                     | 1,11                                        | 249                                        | 61,8                                                        | 669                                                                                                | 8,02                                                                           |
| CV                            | 29,77                              | 2,60                                       | 25,92                                                  | 8,60                                                       | 13,83                                                               | 36,61                                               | 19,02                                            | 22,35                                                    | 37,06                                       | 21,35                                      | 14,89                                                       | 12,97                                                                                              | 13,66                                                                          |

У 2010 та 2021 рр., при суттєвому зменшенні густоти продуктивного стеблостою, але сприятливих умовах для формування та наливу зернівки, середній вміст білка в зерні перевищував 14%, у 2009 та 2020 роках цей показник також був доволі високим і склав 13,8%, вміст клейковини у борошні у вказані роки перевищував 27%. Якщо розглядати середні значення вмісту білка та клейковини за роками, то спостерігалась зворотна кореляція цих показників з урожайністю ( $r=-0,46$  та  $-0,44$ , відповідно). У більшості років вивчення спостерігалась висока кореляція між вмістом білка в зерні та клейковини в борошні ( $r$  від 0,6 до 0,8), обидва показники позитивно корелювали у більшості випадків з індексом деформації клейковини та розтяжністю тіста ( $r$  від 0,2 до 0,7), в окремі роки спостерігався зворотний зв'язок з пружністю та збалансованістю тіста.

Одним з найважливіших факторів, що впливають на реологію тіста, є вміст клейковини та її якість. Показник індексу деформації клейковини варіював значно більшою мірою порівняно з вмістом білка та клейковини як за сортами та лініями в межах окремих років ( $C_v$  від 20,6 до 44,6%), так і за роками ( $C_v=36,6\%$ ). У більшості років середнє значення відповідало вимогам до першої групи якості клейковини, але у 2011, 2018, 2022 та 2023 рр. клейковина була надто міцною ( $IDK<40$ ), а у 2009, 2016, 2020 та 2021 – надмірно розтяжною ( $IDK>80$ ). У більшості років спостерігалась суттєва зворотна кореляція між значеннями показника ІДК та пружності тіста ( $r$  від  $-0,3$  до  $-0,7$ ), сили борошна ( $r$  від  $-0,3$  до  $-0,8$ ), індексу еластичності тіста ( $r$  від  $-0,2$  до  $-0,7$ ), об'ємом хліба ( $r$  від  $-0,2$  до  $-0,7$ ), загальною хлібопекарською оцінкою ( $r$  від  $-0,3$  до  $-0,8$ ) та позитивна з розтяжністю тіста ( $r$  від 0,3 до 0,6).

Рівень прояву реологічних властивостей тіста варіював за роками та у межах окремих років середньою мірою. Середня за зразками пружність тіста у 2012, 2013, 2014 та 2017 рр. перевищувала 90 мм, тоді як у 2008, 2009, 2016, 2021, 2023 та 2024 рр. була меншою від 70 мм. Розтяжність тіста більшою за 90 мм була у 2008, 2009, 2010, 2014 та 2021 рр., а меншою за 70 мм у 2013, 2015, 2016, 2017, 2022 та 2024 рр. Високе значення пружності або розтяжності тіста ще не гарантує отримання високої сили борошна, для чого потрібна збалансованість обох показників. Сила борошна більше 280 одиниць

In 2010 and 2021, when there was a significant decrease in the productive density, but the conditions for grain setting and filling were favorable, the mean grain protein content exceeded 14%; In 2009 and 2020, this indicator was also quite high, amounting to 13.8%. The flour gluten content in these years exceeded 27%. When we considered the annual mean values of the protein and gluten contents, we noted inverse correlations between these indicators and yield ( $r=-0.46$  and  $-0.44$ , respectively). In most years of research, there was a strong correlation between grain protein content and flour gluten content ( $r = 0.6-0.8$ ); both indicators were positively correlated with gluten deformation index and dough extensibility in most cases ( $r = 0.2-0.7$ ); in some years, there were inverse correlations with dough resilience and balance.

Gluten content and quality are among the most important factors affecting dough rheology. The gluten deformation index varied more significantly than the protein and gluten contents across cultivars and lines in individual years ( $CV = 20.6-44.6\%$ ) and across years ( $CV=36.6\%$ ). In most years, the mean value met the requirements for gluten quality Group 1, but in 2011, 2018, 2022, and 2023, gluten was too strong ( $GDI<40$ ), while in 2009, 2016, 2020, and 2021, it was too extensible ( $GDI>80$ ). In most years, there was a significant inverse correlation between GDI and dough resilience ( $r$  from  $-0.3$  to  $-0.7$ ), between GDI and flour strength ( $r$  from  $-0.3$  to  $-0.8$ ), between GDI and dough elasticity index ( $r$  from  $-0.2$  to  $-0.7$ ), between GDI and loaf volume ( $r$  from  $-0.2$  to  $-0.7$ ), and between GDI and overall baking score ( $r$  from  $-0.3$  to  $-0.8$ ); there was a positive correlation between GDI and dough extensibility ( $r = 0.3 - 0.6$ ).

The dough rheological properties moderately varied from year to year and in individual years. The inter-accession mean dough resilience exceeded 90 mm in 2012, 2013, 2014, and 2017, while in 2008, 2009, 2016, 2021, 2023, and 2024, it was below 70 mm. The dough extensibility was higher than 90 mm in 2008, 2009, 2010, 2014, and 2021 and lower than 70 mm in 2013, 2015, 2016, 2017, 2022, and 2024. A high value of dough resilience or extensibility does not guarantee high flour strength, which requires a balance of both indicators. The flour strength of over 280 was recorded 2010, 2011, 2012, 2014, while in 2008, 2016, 2021, and 2024, it was lower than 200. The dough elasticity index of 70 or higher was recorded in 2010, 2019 and, 2023; it was below 60 in 2014, 2017, 2021, and 2024.

альвеографа (о. а.) формувалася в 2010, 2011, 2012, 2014 рр., а у 2008, 2016, 2021 та 2024 рр. була меншою за 200 о. а. Індекс еластичності тіста 70 одиниць і більше був у 2010, 2019 та 2023 рр, а меншим від 60 – у 2014, 2017, 2021 та 2024 рр.

Об'єм хліба зі 100 г борошна без використання розпушувачів у 740 мл і більше був отриманий у 2010, 2012, 2015, 2018 та 2023 рр., а менше від 600 мл – у 2008, 2009, 2016, 2021 та 2022 рр. Загальна хлібопекарська оцінка вище за 8,7 бала відзначена у 2010, 2012, 2018 та 2019 рр., а менша за 8,0 балів – у 2008, 2009, 2016, 2021, 2022 та 2024 рр. Варіювання за роками середніх за зразками показників хлібопекарської оцінки було середнім, коефіцієнти варіації становили від 9 до 15%.

Для узагальнення отриманих багаторічних даних використовувались стандартизовані в межах окремих років значення. Таким чином виділені зразки, які вивчалися не менше трьох років, з середнім стандартизованим значенням натури зерна більше 1,2 Донецька 48, Перлина Лісостепу, Еритр.1463-08, Лют.487-13, Лют.490-13, Проня (Лют. 53-13) та дві сестринські лінії з некрупним, але добре виповненим зерном, Лют. 490 -15, Лют. 449-15, Лют. 470-15, L191-14.

Стандартизоване значення склоподібності більше 1,0 мали Еритр.1463-08, Смуглянка, Еритр.913-10, Лют.490-13, Еритр.14-17, Еритр.1180-18 та лінія, відібрана у розсаднику РВ2 сорту Принада, а менше ніж –1,0 Еритр. 461-09, Лют. 901-10, Еритр. 95-11, Еритр. 778-14, L139-03КН, м'язозерний сорт Мазурок (L137-26-0-3) та його сестринська лінія L137-26-0-2, L195-21, Еритр. 1161-17, Еритр. 55-18, Еритр. 180-18, Еритр. Q 6-15.

Стандартизоване значення вмісту білка в зерні більше ніж 1,2 мали лінії Еритр. 913-10, Еритр. 399-13, Еритр. 188-13, Принада (Лют. 104-11), Лют. 470-15, Лют. 152-16, Еритр. 14-17, Лют. 676-17, Еритр. 923-17, Лют. 1000-17, Лют. 1003-17, Лют. 1152-17, Еритр. 795-21, Еритр. 1120-21, а менше від –1,2 – Лют. 376-07, Лют. 217-13, Лют. 487-13, Еритр. 277-13, А-3-14, Еритр. 1307-15, Малуша (Еритр. 1150-17), Еритр. 55-18, Еритр. 1283-18, L224-5, L244-1 та лінія, відібрана у розсаднику РВ2 сорту Проня. Стандартизоване значення вмісту клейковини у борошні більше 1,0 мали Еритр. 913-10, Еритр. 661-10, Гармоніка (Еритр. 661-10), Принада (Лют. 104-11), Лют. 449-15,

The volume of baking powder-free loaf from 100 g of flour was 740 cm<sup>3</sup> or more in 2010, 2012, 2015, 2018, and 2023; it was below 600 cm<sup>3</sup> in 2008, 2009, 2016, 2021, and 2022. The overall baking score of higher than 8.7 points was noted in 2010, 2012, 2018, and 2019; it was below 8.0 points in 2008, 2009, 2016, 2021, 2022, and 2024. The year-to-year variations of the mean baking scores of the accessions were medium, with the coefficients of variation ranging 9% to 15%.

To summarize the multi-year data, the year-standardized values were used. Thus, accessions that had been studied for at least three years, with the mean standardized value of test weight of over 1.2, were selected: cv. 'Donetska 48', cv. 'Perlyna Lisostepu', line 'Erythr.1463-08', line 'Lut.487-13', line 'Lut.490-13', line 'Lut. 490-15', line 'Lut. 449-15', line 'Lut. 470-15', line 'L191-14', cv. 'Pronia' (line 'Lut. 53-13') and its two sister lines with small but well-filled kernels.

The standardized kernel vitreousness was higher than 1.0 in 'Erythr.1463-08', cv. 'Smuhlianka', 'Erythr.913-10', 'Lut.490-13', 'Erythr.14-17', 'Erythr.1180-18', and a line selected from cv. 'Prynada' in the second year nursery; it was below 1.0 in 'Erythr. 461-09', 'Lut. 901-10', 'Erythr. 95-11', 'Erythr. 778-14', 'L139-03KH', soft cv. 'Mazurok' (line 'L137-26-0-3') and its sister line, 'L137-26-0-2', 'L195-21', 'Erythr. 1161-17', 'Erythr. 55-18', 'Erythr. 180-18', and 'Erythr. Q6-15'.

The standardized value of grain protein content exceeded 1.2 in lines 'Erythr. 913-10', 'Erythr. 399-13', 'Erythr. 188-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Lut. 470-15', 'Lut. 152-16', 'Erythr. 14-17', 'Lut. 676-17', 'Erythr. 923-17', 'Lut. 1000-17', 'Lut. 1003-17', 'Lut. 1152-17', 'Erythr. 795-21', and 'Erythr. 1120-21'; it was below 1.2 in 'Lut. 376-07', 'Lut. 217-13', 'Lut. 487-13', 'Erythr. 277-13', 'A-3-14', 'Erythr. 1307-15', cv. 'Malusha' (line 'Erythr. 1150-17'), 'Erythr. 55-18', 'Erythr. 1283-18', 'L224-5', 'L244-1', and a line selected from cv. 'Pronia' in the second-year nursery. The standardized value of flour gluten content of over 1.0 was recorded for 'Erythr. 913-10', 'Erythr. 661-10', cv. 'Harmonika' (line 'Erythr. 661-10'), cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Lut. 449-15', 'Erythr. 1378-15', 'Lut. 152-16', 'Erythr. 804-16', 'Lut. 834-16', 'Lut. 676-17', and 'Erythr. 65-19'.

Standardization of gluten deformation index and dough balance allows eliminating lines with both too high and too low values from the breeding process. The mean standardized dough resilience values were higher than 1.2 in 'Erythr. 545-06',

Еритр. 1378-15, Лют. 152-16, Еритр. 804-16, Лют. 834-16, Лют. 676-17, Еритр. 65-19.

За показниками індексу деформації клейковини та збалансованості тіста стандартизація дозволяє вилучити з селекційного процесу лінії як з надто високими значеннями, так і з надто низькими. Середнє стандартизованих значень пружності тіста понад 1,2 мали Еритр. 545-06, Еритр. 455-10, Еритр. 237-13, Еритр. 188-13, Мальованка (Еритр. 1472-14), Еритр. 1470-14, Еритр. 1178-15, Еритр. 1235-15, Еритр. 1307-15, L103\*-25KH, Еритр. 67-18, Еритр. 180-18, Еритр. 1478-19, Еритр. 478-20, Еритр. 619-20, Еритр. 987-20. Середнє стандартизованих значень розтяжності тіста понад 1,0 мали Еритр. 692-08, Лют. 844-10, Еритр. 913-10, Лют. 104-11, Еритр. 275-13, L 77-19KH-0KH-4KH, Мелашка (L146-02-0-4), Еритр. 804-16, Еритр. 1367-19.

Середнє стандартизованих значень сили борошна понад 1,0 мали Еритр. 545-06, Фермерка (Еритр. 702-06), Влучна, Еритр. 237-13, Еритр. 1395-15, L191-18, Еритр. 1178-15, L103\*-25KH, Еритр. 804-16, Еритр. 805-16, Еритр. 166-16, Еритр. 67-18, Еритр. 478-20, Еритр. 619-20, Лют. 1387-21, а індексу еластичності тіста – Еритр. 455-10, Еритр. 95-11, Еритр. 1217-15, Еритр. 170-15, Еритр. 190-15, Еритр. 1046-15, Еритр. 1178-15, Еритр. 805-16, Еритр. 806-16, Еритр. 795-21.

Середнє стандартизоване значення об'єму хліба зі 100 г борошна без розпушувачів 1,0 та більше мали Еритр. 545-06, Еритр. 1397-08, Еритр. 236-13, Еритр. 237-13, Еритр. 554-16, Еритр. 166-16, Еритр. 444-16, Лют. 319-19, Еритр. 1693-19, Еритр. 429-20, а загальної хлібопекарської оцінки більше 0,5 – Харус (Еритр. 333), Еритр. 1397-08, Еритр. 283-09, Еритр. 461-09, Еритр. 462-09, Еритр. 803-09, Лют. 560-09, Лют. 628-09, Еритр. 275-13, Лют. 48-13, Принада (Лют. 104-11), Еритр. 753-14, Еритр. 1470-14, А-3-14, L 77-27KH-0KH-4KH, Коровайна, Еритр. 1217-15, L191-18, Еритр. 777-16, Еритр. 804-16, Лют. 319-19, Еритр. 1367-19, Лют. 354-20, Еритр. 429-20.

Середнє стандартизоване значення показника SDS-седиментації більше 1,0 показали Вигадка (Еритр. 300-12), Еритр. 48-17, Еритр. 60-17, Еритр. 130-17, Лют. 229-17, Еритр. 287-17, Еритр. 1180-18, Еритр. 478-20, Еритр. 795-21, Лют. 860-21, Еритр. 1120-21.

Середні стандартизовані значення показників якості зерна для сортів, які протягом 2008-2024 років вивчалися не менше 7 років наведені у табл. 2.

'Erythr. 455-10', 'Erythr. 237-13', 'Erythr. 188-13', 'Maliovanka' (line 'Erythr. 1472-14'), 'Erythr. 1470-14', 'Erythr. 1178-15', 'Erythr. 1235-15', 'Erythr. 1307-15', 'L103\*-25KH', 'Erythr. 67-18', 'Erythr. 180-18', 'Erythr. 1478-19', 'Erythr. 478-20', 'Erythr. 619-20', and 'Erythr. 987-20'. The mean standardized values of dough extensibility of over 1.0 were noted in 'Erythr. 692-08', 'Lut. 844-10', 'Erythr. 913-10', 'Lut. 104-11', 'Erythr. 275-13', 'L 77-19KH-0KH-4KH', cv. 'Melashka' (line 'L146-02-0-4'), 'Erythr. 804-16', and 'Erythr. 1367-19'.

The mean standardized values of flour strength were over 1.0 in 'Erythr. 545-06', cv. 'Fermerka' (line 'Erythr. 702-06'), cv. 'Vluchna', 'Erythr. 237-13', 'Erythr. 1395-15', 'L191-18', 'Erythr. 1178-15', 'L103\*-25KH', 'Erythr. 804-16', 'Erythr. 805-16', 'Erythr. 166-16', 'Erythr. 67-18', 'Erythr. 478-20', 'Erythr. 619-20', and 'Lut. 1387-21'. The mean standardized values of dough elasticity index exceeded 1 in 'Erythr. 455-10', 'Erythr. 95-11', 'Erythr. 1217-15', 'Erythr. 170-15', 'Erythr. 190-15', 'Erythr. 1046-15', 'Erythr. 1178-15', 'Erythr. 805-16', 'Erythr. 806-16', and 'Erythr. 795-21'.

The mean standardized values of volume of baking powder-free loaf from 100 g of flour were 1.0 or higher in 'Erythr. 545-06', 'Erythr. 1397-08', 'Erythr. 236-13', 'Erythr. 237-13', 'Erythr. 554-16', 'Erythr. 166-16', 'Erythr. 444-16', 'Lut. 319-19', 'Erythr. 1693-19', and 'Erythr. 429-20'. The mean standardized values of the overall baking score was more than 0.5 in cv. 'Kharus' (line 'Erythr. 333'), 'Erythr. 1397-08', 'Erythr. 283-09', 'Erythr. 461-09', 'Erythr. 462-09', 'Erythr. 803-09', 'Lut. 560-09', 'Lut. 628-09', 'Erythr. 275-13', 'Lut. 48-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Erythr. 753-14', 'Erythr. 1470-14', 'A-3-14', 'L 77-27KH-0KH-4KH', cv. 'Korovaina', 'Erythr. 1217-15', 'L191-18', 'Erythr. 777-16', 'Erythr. 804-16', 'Lut. 319-19', 'Erythr. 1367-19', 'Lut. 354-20', and 'Erythr. 429-20'.

The mean standardized values of the SDS-sedimentation index of over 1.0 were intrinsic to cv. 'Vyhadka' (line 'Erythr. p.300-12'), 'Erythr. 48-17', 'Erythr. 60-17', 'Erythr. 130-17', 'Lut. 229-17', 'Erythr. 287-17', 'Erythr. 1180-18', 'Erythr. 478-20', 'Erythr. 795-21', 'Lut. 860-21', and 'Erythr. 1120-21'.

The mean standardized values of grain quality indicators for cultivars that had been studied for at least 7 years (2008-2024) are given in Table 2.

**Таблиця 2.** Показники якості зерна зразків пшениці м'якої озимої стандартизовані за роками вивчення (значення середні за зразками)\***Table 2.** Year-standardized values of the grain quality indicators of the winter bread wheat accessions (mean values for accessions)\*

| Назва сорту /<br>Cultivar                            | Кількість<br>років<br>вивчення<br>/ Number<br>of study<br>years | Нагура<br>зерна /<br>Test<br>weight | Склоподібність<br>зерна / Kernel<br>vitreousness | Вміст<br>білка в<br>зерні /<br>Grain<br>protein<br>content | Вміст<br>клейковини<br>в борошні /<br>Flour gluten<br>content | Індекс<br>деформації<br>клейковини<br>/ Glutelin<br>deformation<br>index | Пружність<br>тіста /<br>Dough<br>resilience | Розтяжність<br>тіста /<br>Dough<br>extensibility | Сила<br>борошна<br>/ Flour<br>strength | Індекс<br>еластичності<br>тіста /<br>Dough<br>elasticity<br>index | Об'єм<br>хліба /<br>Volume<br>of loaf | Загальна<br>хлібопекарська<br>оцінка /<br>Overall baking<br>score |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1                                                    | 2                                                               | 3                                   | 4                                                | 5                                                          | 6                                                             | 7                                                                        | 8                                           | 9                                                | 10                                     | 11                                                                | 12                                    | 13                                                                |
| Досконала /<br>Doskonala                             | 22                                                              | 0,22                                | -0,59                                            | -0,10                                                      | 0,05                                                          | 0,60                                                                     | -0,64                                       | -0,01                                            | -0,67                                  | -0,58                                                             | -0,25                                 | -0,14                                                             |
| Дорідна / Doridna                                    | 15                                                              | 0,45                                | 0,38                                             | 0,90                                                       | 0,16                                                          | 0,52                                                                     | -0,70                                       | 0,55                                             | -0,41                                  | -0,50                                                             | -0,57                                 | -0,32                                                             |
| Альянс / Alians                                      | 17                                                              | -0,02                               | -0,32                                            | -0,49                                                      | -0,69                                                         | -0,07                                                                    | -0,69                                       | 0,39                                             | -0,41                                  | -0,01                                                             | 0,02                                  | 0,05                                                              |
| Розкішна /<br>Rozkishna                              | 18                                                              | -0,04                               | -0,46                                            | -0,09                                                      | -0,41                                                         | -0,31                                                                    | 0,37                                        | -0,69                                            | 0,06                                   | 0,38                                                              | -0,30                                 | -0,26                                                             |
| Астет / Astet                                        | 9                                                               | 0,04                                | 0,91                                             | -0,10                                                      | -0,06                                                         | -0,54                                                                    | 0,73                                        | -0,21                                            | 0,99                                   | 0,53                                                              | 0,56                                  | 0,46                                                              |
| Василина /<br>Vasylyna                               | 11                                                              | -0,06                               | 0,31                                             | -0,48                                                      | -0,21                                                         | -0,53                                                                    | 0,65                                        | -0,45                                            | 0,57                                   | 0,18                                                              | 0,72                                  | 0,44                                                              |
| Харус / Kharus                                       | 9                                                               | 0,35                                | 0,24                                             | -0,76                                                      | -0,42                                                         | -0,72                                                                    | 0,57                                        | 0,02                                             | 0,86                                   | 0,60                                                              | 0,76                                  | 0,57                                                              |
| Статна / Statna                                      | 13                                                              | 0,39                                | 0,26                                             | -0,34                                                      | -0,07                                                         | -0,47                                                                    | 0,33                                        | 0,30                                             | 0,69                                   | 0,15                                                              | 0,34                                  | 0,31                                                              |
| Гордовита /<br>Hordovyta                             | 9                                                               | -0,12                               | 0,74                                             | -0,74                                                      | -0,87                                                         | -0,24                                                                    | 0,79                                        | -0,96                                            | 0,32                                   | 0,03                                                              | -0,08                                 | 0,25                                                              |
| Диво / Dyvo                                          | 16                                                              | 0,08                                | 0,39                                             | -0,79                                                      | 0,06                                                          | -0,38                                                                    | 0,72                                        | -0,43                                            | 0,54                                   | 0,16                                                              | 0,53                                  | 0,19                                                              |
| Фермерка /<br>Fermerka                               | 15                                                              | 0,54                                | 0,57                                             | 0,07                                                       | -0,04                                                         | -0,72                                                                    | 0,88                                        | -0,19                                            | 1,11                                   | 0,74                                                              | 0,33                                  | 0,21                                                              |
| Запашна /<br>Zapashna                                | 15                                                              | -0,01                               | -0,09                                            | -0,71                                                      | -0,75                                                         | -0,26                                                                    | 0,74                                        | -0,43                                            | 0,48                                   | 0,03                                                              | -0,06                                 | 0,32                                                              |
| Приваблива /<br>Pryvablyva                           | 14                                                              | 0,85                                | 0,21                                             | 0,31                                                       | 0,64                                                          | 0,50                                                                     | -0,36                                       | 0,37                                             | -0,16                                  | -0,32                                                             | -0,12                                 | 0,19                                                              |
| Привітна /<br>Pryvitna                               | 13                                                              | 0,92                                | 0,19                                             | 0,54                                                       | 0,57                                                          | 0,34                                                                     | -0,44                                       | 0,04                                             | -0,34                                  | -0,22                                                             | -0,34                                 | 0,06                                                              |
| Метелиця<br>харківська /<br>Metelytsia<br>Kharkivska | 13                                                              | -1,34                               | -0,03                                            | -0,30                                                      | -0,20                                                         | 0,14                                                                     | -0,46                                       | -0,25                                            | -0,55                                  | 0,00                                                              | -0,34                                 | -0,57                                                             |
| Вигадка /<br>Vyhadka                                 | 13                                                              | 0,45                                | 0,26                                             | -0,07                                                      | -0,22                                                         | -0,72                                                                    | 0,91                                        | -0,72                                            | 0,57                                   | 0,33                                                              | 0,14                                  | 0,14                                                              |
| Здобна / Zdobna                                      | 13                                                              | 0,32                                | 0,16                                             | -0,33                                                      | -0,10                                                         | -0,19                                                                    | -0,05                                       | -0,02                                            | -0,03                                  | 0,18                                                              | 0,28                                  | 0,01                                                              |
| Гайок / Haiok                                        | 13                                                              | 0,91                                | 0,09                                             | -0,04                                                      | 0,04                                                          | -0,44                                                                    | 0,27                                        | -0,40                                            | 0,02                                   | 0,22                                                              | 0,07                                  | -0,12                                                             |
| Проня / Pronia                                       | 12                                                              | 1,22                                | 0,38                                             | -0,77                                                      | -0,42                                                         | -0,32                                                                    | 0,05                                        | -0,23                                            | -0,14                                  | -0,39                                                             | 0,13                                  | 0,22                                                              |
| Гармоніка /<br>Harmonika                             | 11                                                              | -0,15                               | 0,18                                             | 0,76                                                       | 1,15                                                          | 0,64                                                                     | -0,61                                       | 0,95                                             | -0,02                                  | -0,13                                                             | 0,41                                  | 0,35                                                              |

| продовження таблиці 2        |    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                            | 2  | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |
| Краса ланів /<br>Krasa Laniv | 12 | 0,29  | -0,89 | -0,15 | -0,03 | -0,65 | -0,03 | 0,08  | 0,35  | 0,77  | -0,42 | -0,62 |
| Патріотка /<br>Patriotka     | 10 | -0,66 | -0,17 | -0,11 | -0,27 | -0,66 | 0,55  | -0,15 | 0,65  | 0,78  | -0,29 | -0,12 |
| Принада /<br>Prynada         | 10 | 1,10  | 0,65  | 1,27  | 1,15  | -0,42 | 0,14  | 0,27  | 0,62  | 0,85  | 0,61  | 0,55  |
| Мальованка /<br>Maliovanka   | 10 | 0,19  | -0,01 | 0,16  | -0,49 | -0,79 | 1,27  | -0,52 | 0,97  | 0,40  | -0,44 | 0,15  |
| Мавка ІР / Mavka<br>IR       | 10 | 0,65  | 0,06  | -1,04 | -0,94 | -0,01 | 0,33  | -0,36 | 0,04  | -0,30 | 0,50  | 0,21  |
| Мізінка /<br>Mizynka         | 10 | 0,17  | -0,05 | -0,76 | -0,61 | -1,03 | 0,33  | -0,23 | 0,28  | 0,08  | 0,06  | 0,29  |
| Мазурок /<br>Mazyrok         | 10 | -0,55 | -1,39 | 1,06  | 0,52  | 1,59  | -1,83 | 0,23  | -1,94 | -0,76 | -0,19 | -1,47 |
| Мелашка /<br>Melashka        | 9  | -1,66 | -0,13 | -0,59 | 0,44  | 1,01  | -1,39 | 1,02  | -1,08 | -0,83 | -0,19 | -0,26 |
| Газда / Gazda                | 9  | -0,34 | -0,91 | -0,57 | -0,61 | -1,18 | 0,17  | -0,19 | 0,27  | 0,96  | 0,23  | -0,29 |
| Єднання /<br>Yednannia       | 7  | 0,88  | -0,56 | -0,04 | 0,29  | 0,70  | -0,15 | -0,45 | -0,50 | -0,78 | -0,86 | -0,32 |
| Малуша /<br>Malusha          | 7  | 0,05  | 0,00  | -1,21 | -1,56 | 0,24  | -0,98 | 0,41  | -0,89 | -0,50 | -0,14 | -0,03 |

Примітка: \* Різниця між значенням конкретного показника конкретної лінії та середнім значенням відповідного показника у відповідний рік поділена на стандартне відхилення відповідного показника у відповідний рік

Note: \* The difference between the value of a specific indicator of a specific line and the mean value of the corresponding indicator in the corresponding year was divided by the standard deviation of the corresponding indicator in the corresponding year.

Серед сортів високими пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста відрізнялись Харус, Астет, Васирина, Фермерка (має Glu-B1a1), Патріотка, Мальованка, а низькими – Малуша (носії пшенично-житньої транслокації 1B/1R) [34] та м'язозерний сорт кондитерського напрямку використання Мазурок [35], який крім того закономірно відрізнявся низькою склоподібністю зерна. Високою натурою зерна відзначались сорти Приваблива, Привітна, Принада, Гайок, Проня. Високим вмістом білка в зерні та клейковини в борошні характеризувались Приваблива, Привітна, Гармоніка, Мазурок, при максимальних значеннях у сорту Принада. Об'єм хліба і загальна хлібопекарська оцінка вищими були у сортів Харус, Астет, Васирина, Статна, Фермерка, Диво, Гармоніка, Принада, Мавка ІР.

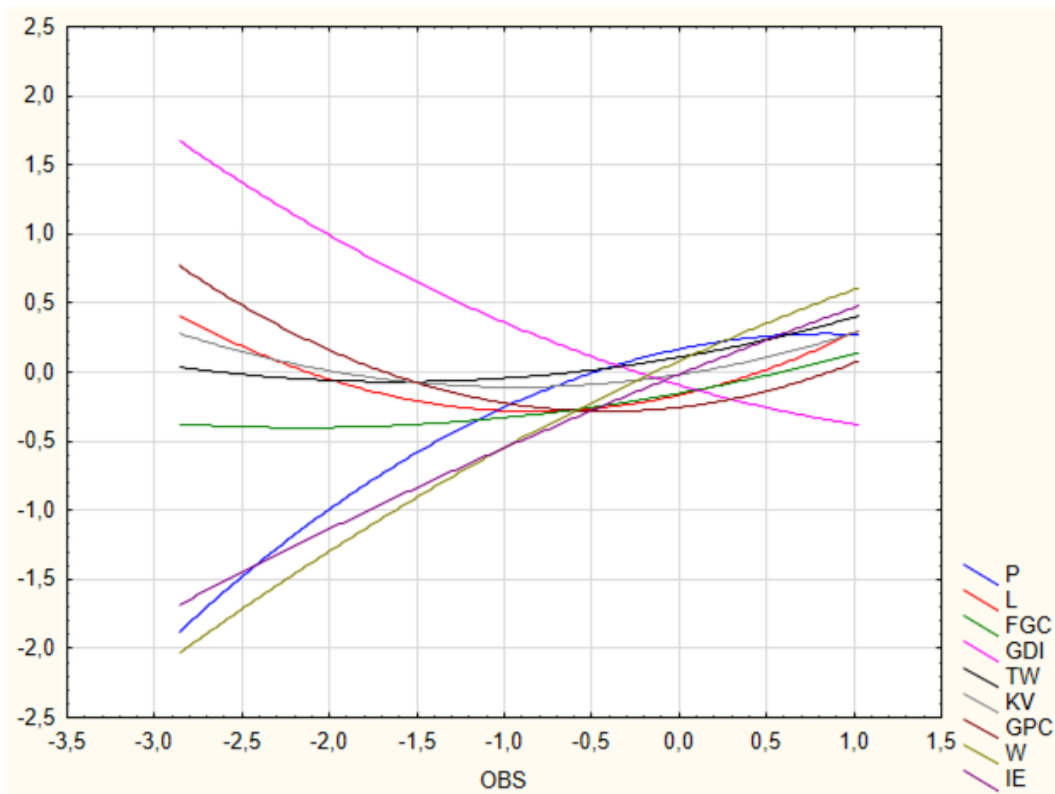
Розгляд зв'язків між середніми стандартизованими значеннями показників якості зерна сортів і ліній, які вивчалися не менше трьох років, показав, що суттєвою для  $p > 0,95$  кореляція була між натурою та склоподібністю зерна ( $r = 0,30$ ), між вмістом білка в зерні та клейковини в борошні ( $r = 0,67$ ), вміст білка та клейковини позитивно корелювали з ІДК та розтяжністю тіста ( $r = 0,3-0,5$ ) та негативно з пружністю тіста ( $r = -0,2$ ). Індекс деформації клейковини негативно корелював з пружністю та еластичністю тіста і силою борошна ( $r$  від  $-0,6$  до  $-0,7$ ) та позитивно – з розтяжністю тіста ( $r = 0,39$ ). Сила борошна була пов'язаною з пружністю тіста ( $r = 0,85$ ) та еластичністю ( $r = 0,70$ ).

Загальна хлібопекарська оцінка була суттєво пов'язана з індексом деформації клейковини ( $r = 0,39$ ), пружністю тіста ( $r = -0,37$ ), силою борошна та індексом еластичності тіста ( $r = 0,53$ ). Невисокі значення коефіцієнтів лінійної кореляції можуть говорити про непрямолінійність зв'язку. Поліноміальні побудови другого ступеня для відображення впливу інших показників якості зерна на загальну хлібопекарську оцінку наведені на рис. 1.

Cultivars 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Fermerka' (carries Glu-B1a1), 'Patriotka', and 'Maliovanka' were distinguished by high levels of dough resilience, flour strength, and dough elasticity index; cv. 'Malusha' (carrier of the 1B/1R wheat-rye translocation) [34] and soft confectionery cv. 'Mazurok' [35] were distinguished by low kernel vitreousness. Cultivars 'Privablyva', 'Privitna', 'Prynada', 'Haiok', and 'Pronia' were distinguished by high test weight; cvs. 'Privablyva', 'Privitna', 'Harmonika', and 'Mazurok' were characterized by high grain protein content and flour gluten content, with the maximum values in cv. 'Prynada'. The loaf volume and the overall baking score were higher in cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Statna', 'Fermerka', 'Dyvo', 'Harmonika', 'Prynada', and 'Mavka IR'.

Consideration of the relationships between the mean standardized values of the grain quality indicators in the cultivars and lines that had been studied for at least three years showed significant correlations ( $p > 0.95$ ) between test weight and kernel vitreousness ( $r = 0.30$ ), between grain protein content and flour gluten content ( $r = 0.67$ ); protein and gluten contents were positively correlated with GDI and dough extensibility ( $r = 0.3-0.5$ ) and negatively correlated with dough resilience ( $r = -0.2$ ). Gluten deformation index was negatively correlated with dough resilience, dough elasticity and flour strength ( $r$  from  $-0.6$  to  $-0.7$ ) and positively correlated with dough extensibility ( $r = 0.39$ ). Flour strength was correlated with dough resilience ( $r = 0.85$ ) and elasticity ( $r = 0.70$ ).

The overall baking score was significantly correlated with gluten deformation index ( $r = 0.39$ ), dough resilience ( $r = -0.37$ ), flour strength and dough elasticity index ( $r = 0.53$ ). Low values of the linear correlation coefficients may indicate a nonlinear relationship. Fig. 1 shows second-order polynomials to reflect the influence of other grain quality indicators on the overall baking score.



**Рис. 1.** Зв'язок загальної хлібопекарської оцінки пшениці м'якої озимої з іншими показниками якості зерна, середні за зразками стандартизованих значень за роками вивчення.

Примітка: OBS – загальна хлібопекарська оцінка, P – пружність тіста, L – розтяжність тіста, FGC – вміст клейковини в борошні, GDI – індекс деформації клейковини, TW – натура зерна, KV – склоподібність зерна, GPC – вміст білка в зерні, W – сила борошна, IE – індекс еластичності клейковини.

**Fig. 1.** Relationships between the overall baking score and other grain quality indicators in winter bread wheat, mean values standardized across years.

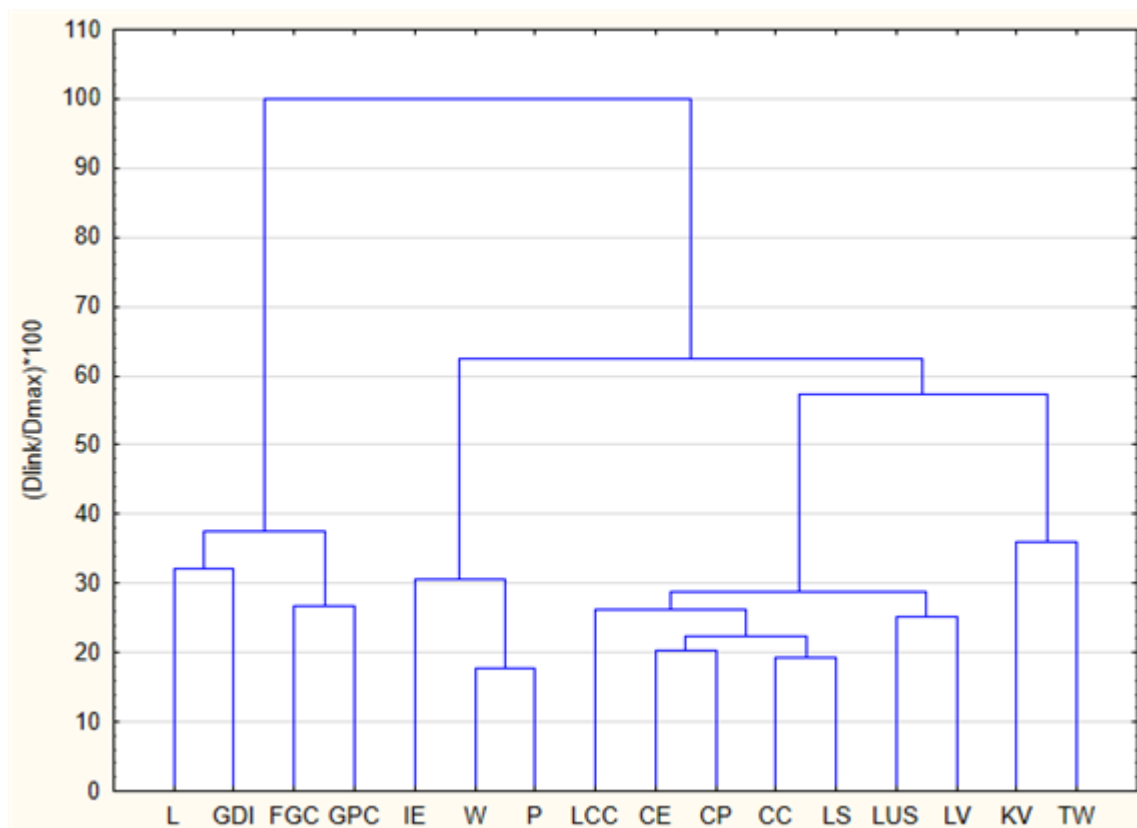
Note: OBS – overall baking score, P – dough resilience, L – dough extensibility, FGC – flour gluten content, GDI – gluten deformation index, TW – test weight, KV – kernel vitreousness, GPC – grain protein content, W – flour strength, IE – gluten elasticity index.

Кластеризація ознак якості зерна методом Варда до якої залучили сорти та лінії, що вивчалися не менше трьох років, дозволила виділити чотири кластера з масштабом евклідових відстаней менше 40 %. До першого увійшли ознаки вмісту білка в зерні та клейковини в борошні, індекс деформації клейковини та розтяжність тіста, до другого – усі інші реологічні властивості тіста, до третього – показники якості хліба, до четвертого – склоподібність та натура зерна (рис. 2).

Для редукції даних та узагальнення отриманих результатів було проведено факторний аналіз, до якого залучили сорти та лінії, які вивчалися не менше трьох років за комплексом ознак якості зерна. Методом головних компонент виділено чотири фактори, які пояснюють більше 70% загальної мінливості.

Ward clusterization of grain quality traits in the cultivars and lines that had been studied for at least three years allowed us to identify four clusters with a Euclidean distances of  $\leq 40\%$ . Cluster 1 included the following characteristics: grain protein content and flour gluten content, gluten deformation index, and dough extensibility; cluster 2 – the other rheological properties of dough; cluster 3 – bread quality indicators; and cluster 4 – kernel vitreousness and test weight (Fig. 2).

To reduce data and summarize the results, we performed PCA, which included the cultivars and lines that had been screened for at least three years for a set of grain quality characteristics. Four principal components (PCs), which account for  $> 70\%$  of the total variability, were identified by principal component analysis.



**Рис. 2.** Ієрархічне дерево показників якості зерна за результатами вивчення ліній пшениці м'якої озимої конкурсного сортовипробування (евклідові відстані, метод Варда).

Примітка:  $(Dlink/Dmax)*100$  – масштаб відстаней, L – розтяжність тіста, GDI – індекс деформації клейковини, FGC – вміст клейковини в борошні, GPC – вміст білка в зерні, IE – індекс еластичності клейковини, W – сила борошна, P – пружність тіста, LCC – колір скоринки хлібини, CE – еластичність м'якуша хлібини, CP – пористість м'якуша хлібини, CC – колір м'якуша хлібини, LS – форма хлібини, LUS – оцінка поверхні хлібини, LV – об'єм хлібини, KV – склоподібність зерна, TW – натура зерна.

**Figure 2.** Dendrogram of the grain quality indicators based on the results of testing the winter bread wheat lines in competitive trials (Euclidean distances, Ward method).

Note:  $(Dlink/Dmax)*100$  – distance scale, L – dough extensibility, GDI – gluten deformation index, FGC – flour gluten content, GPC – grain protein content, IE – gluten elasticity index, W – flour strength, P – dough resilience, LCC – loaf crust color, CE – crumb elasticity, CP – crumb porosity, CC – crumb color, LS – loaf shape, LUS – loaf surface score, LV – loaf volume, KV – kernel vitreousness, TW – test weight.

До першого фактора увійшли показники хлібопекарської оцінки (об'єм хліба, форма, оцінка поверхні, забарвлення шкоринки, пористість, еластичність та колір м'якуша) з навантаженнями 0,7–0,8. До другого фактора увійшли реологічні властивості (пружність тіста, сила борошна, індекс еластичності тіста) з навантаженнями 0,8–0,9 та індекс деформації клейковини з від'ємним знаком. До третього фактора увійшли вміст білка, клейковини з навантаженнями 0,8–0,9 та, частково, розтяжність тіста (навантаження 0,6). До четвертого фактора увійшли склоподібність та натура зерна. Таким чином, були отримані результати, дуже близькі до ієрархічної

Principal component 1 included baking indicators (loaf volume, shape, surface score, crust color, porosity, and crumb elasticity and color) with loadings of 0.7–0.8. Principal component 2 included rheological properties (dough resilience, flour strength, dough elasticity index) with loadings of 0.8–0.9 and gluten deformation index with a negative loading. Principal component 3 included protein and gluten contents with loadings of 0.8–0.9 and, partially, dough extensibility (loading 0.6). Principal component 4 included kernel vitreousness and test weight. Thus, we obtained results that were very close to hierarchical clustering.

кластеризації.

Отже для хлібопекарського використання, де потрібні високі хлібопекарські, реологічні і поживні властивості та використання як вихідний матеріал для селекції за даними ознаками підійдуть сорти і лінії з поєднанням високих значень перших трьох факторів: Астет (Еритр.185-98), Фермерка (Еритр. 702-06), Еритр. 913-10, Лют. 943-10, Еритр. 134-13, Еритр. 275-13, Еритр. 377-13, Еритр. 393-13, Принада (Лют. 104-11), Еритр. 669-14, L165-02KH, Коровайна, L191-18, Еритр. 190-15, Лют. 449-15, Лют. 470-15, Еритр. 1178-15, Лют. 1346-15, L103\*-25KH, Еритр. 804-16, Еритр. 166-16, Лют. 1152-17, Еритр. 1180-18, Еритр. 81-19, Еритр. 1367-19, Лют. 354-20.

Для заготівлі зерна згідно з ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови» [36], де хлібопекарські та реологічні показники не є обов'язковими або взагалі не передбачені, важливими будуть зразки з високими значеннями третього і четвертого факторів: Дорідна (Лют. 415-01), Лют. 561-09, Еритр. 913-10, Лют. 943-10, Лют. 994-10, Приваблива (Лют. 561-09), Привітна (Лют. 1019-10), Еритр. 164-13, Лют. 447-13, Принада (Лют. 104-11), Лют. 449-15, Лют. 470-15, L191-14, Еритр. 14-17, Лют. 676-17, Еритр. 923-17, Еритр. 1180-18, Еритр. 65-19, Еритр. 81-19.

Для кондитерського напряму використання кращими будуть пшениці з низькими реологічними властивостями та склоподібністю [37], тобто факторами 2 і 4, але до фактора 4 також увійшла натура зерна, а низьке значення цього показника не бажане. При виділенні п'яти факторів, які пояснюють більше 75 % загальної мінливості, вдалося розділити четвертий фактор на четвертий, до якого увійшла склоподібність зерна з навантаженням 0,86 і п'ятий – з натурою зерна з навантаженням 0,95. Низькими значеннями факторів 2 і 4 та високими значеннями фактора 3 відзначались Лютиця, Лют. 844-10, Лют. 994-10, Лют. 104-11, Мазурок (L137-26-0-3), L137-26-0-2, Мелашка (L146-02-0-4), L195-21, Еритр. 444-16, Еритр. 263-18.

Hence, for baking purposes, where high baking, rheological and nutritional properties are required, and in breeding oriented to these characteristics, as starting materials, the following cultivars and lines with combinations of high values of the first three PCs are suitable: cv. 'Astet' (line 'Erythr.185-98'), cv. 'Fermerka' (line 'Erythr. 702-06'), 'Erythr. 913-10', 'Lut. 943-10', 'Erythr. 134-13', 'Erythr. 275-13', 'Erythr. 377-13', 'Erythr. 393-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Erythr. 669-14', 'L165-02KH', cv. 'Korovayna', 'L191-18', 'Erythr. 190-15', 'Lut. 449-15', 'Lut. 470-15', 'Erythr. 1178-15', 'Lut. 1346-15', 'L103\*-25KH', 'Erythr. 804-16', 'Erythr. 166-16', 'Lut. 1152-17', 'Erythr. 1180-18', 'Erythr. 81-19', 'Erythr. 1367-19', and 'Lut. 354-20'.

For grain harvesting, according to DSTU 3768:2019 "Wheat. Specifications" [36], where baking and rheological indicators are not mandatory or not provided for at all, accessions with high values of PCs 3 and 4 will be important: cv. 'Doridna' (line 'Lut. 415-01'), 'Lut. 561-09', 'Erythr. 913-10', 'Lut. 943-10', 'Lut. 994-10', cv. 'Pryvablyva' (line 'Lut. 561-09'), cv. 'Pryvitna' (line 'Lut. 1019-10'), 'Erythr. 164-13', 'Lut. 447-13', cv. 'Prynada' (line 'Lut. 104-11'), 'Lut. 449-15', 'Lut. 470-15', 'L191-14', 'Erythr. 14-17', 'Lut. 676-17', 'Erythr. 923-17', 'Erythr. 1180-18', 'Erythr. 65-19', and 'Erythr. 81-19'.

In confectionery industry, wheats with low rheological properties and kernel vitreousness [37], i.e. PCs 2 and 4 seem the best ones; however, PC 4 also includes test weight and a low value of this indicator is not desirable. With five PCs accounting for over 75% of the total variability, it was possible to divide PC 4 into a smaller PC 4, which included kernel vitreousness with a loading of 0.86 and PC 5 consisting of test weight with a loading of 0.95. Low values of PCs 2 and 4 and high values of PC 3 were noted in cv. 'Liutytsia', 'Lut. 844-10', 'Lut. 994-10', 'Lut. 104-11', cv. 'Mazurok' (line 'L137-26-0-3'), 'L137-26-0-2', cv. 'Melashka' (line 'L146-02-0-4'), 'L195-21', 'Erythr. 444-16', and 'Erythr. 263-18'.

## Висновки

В результаті детального вивчення понад 1200 сортів та селекційних ліній конкурсного сортовипробування пшениці м'якої озимої за ознаками якості зерна в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН протягом 2008–2024 рр. встановлена мінливість їх за роками залежно від погодних умов.

Для узагальнення отриманих багаторічних даних були використані стандартизовані в межах окремих років значення, за якими виділені джерела високої натури зерна, високої та низької склоподібності зерна для селекції твердозерних та м'якозерних сортів, високого вмісту білка і клейковини та її якості, високих реологічних властивостей і хлібопекарських якостей.

Серед сортів високими пружністю тіста, силою борошна та індексом еластичності тіста відрізнялись Харус, Астет, Васирина, Фермерка, Патріотка, Мальованка, а низькими – Малуша та м'якозерний сорт кондитерського напряму використання Мазурок, який крім того відрізнявся низькою склоподібністю зерна.

Високою натурою зерна відзначались сорти Приваблива, Привітна, Принада, Гайок, Проня. Високим вмістом білка в зерні та клейковини в борошні характеризувалися Приваблива, Привітна, Гармоніка, Мазурок, при максимальних значеннях у сорту Принада.

Об'єм хліба і загальна хлібопекарська оцінка вищими були у сортів Харус, Астет, Васирина, Статна, Фермерка, Диво, Гармоніка, Принада, Мавка ІР.

Встановлені зв'язки між ознаками якості зерна, зокрема загальна хлібопекарська оцінка була суттєво пов'язана з індексом деформації клейковини ( $r=0,39$ ), пружністю тіста ( $r=-0,37$ ), силою борошна та індексом еластичності тіста ( $r=0,53$ ).

Для редукції даних та узагальнення отриманих результатів було проведено кластерний та факторний аналіз, за допомогою яких виділено чотири кластери з масштабом евклідових відстаней менше 40% та чотири фактори, які пояснюють понад 70% загальної мінливості, один з яких пов'язаний з хлібопекарськими якостями, інший – з реологічними властивостями, ще два з вмістом білка і клейковини та натурою і склоподібністю зерна. Визначені лінії з поєднанням високих значень різних факторів для різних напрямів використання.

## Conclusions

The Yuriev Plant Production Institute of NAAS was elaborately studying grain quality indicators of over 1,200 winter bread wheat cultivars and breeding lines tested in the competitive trials in 2008–2024 and established their year-to-year variability depending on weather conditions.

To summarize the obtained multi-year data, we used the year-standardized values and, based on these values, identified sources of high test weight as well as of high and low kernel vitreousness for the breeding of hard and soft cultivars, respectively, sources of high protein and gluten contents, high gluten quality, high rheological properties, and excellent baking qualities.

Among the cultivars, cv. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Fermerka', 'Patriotka', and 'Maliovanka' were distinguished by high dough resilience, flour strength and dough elasticity index, while cv. 'Malusha' and soft confectionery cv. 'Mazurok' – by low levels of these characteristics; in addition, cv. 'Mazurok' was characterized by low kernel vitreousness.

Cultivars 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Prynada', 'Haiok', and 'Pronia' had high test weights. Cultivars 'Pryvablyva', 'Pryvitna', 'Harmonika', and 'Mazurok' were characterized by high grain protein content and flour gluten content, with the maximum values in cv. 'Prynada'.

The loaf volume and the overall baking score were high in cvs. 'Kharus', 'Astet', 'Vasylyna', 'Statna', 'Fermerka', 'Dyvo', 'Harmonika', 'Prynada', and 'Mavka IR'.

Relationships between the grain quality traits were evaluated; in particular, overall baking score was significantly correlated with gluten deformation index ( $r=0.39$ ), dough resilience ( $r=-0.37$ ), flour strength, and dough elasticity index ( $r=0.53$ ).

To reduce data and summarize the results, cluster analysis and PCA were conducted. These analyses identified four clusters with a Euclidean distance of < 40% and four PCs that account for > 70% of the total of variability: cluster 1 includes baking qualities, cluster 2 – rheological properties, and two other clusters include protein and gluten contents, test weight and kernel vitreousness. Lines combining high values of different PCs have been selected for different areas of use.

## References

1. Bushuk W., Rasper V.F. Wheat: Production, Properties and Quality. Springer Science & Business Media, 2012. 239 p.
2. Biel W., Kazimierska K., Bashutska U. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Sci. Pol. Zootech.* 2020. Vol. 19. P. 19–28. DOI: [10.21005/asp.2020.19.2.03](https://doi.org/10.21005/asp.2020.19.2.03)
3. Cacak-Pietrzak G. The use of wheat in various branches of the food industry. - Technological requirements. *Prz. Zboż. Młyn.* 2008. Vol. 52. P. 11–13. [in Polish]
4. Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur.* 2015. Vol. 4. P. 178–202. <https://doi.org/10.1002/fes3.64>
5. Tsenov, N.; Gubatov, T.; Yanchev, I. Evaluation of heritability and genetic advance of some quality parameters in common wheat (*Triticum aestivum* L.) under genotype by environmental interaction. *Agricultural Science and Technology*. 2022. No 2. P. 12–26. DOI: [10.15547/ast.2022.02.015](https://doi.org/10.15547/ast.2022.02.015)
6. Shamim S., Abdullan M., Shair H., Ahmad J., Farooq M., Ajmal S. Evaluation for impact of climate change on wheat (*Triticum aestivum* L.) grain quality and yield traits. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. 2024. Vol. 5(1). 842. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2024i1.842>
7. Sobko M.G., Glupak Z.I., Kryuchko L.V., Butenko A.O. Formation of yield and grain quality of modern varieties of winter wheat of different geographical origin. *Agrarian innovations*. 2022. No 12. P. 60–69. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.10>
8. Raut R.N., Talekar N., Ghule A.L., Pareek S., Afandi F., Abhimanyu G., Shinde S., Jadhav A. A. Genetic Profiling of Quality Traits for Industrial Applications and Agronomic Practices in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 2025. Vol. 28, No 4. P. 420–434. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i42202>
9. Payne P.I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Annual Review of Plant Physiology*. 1987. Vol. 38. P. 141–153 <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.38.060187.001041>
10. Seling S. Bedeutung des Proteingehaltes von Backweizen aus Sicht der Wissenschaft. *Cereal Tech.* 2010. Vol. 64. P. 103–110.
11. Tannhaeuser S.M., Wieser H., Koehler P. Correlation of quality parameters with the baking performance of wheat flours. *Cereal Chem.* 2014. Vol. 91. P. 333–341. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-09-13-0194-CESI>
12. Souza E.J., Sneller C., Guttieri M.J., Sturbaum A., Griffey C., Sorrells M., Ohm H., Van Sanford D. Basis for selecting soft wheat for end-use quality. *Crop Sci.* 2012. Vol. 52. P. 21–31. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.02.0090>
13. Sherman J.D., Nash D., Lanning S.P., Martin J.M., Blake N.K., Morris C.F., Talbert L.E. Genetics and end-use quality differences between modern and historical spring wheat. *Crop Sci.* 2014. Vol. 54. P. 1972–1980. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.11.0749>
14. Rozbicki J., Ceglinska A., Gozdowski D., Jakubczak M., Cacak-Pietrzak G., Madry W., Golba J., Piechocinski M., Sobczynski G., Studnicki M., Drzazga T. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *J. Cereal Sci.* 2015. Vol. 61. P. 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.11.001>
15. Oury F.X., Godin C. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes?. *Euphytica*. 2007. Vol. 157. P. 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9395-5>
16. Geyer M., Mohler V., Hartl L. Genetics of the Inverse Relationship between Grain Yield and Grain Protein Content in Common Wheat. *Plants*. 2022. Vol. 11, No 16. 2146. <https://doi.org/10.3390/plants11162146>
17. Bhatta M., Regassa T., Rose D.J., Baenziger S., Eskridge P., Santra K.D., Poudel R. Genotype, environment, seeding rate, and top-dressed nitrogen effects on end-use quality of modern Nebraska winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 98. P. 2830. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8916>
18. Akin A., Karaduman Y., Özkaya B. Evaluation of the 100-year evolution of TZARI bread wheat variety development program in terms of bread-making and nutritional quality. *Journal of Cereal Science*. 2025. Vol. 123. 104169. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104169>.
19. Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theor. Appl. Genet.* 2017. Vol. 130. P. 223–245. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3>
20. Kaya Y., Akcura M. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Sci Tech Camp.* 2014. Vol. 34, Issue 2. P. 386–393. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0041>
21. Bilgin O., Guzman C., Baser I., Crossa J., Korkut K.Z. Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey. *Crop Sci.* 2015. Vol. 56. P. 73–84. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0148>

22. Bouchetat F., Ghana R., Himour S., Bouaroudj S., Benfikh LA. Effect of genotype by environment interactions on quality parameters and grain yield of durum wheat. *Biodiversitas*. 2023. Vol. 24, No 10. P. 5565–5571. DOI: [10.13057/biodiv/d241038](https://doi.org/10.13057/biodiv/d241038)
23. Desheva G. Effects of genotype, environment and their interaction on quality characteristics of winter bread wheat. *Journal of Basic and Applied Research in Biomedicine*. 2016. Vol. 2, No 3. P. 363–372.
24. Denčić S., Mladeno N., Kobiljski B. Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *International Journal of Plant Production*. 2011. Vol. 5, No 1. P. 71–82. DOI: <https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.721>
25. Williams R.M., O'Brien L., Eagles H.A., Solah V.A., Jayasena V. The influences of genotype, environment, and genotype × environment interaction on wheat quality. *Aust. J. Agric. Res.* 2008. Vol. 59. P. 95–111. <https://doi.org/10.1071/AR07185>
26. Mikulíková D., Masár Š., Horváthová V., Kraic J. Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech Journal of Food Sciences*. 2009. Vol. 27, No 6. P. 403–417. DOI: 10.17221/96/2009-CJFS
27. Desheva G., Deshev M. Correlation and regression relationships between main grain quality characteristics in bread winter wheat. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2022. Vol. 87, No 2. P. 135–143. URI: <https://hrcak.srce.hr/279278> [in Croatian]
28. Park S.H., Bean S.R., Chung O.K., Seib P.A., Levels of Protein and Protein Composition in Hard Winter Wheat Flours and the Relationship to Breadmaking. *Cereal Chemistry*. 2006. Vol. 83. P. 418–423. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0418>
29. Mladenov N., Przulj N., Hristov N., Duric V., Milovanovic M., Cultivar-by-Environment Interactions for Wheat Quality Traits in Semiarid Conditions. *Cereal Chemistry*. 2001. Vol. 78. P. 363–367. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.363>
30. Mohammadi R., Armion M., Kahrizi D., Amri A. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *Journal of Plant Production*. 2010. Vol. 4, No 1. P. 11–24.
31. Tkachyk SO, editor. Methodology for qualification examination of plant varieties. Methods of determination of plant production quality parameters. 3rd revised and extended edition. Vinnytsia: FOP Korzun D.Yu., 2017. 159 p. URL: [https://www.sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl\\_2023.pdf](https://www.sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl_2023.pdf) [in Ukrainian]
32. Leonov O.Yu., Panchenko I.A., Skliarevskyi K.M. et al. Methodical guidelines on evaluation of grain quality in breeding material. Kharkiv : Instytut roslinnytstva im. V.Ya. Yurieva, 2011. 69 p. [in Ukrainian]
33. Ermantraut E.R., Hoptsi T.I., Kalenska S.M., Kryvoruchenko R.V., Turchynova N.P., Prysiazniuk O.I. Methods of breeding experimentation (in crop production). Kharkiv : KhNAU im. VV Dokuchaieva, 2014. 229 p. [in Ukrainian]
34. Usova Z., Leonov O.Y., Kozub N.O., Sozinov I.O. Identification of winter common wheat accessions of Kharkiv breeding by protein markers. *Fakty Ekspyrymentalnoi Evolutsii Orhanizmiv*. 2021. Vol. 29. P. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.7124/FEEO.v29.1406> [in Ukrainian]
35. Leonov O.Yu., Sharypina Ya.Yu., Usova Z.V., Suvorova K.Yu., Sakhno T.V. Allelic composition of puroindolinum genes and confectionery properties of flour of soft winter wheat samples. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Vol. 16, No 2. P. 217–225. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209258>
36. Derzhspozhyvstandart of Ukraine. Wheat. Specifications: State Standard of Ukraine (DSTU) 3768:2019. 2019. 19 p. [in Ukrainian]
37. Makarova O., Khvostenko K., Sokolova N., Fateeva A., Avetisian K. Pastry based on flour with specific characteristics. *Grain Products and Mixed Fodders*. 2022. Vol. 21, No 3. P. 21–28. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v21i3.2230>

Надійшла до редакції 15.05.2025 р.

Received 15.05.2025