

УДК 633.16«321». 004.12: 631.53.048: 631.816.1
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.17>

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ УМОВ СЕРЕДОВИЩА ЗА РІЗНИХ СТРОКІВ СІВБИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КОНСИСТЕНЦІЇ ЕНДОСПЕРМУ ЗЕРНІВКИ

Климишена Р.І. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри рослинництва, селекції та насінництва,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
orcid.org/0000-0002-4643-7895

Гораш О.С. – д.с.-г.н., професор,
професор кафедри рослинництва, селекції та насінництва,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
orcid.org/0000-0001-9418-0310

В забезпеченні якості зерна ячменю ярого важливу роль відіграють абіотичні умови: інтенсивність світла, тривалість світлового періоду доби, температурний режим повітря та ґрунту, які суттєво впливають на ріст і розвиток рослин, продуктивність, а також на якість вирощеного врожаю. **Мета досліджень** – встановити залежність технологічної якості ячменю на основі аналізу консистенції ендосперму зернівки в результаті впливу абіотичних факторів середовища за різних строків сівби в умовах південної частини Лісостепу Західного. **Методи.** Проведення дослідження відбувалося на основі використання наукових методів: лабораторний, аналітичний, математичний, конкретизації, узагальнення. Дослідження виконані впродовж 2020–2022 рр. в Закладі вищої освіти «Подільський державний університет». Об'єкт дослідження – сорт ячменю ярого Себастьян. Завдання дослідження полягає у вивченні процесів формування консистенції структури ендосперму зернівки, як окремої ознаки якості за потреби використання виробленої продукції для виробництва солоду. **Результати.** На основі технологічного аналізу консистенції ендосперму зернівки ячменю встановлено, що за впливу абіотичних факторів середовища в результаті організації п'яти строків сівби через кожних десять днів починаючи від першого проведеного 10 березня на фоні мінерального живлення $N_{30}P_{45}K_{45}$ відбувається поступово істотне зменшення борошністої консистенції та збільшення скловидної і напівскловидної консистенції. **Висновки.** Отримані результати показують, що умови абіотичного середовища відіграють важливу роль в забезпеченні якості зерна ячменю. В середньому за три роки досліджень за першого, другого, третього, четвертого та п'ятого строків сівби встановлені показники кількості зернин: борошністої консистенції – $94,7\% > 91,4\% > 88,0\% > 75,9\% > 64,1\%$; напівскловидної консистенції – $5,3\% < 8,6\% < 12,0\% < 17,6\% < 22,2\%$ та показники загальної скловидної консистенції – $2,7\% < 4,3\% < 6,0\% < 15,3\% < 24,8\%$.

Ключові слова: ячмінь ярий, строки сівби, консистенція ендосперму, умови середовища.

Klymyshena R.I., Horash O.S. Evaluation of the technological quality of spring barley under different sowing dates and environmental conditions based on kernel endosperm consistency

Abiotic conditions play an important role in ensuring the quality of spring barley grain: light intensity, duration of the light period of the day, temperature regime of air and soil, which significantly affect the growth and development of plants, productivity, as well as the quality of the grown crop. The study aimed to determine the dependence of spring barley technological quality on environmental abiotic factors under different sowing dates, with a focus on the analysis of kernel endosperm consistency in the southern part of the Western Forest-Steppe. **Methods.** The research was carried out during 2020–2022 at Podillia State University using laboratory, analytical, and mathematical methods, as well as specification and generalization approaches. The object of the study was the spring barley variety Sebastian. The research task was to investigate the processes of endosperm structure formation, considering endosperm

consistency as an individual quality trait important for assessing the suitability of grain for malt production. **Results.** The technological analysis of kernel endosperm consistency showed that under the influence of abiotic environmental factors, and with the introduction of five sowing dates at ten-day intervals starting from March 10 (with mineral nutrition $N_{30}P_{45}K_{45}$), a gradual and significant decrease in floury endosperm consistency was observed, accompanied by an increase in semi-vitreous and vitreous consistency. **Conclusions.** The findings demonstrate that abiotic environmental conditions play a crucial role in determining barley grain quality. On average, over three years of research, the proportions of kernels with floury consistency decreased progressively across sowing dates: $94.7\% > 91.4\% > 88.0\% > 75.9\% > 64.1\%$; semi-vitreous consistency increased: $5.3\% < 8.6\% < 12.0\% < 17.6\% < 22.2\%$; and vitreous consistency also increased: $2.7\% < 4.3\% < 6.0\% < 15.3\% < 24.8\%$.

Key words: spring barley, sowing dates, endosperm consistency, abiotic environmental factors.

Постановка проблеми. Відомо, що в забезпеченні якості зерна ячменю ярого важливу роль відіграють абіотичні умови – неживі компоненти зовнішнього середовища. До них належать такі фактори, як інтенсивність світла, тривалість світлового періоду доби (фотоперіод), спектральний склад світла за параметрами різної довжини хвиль, температурний режим повітря та ґрунту. Ці чинники суттєво впливають на ріст і розвиток рослин, визначають їх продуктивність і мають ключове значення для формування якості вирощеного врожаю.

Особливістю дії абіотичних факторів на біологічні об'єкти є те, що вони практично не піддаються регулюванню в процесі технології вирощування. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження присвячені вирощуванню ячменю ярого за різних строків сівби. Це дає змогу оцінити можливості забезпечення оптимальної потреби рослин у температурному та світловому режимах відповідно до їх біологічних особливостей. Такий підхід дозволяє максимально реалізовувати потенціал продуктивності культури у відповідності до найкращих умов факторів вегетації середовища та якості продукції орієнтуючись на потреби виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досить актуальні публікації щодо процесу росту та розвитку ячменю внаслідок впливу несприятливих абіотичних факторів середовища. Огляд літератури щодо впливу абіотичних факторів стресового характеру на зерно ячменю, включно з аналізом структури крохмалю (SEC-аналіз) і білкових компонентів засвідчує про те, що більшість досліджень фокусуються на врожайності і лише незначна частина спрямована на структуру ендосперму [1].

В літературних джерелах звертається увага на те, що посуха в період наливу зерна у зернових культур спричиняє порушення формування крохмалю, відбувається збільшення амілози, знижується в'язкість, утворюються «крихкі» гранули крохмалю і в кінцевому результаті настає деградація структури ендосперму [2, 3].

Дослідження показують, що в умовах нестачі вологи після цвітіння відбувається раннє завершення депонування крохмалю, зменшується розмір А-тип та число В-тип гранул, що впливає на консистенцію ендосперму і кінцеву якість зерна [4].

Особливої уваги надають окремі автори стресу під час процесу кушення або на початку виходу в трубку, який знижує продуктивність колоса і погіршує структуру зерна [5]. У польових експериментах показано, що стрес на стадії кушіння або початку стеблуння знижує число колосків і погіршує структуру зерна, а також відбуваються зміни вмісту білка і маси 1000 зернин. Такий результат засвідчує про пролонговану дію абіотичних факторів середовища через процеси обміну речовин на якість зерна за консистенцією ендосперму [6].

Встановлено, що в умовах Лісостепу України аномальні спеки та посухи в ранній весняний період впливають на якість эндосперму [7, 8, 9].

Негативний результат, щодо якості зерна ячменю за структурою эндосперму (тривалість наливу, щільність консистенції, маса зернівки) може відбуватися при стресах температурного характеру під час формування та розвитку генеративних органів. Температурний стрес під час розвитку квіток значно знижує фертильність, число зав'язей, і як наслідок, якість эндосперму – тривалість наливу, щільність і масу зерна [10].

Стресовий вплив під час наливу зерна ячменю змінює метаболізм, збільшується концентрація амінокислот та вміст білка, що прямо впливає на формування структури эндосперму. Стрес під час фази наливу зерна змінює метаболізм, збільшує концентрацію амінокислот, додає білка, знижує масу 1000 зернин. Показані зміни АВА-сигналізації та рН-регуляторів, що прямо впливають на структуру і розвиток эндоспермної тканини [11].

Біологічні особливості росту та розвитку сільськогосподарських культур характеризуються по-різному за реакцією на температурні умови, світловий режим, тривалість дня, співвідношення спектрів ультрафіолетової та інфрачервоної частин сонячного світла. Встановлено, що абіотичне середовище за впливом на процеси розвитку рослин ячменю ярого під час другого та третього етапів органогенезу відіграють ключову роль [12].

Набули поширення наукові дослідження про активність гена ячменю в умовах абіотичного стресу, який підвищує стресостійкість при підвищеній температурі, при цьому підтримує фертильність генеративних органів та енергетичний обмін [13]. Стаття показує, що активність гена PHOTOPERIOD1 (PPD-H1) не лише регулює час цвітіння, але й підвищує стресостійкість при високій температурі, підтримуючи фертильність генеративних органів й енергетичний обмін в умовах абіотичного стресу.

У зв'язку із глобальними та регіональними змінами кліматичних факторів, особливо відчутним виявився в європейському континенті посилений вплив засушливих умов на ріст та розвиток ячменю [14].

Особливої уваги надається питанню щодо вирощування ячменю у підборі за сезонними сигналами. Якщо прийняти до уваги, що в умовах західного Лісостепу традиційними строками сівби десятиліттями були строки першої декади квітня. Проте у зв'язку з потеплінням прихід тепла настає в кінці лютого – в першій декаді березня, що стало нормою. В наукових публікаціях підкреслюється про необхідність точного співпадіння розвитку з екологічними сигналами, що має критичне значення для урожайності в стресових умовах завдяки експресії генів (алелі Ppd-H1), які можуть забезпечити до 30% приросту. У зв'язку з цим актуальності набули дослідження вирощування ячменю ярого за різних строків сівби в умовах південної частини західного Лісостепу [15].

Встановлено, що посуха і температурний стрес, як поодиночі, так і в комбінації впливають на транскрипцію (зчитування інформації з матриці ланцюга ДНК на і РНК) спрямованої на синтез білків в зерні ячменю. Особливо важлива тут біологічна роль сонячного світла, не розсіяного за напрямком фотосинтетичного процесу, що забезпечує формування скловидної або напівскловидної структури эндосперму [16].

Найактуальніші відкриті дослідження стосуються впливу тривалості дня, спектрального складу світла на фази органогенезу ярого ячменю з акцентом на ранній та пізній репродуктивний стадії (SE – AI) [9]. Актуальність полягає в тому,

що досліджено вплив короткого дня на тривалість фенофаз (SE – AI міжнародна шкала органогенезу) [17], а також спектрального складу світла при короткому дні (друга половина березня та перша декада квітня) на активність фотоперіод-генів (HvVRN1, PPD-H1) на фазах раннього органогенезу. SE (Shoot Emergence) – фаза проростання й поява сходів, під час якої відбувається проростання насіння, вихід колеоптиля на поверхню ґрунту та формування перших листків. До настання фази AI відбувається процес кушення та формується осьова структура колоса, два складових елементи структури урожайності. Фаза AI (Awn Initiation) – закладання апексів на колосовому стрижні (початок репродуктивної програми), тобто це маркер переходу від вегетативного стану розвитку до генеративного.

За період від фази SE до AI світловий режим, фотоперіод і спектр світла сильно впливають на тривалість ранньої репродуктивної фази, оскільки саме тут закладається фінальна кількість листків і колосків. Фаза AI – Fw: фотоперіод та світловий спектр визначають інтенсивність росту стебла та розвиток квіток, що впливає на запилення і потенціал врожаю. Фаза Fw (Floret Widening / Flowering) – формування та диференціація квіток до цвітіння. Особливо сприятливі умови абіотичних факторів за раннього строку сівби, що сприяє максимальному рівню урожайності за якого формується борошниста консистенція ендосперму зернівки, як ознака належної технологічної якості в технології виробництва солоду.

Постановка завдання. Мета досліджень – встановити залежність технологічної якості ячменю на основі аналізу консистенції ендосперму зернівки в результаті впливу абіотичних факторів середовища за різних строків сівби в умовах південної частини Лісостепу Західного.

Об'єкт дослідження – сорт ячменю ярого Себастьян.

Організація дослідження відбувалася впродовж 2020–2022 рр. в Закладі вищої освіти «Подільський державний університет».

Завдання дослідження полягає у вивченні процесів формування консистенції структури ендосперму зернівки, як окремої ознаки якості за потреби використання вирощеної продукції для виробництва солоду. Строки весняної сівби: перший – 10 березня, другий – 20 березня, третій – 30 березня, четвертий – 9 квітня, п'ятий – 19 квітня. Норма висіву насіння – 250 шт./м². Фон мінерального живлення – N₃₀P₄₅K₄₅. Спосіб сівби звичайний рядковий, глибина загортання насіння в межах біологічних вимог.

Консистенцію ендосперму зернин ячменю визначали після попереднього замочування зерна у воді протягом 24 годин. Після підсушування відбирали по 100 зернівок для поперечного зрізу у триразовій повторності. Загальна скловидність зерна визначалася, як інтегральний показник, що характеризує стан ендосперму. Її обчислювали шляхом підсумовування кількості скловидних зернин та 50% від кількості напівскловидних. У випадках повної відсутності скловидних зернин значення загальної скловидності встановлювали лише, як 50% від кількості напівскловидних.

Для математичного аналізу отриманих результатів досліджень використано статистичний метод Duncan's Multiple Ranget [18].

Виклад основного матеріалу дослідження. Консистенцію ендосперму зернин ячменю забезпечує структура, яка формується в результаті ущільнення за поєднання крохмальних зернин з білковим компонентом. Цей процес залежить від сорту, його генетичної основи, абіотичних та агротехнологічних факторів [19, 20], а також від стартових умов формування агрофітоценозу ячменю – продуктивний

початковий розвиток, який, як правило, сприяє кращим результатам процесу формування борошністої структури ендосперму.

Наскільки залежить консистенція ендосперму зернин ячменю ярого від умов зовнішнього середовища в процесі вирощування є основним завданням цього дослідження. Упродовж трьох років за умов вирощування ячменю при першому строку сівби кількість зернин ячменю борошністої консистенції була максимальна – 94,7% (табл. 1).

Таблиця 1

**Вплив факторів вегетації на формування борошністої консистенції
ендосперму зерна ячменю ярого за різних строків сівби
на фоні мінерального живлення $N_{30}P_{45}K_{45}$, %**

№	Строк сівби	Борошніста консистенція			Гомогенні групи				
		2020	2021	2022	1	2	3	4	5
1	перший	96,3	93,7	94,0	***				
2	другий	93,3	91,0	90,0		***			
3	третій	90,0	87,7	86,3			***		
4	четвертий	74,0	77,7	76,0				***	
5	п'ятий	67,0	65,3	60,0					***

За впливом умов середовища при вирощуванні у другий строк сівби встановлено істотне зменшення зерна ячменю ярого борошністої консистенції за структурою ендосперму. Щорічно отримані показники були істотно меншими порівняно до тих, які отримані за першого строку сівби, відповідно вони розміщені у другій гомогенній групі. У 2020 році показник зменшився на 3,0%, у 2021 р. – на 2,7%, у 2022 р. – на 4,0%. Зміщення строку сівби ще на 10 днів, тобто на 30 березня спричинило через зміну умов абіотичних факторів істотний вплив на формування структури ендосперму зернівки. В результаті кількість зернин борошністої консистенції стала меншою: у 2020 та 2021 роках на 3,3% порівняно до даних отриманих за другого строку сівби, а у 2022 р. – на 3,7%. При сівбі у четвертий строк умови зовнішнього середовища в процесі розвитку рослин спричиняли до подальшого зниження показників якості зерна ячменю. Відповідно до років дослідження показаних у форматі табл. 1 встановлені показники були істотно меншими порівняно до даних отриманих за третього строку сівби, відповідно на 16,0%, 10,0% та 10,3%. І істотно найменші значення за встановленими достовірними різницями на основі застосування багаторангового критерію Дункана отримані при вирощуванні ячменю ярого в умовах вегетації за п'ятого строку сівби. Значення даних становлять 67,0%; 65,3%; 60,0%, де вони займають п'яту гомогенну групу.

Скловидних зернин ячменю під час аналізу структури ендосперму за абіотичних умов вегетації рослин при сівбі у перший, другий та третій строки не виявлено. Проте за четвертого строку сівби у 2020, 2021 та 2022 роках їх було 10,3%; 4,3% та 5,0%, а за п'ятого ще більше – 13,0%; 12,0% та 16,0%.

Процес формування напівскловидної консистенції ендосперму ячменю ярого за факторів вегетації відповідно п'яти строків сівби рівновіддалених на 10 днів розпочинаючи від першого проведеного 10 березня представлений даними у форматі табл. 2.

Таблиця 2

**Вплив факторів вегетації на формування напівскловидної консистенції
ендосперму зерна ячменю ярого за різних строків сівби
на фоні мінерального живлення $N_{30} P_{45} K_{45}$, %**

№	Строк сівби	Напівскловидна консистенція			Гомогенні групи				
		2020	2021	2022	1	2	3	4	5
1	перший	3,7	6,3	6,0	***				
2	другий	6,7	9,0	10,0		***			
3	третій	10,0	12,3	13,7			***		
4	четвертий	15,7	18,0	19,0				***	
5	п'ятий	20,0	22,7	24,0					***

В результаті проведеного аналізу відповідно років досліджень встановлено, що за першого строку сівби кількість зернин напівскловидної консистенції була найменшою 3,7%; 6,3%; 6,0%. За другого строку сівби їх було істотно більше. Відповідно встановлені показники 6,7%; 9,0% та 10,0%, які в статистичному аналізі відокремлені в другу гомогенну групу. На третьому варіанті досліду за строком сівби отримані показники становлять 10,0%; 12,3%; 13,7%, тобто умови середовища за цього строку сівби за впливом на розвиток рослин істотно забезпечували збільшення кількості напівскловидних зернин ячменю ярого на 3,3%; 3,3% та 3,7%, відповідно показаних років досліджень. Умови вегетації рослин ячменю за четвертого строку сівби спричиняли до подальшого збільшення кількості напівскловидних зернин. У 2020 р. їх було вже 15,7%, у 2021 р. – 18,0% і у 2022 р. – 19,0%. Встановлені показники займають окрему гомогенну групу, що свідчить про достовірні різниці порівняно від всіх інших значень даних отриманих в проведеному дослідженні. За п'ятого строку сівби напівскловидних зернин ячменю було виявлено найбільше – 20,0%; 22,7% та 24,0%. Порівняно до даних отриманих за четвертого строку сівби достовірні різниці становлять 4,3%; 4,7% та 5,0% у відповідності 2020, 2021 та 2022 років.

Вплив умов абіотичного середовища на якість зерна ячменю за інтегральним показником загальна скловидність консистенції ендосперму є також важливим критерієм оцінки технологічної якості вирощеної продукції. Отримані показники за проведеними розрахунками представлені значеннями даних у форматі табл. 3.

Доведено, що умови навколишнього середовища факторів вегетації за кожного строку сівби істотно впливали на формування скловидної структури ендосперму ячменю ярого. Зерно отримане за першого строку сівби характеризується істотно найменшим значенням показника загальної скловидності. Встановлені дані 1,8%; 3,2% та 3,0% відповідно зазначених років. За другого строку сівби умови вегетації істотно впливали на збільшення кількості такої структури ендосперму. В результаті показники займають другу гомогенну групу на основі проведених статистичних розрахунків. Аналіз даних зерна ячменю отриманого за третього строку сівби відповідно за впливом умов вегетації встановив збільшену загальну скловидність. Значення 5,0%; 6,2% та 6,8% утворюють окрему гомогенну групу, що засвідчує про істотну різницю порівняно до інших даних в проведеному статистичному аналізі. Умови розвитку рослин ячменю за четвертого строку сівби спричиняли до значного збільшення скловидної структури ендосперму зерна, так як в аналізі були виявлені зерна повністю скловидної консистенції. В результаті встановлено

істотно більші параметри показника загальна скловидність порівняно до даних отриманих за третього строку сівби. Відповідні значення становлять 18,2%; 13,3%; 14,5%, що істотно більше від попередніх значень на 13,2%; 7,1% та 7,7%. І за п'ятого строку сівби встановлено максимальні показники загальної скловидності ендосперму зерна ячменю 23,0%; 23,4% та 28,0%, відповідно у 2020, 2021 та 2022 роках. Вони займають окрему гомогенну групу, що засвідчує про істотну різницю порівняно до всіх інших даних в цьому аналізі якості ячменю за консистенцією ендосперму зернівки.

Таблиця 3

**Загальна скловидність зерна ячменю ярого за різних строків сівби
на фоні мінерального живлення $N_{30}P_{45}K_{45}$, %**

№	Строк сівби	Загальна скловидна консистенція			Гомогенні групи				
		2020	2021	2022	1	2	3	4	5
1	перший	1,8	3,2	3,0	***				
2	другий	3,4	4,5	5,0		***			
3	третій	5,0	6,2	6,8			***		
4	четвертий	18,2	13,3	14,5				***	
5	п'ятий	23,0	23,4	28,0					***

Отже, при вирощуванні ячменю ярого на фоні мінерального живлення $N_{30}P_{45}K_{45}$ в середньому за три роки досліджень за першого строку сівби кількість зерна з борошністою консистенцією становила 94,7%, за другого – 91,4%, за третього – 88,0%, за четвертого – 75,9%, за п'ятого – 64,1%. Зернин із скловидною консистенцією за результатами проведеного аналізу за першого, другого та третього строків сівби не виявлено. Умови впливу абіотичних факторів при четвертому строку сівби забезпечили кількість скловидних зернин 6,5%, за п'ятого строку сівби – 13,7% (табл. 4). Представлена частина зерна напівскловидної консистенції була найменшою за першого строку сівби 5,3% і найбільшою за умов вирощування при сівбі в п'ятий строк, де показник становив 22,2%. За умов впливу абіотичних факторів вегетації при другому, третьому та четвертому строках сівби в середньому за роки досліджень отримані значення становили 8,6%; 12,0% та 17,6%. За показником загальна скловидна консистенція також із відтермінуванням строків сівби на 10 днів, розпочинаючи від першого проведеного 10 березня, значення отриманих даних за розрахунками стабільно стало істотно більшим.

Висновки. Встановлено закономірність істотних змін структури консистенції ендосперму зернівки від впливу абіотичних факторів середовища в процесі вирощування ячменю за п'яти строків сівби з відтермінуванням через кожних наступних 10 днів розпочинаючи від першого проведеного 10 березня. В результаті такого впливу поступово зменшується кількість борошністих зернин та збільшується кількість напівскловидних.

В середньому за три роки досліджень за першого, другого, третього, четвертого та п'ятого строків сівби встановлені показники кількості зернин: борошністої консистенції – 94,7% > 91,4% > 88,0% > 75,9% > 64,1%; напівскловидної консистенції – 5,3% < 8,6% < 12,0% < 17,6% < 22,2% та показники загальної скловидної консистенції – 2,7% < 4,3% < 6,0% < 15,3% < 24,8%.

Таблиця 4

Характеристика ячменю за консистенцією ендосперму зернин залежно від впливу абіотичних умов середовища за різних строків сівби на фоні мінерального живлення $N_{30-45}P_{45}K_{45}$, % (середнє за 2020–2022 рр.)

Строки сівби	Консистенція			
	Борошніста	Скловидна	Напівскловидна	Загальна скловидна
Перший	94,7	0	5,3	2,7
Другий	91,4	0	8,6	4,3
Третій	88,0	0	12,0	6,0
Четвертий	75,9	6,5	17,6	15,3
П'ятий	64,1	13,7	22,2	24,8

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Gous P.W., Gilbert R.G. & Fox G.P. Drought-proofing barley (*Hordeum vulgare*) and its impact on grain quality: A review. *Journal of the Institute of Brewing*. 2015. Vol. 121, Issue 1. P. 19-27. <https://doi.org/10.1002/jib.187>
2. Barnabás B., Jäger K. & Fehér A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*. 2008. Vol. 31, Issue 1. P. 11-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x>
3. Kim K.-H. & Kim J.-Y. Understanding Wheat Starch Metabolism in Properties, Environmental Stress Condition, and Molecular Approaches for Value-Added Utilization. *Plants*. 2021. 10(11): 2282. <https://doi.org/10.3390/plants10112282>
4. Fábíán A., Jäger K., Rakszegi M. & Barnabás B. Embryo and endosperm development in wheat (*Triticum aestivum* L.) kernels subjected to drought stress. *Plant Cell Reports*. 2011. Vol. 30. P. 551-563.
5. Prado S.A., Giménez V.D., Ciancio N., Alzueta I., Serrago R.A. & Miralles D.J. Grain growth and development in wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.): Coordination between water content and source/sink ratio. *Field Crops Research*. 2023. Vol. 302. Article 109100. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109100>
6. Filip E., Woronko K., Stępień E. & Czarniecka N. An Overview of Factors Affecting the Functional Quality of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, Issue 8. P. 7524. <https://doi.org/10.3390/ijms24087524>
7. Lakhneko O., Stasik O., Škultéty L., Kiriziy D., Sokolovska-Sergiienko O., Kovalenko M. & Danchenko M. Transient drought during flowering modifies the grain proteome of bread winter wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. 1181834. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1181834>
8. Shirdelmoghanloo H., Chen K., Paynter B.H., Angessa T.T., Westcott S., Khan H.A., Hill C.B. & Li C. Grain-Filling Rate Improves Physical Grain Quality in Barley Under Heat Stress Conditions During the Grain-Filling Period. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.858652>
9. Högy P., Poll C., Marhan S., Kandeler E. & Fangmeier A. Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley. *Food Chemistry*. 2013. Vol. 136, Issue 3-4. P. 1470-1477. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.056>
10. Callens C., Fernandez-Gómez J., Tucker M.R., Zhang D. & Wilson Z.A. Heat stress responses vary during floret development in European spring barley cultivars. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. 918730. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.918730>

11. Nagel M., Arc E., Rajjou L., Cueff G., Bailly M., Clément G., Sanchez-Vicente I., Bailly C., Seal C.E., Roach T., Rolletschek H., Lorenzo O., Börner A. & Kranner I. Impacts of drought and elevated temperature on the seeds of malting barley. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. 1049323. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1049323>
12. Parrado J.D., Savin R. & Slafer G.A. Dynamics of apex and leaf development in barley as affected by *PPD-H1* alleles in two contrasting *PHYC* backgrounds under short or long photoperiod. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. 1398698. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1398698>
13. Lan T., Walla A., Colpan Karisan K.E., Buchmann G., Wewer V., Metzger S., Vardanega I., Haraldsson E.B., Helmsorig G., Thirulogachandar V., Simon R. & von Korff M. PHOTOPERIOD 1 enhances stress resistance and energy metabolism to promote spike fertility in barley under high ambient temperatures. *Plant Physiol*. 2025. 197(4). 118. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiaf118>
14. Hlisnikovský L., Žemanová V., Roman M., Menšík L. & Kunzová E. Long-Term Study of the Effects of Environment, Variety, and Fertilisation on Yield and Stability of Spring Barley Grain. *Plants*. 2024. 13(19). 2745. <https://doi.org/10.3390/plants13192745>
15. Wiegmann M., Maurer A., Pham A., March M.J., Al-Abdallat A., Thomas W.T.B., Bull H.J., Shahid M., Eglinton J., Baum M., Flavell A.J., Tester M. & Pillen K. Barley yield formation under abiotic stress depends on the interplay between flowering time genes and environmental cues. *Scientific Reports*. 2019. 9. 6397. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42673-1>
16. Kempa M., Mikołajczak K., Ogrodowicz P., Pniewski T., Krajewski P. & Kuczyńska A. The impact of multiple abiotic stresses on *ns-LTP2.8* gene transcript and *ns-LTP2.8* protein accumulation in germinating barley (*Hordeum vulgare* L.) embryos. *PLoS ONE*. 2024. 19(3). e0299400. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299400>
17. Waddington S.R., Cartwright P.M. & Wall P.C. A quantitative scale of spike initial and pistil development in barley and wheat. *Ann. Bot.* 1983. 59, 119–130. doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a086434
18. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.І. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: Українська академія аграрних наук, 2007. 55 с.
19. Гораш О.С., Климишена Р.І. Вплив позакореневого підживлення рослин пивоварного ячменю на структуру консистенції ендосперму зерна. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 1. Т. 98. С. 25–31. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202001-04>
20. Гораш О.С. Характеристика сортів пивоварного ячменю за консистенцією структури ендосперму зернівки. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії*. 2005. Том 4 (23). С. 31-36.

Дата першого надходження рукопису до видання: 15.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 23.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025