

Визначення критичних фаз озимих злакових культур на основі міжнародних уніфікованих шкал росту й розвитку

 О. І. Присяжнюк*,  Н. О. Кононюк,  О. Ю. Половинчук,  В. В. Мусіч,
 О. М. Гончарук,  П. Ю. Волошин,  О. А. Маляренко,  О. П. Шевченко

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Мета. Установити закономірності росту й розвитку озимих злакових культур та визначити критичні періоди їх вегетації за реакцією на несприятливі фактори середовища. **Методи.** Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (50.023194, 30.173895) упродовж 2020–2024 рр. **Результати.** Найкритичнішими періодами для росту й розвитку озимих культур є проростання та кушення, оскільки вони відіграють ключову роль у підготовці рослин до перезимівлі. Водночас несприятливі фактори, які впливають на рослини взимку, не є критичними, оскільки за достатнього рівня накопичення цукрів і належного розвитку рослин у Лісостепу України малоімовірним є настання таких умов, які могли б призвести до їх загибелі. Натомість найчастіше критичні стани посівів, які потребують контролю, виникають у період – від весняного відростання до цвітіння. Саме в цей час формуються основні елементи структури майбутнього врожаю, тож рослини можуть доволі суттєво знизити свою потенційну продуктивність. Основні стрес-фактори, як-от дефіцит вологи в ґрунті та нестача елементів живлення, можна своєчасно діагностувати за допомогою сучасних приладів. Водночас питання своєчасного застосування засобів захисту не викликає жодних сумнівів, оскільки вони є важливим складником усіх сучасних технологій вирощування. **Висновки.** Для озимих злакових культур найбільш критичними стадіями росту й розвитку за нестачі вологи є ВВСН 00–09, 30–32, 41–69, за високої температури повітря – ВВСН 70–89, а за дефіциту елементів живлення, зокрема азоту, – ВВСН 29, 33–36. У ці періоди рослини особливо вразливі до впливу абіотичних стрес-факторів, що може суттєво знизити їхню продуктивність.

Ключові слова: ВВСН; шкала Куперман; шкала Задокса; шкала Фікеса; шкала Хауна.

Вступ

Фенологія описує послідовність та тривалість фаз життєвого циклу рослин, а фенологічні спостереження за сільськогосподарськими культурами є основою для моніторингу їхнього розвитку й оцінювання продуктивності. Дослідження фенологічних фаз дає змогу кількісно оцінити реакцію рослин на дію кліматичних факторів (температуру, вологість, фотоперіод) та на агротехнічні заходи, наприклад, внесення добрив, застосування регуляторів росту, зрошення тощо [1–3]. Управління тривалістю вегетації є важливим агрономічним інструментом, який дає змогу адаптувати розвиток рослин до конкретних кліматичних умов. Наприклад, збільшення тривалості вегетаційного періоду може покращити показники фотосинтезу, біомаси й урожайності [4, 5]. Регулюючи тривалість вегетації, агроном може як прискорити розвиток рослин, і таким чином сприяти проходженню ними певного етапу вегетації швидше, щоб рослини не потрапили під вплив несприятливих факторів навколишнього середовища, так і сповільнити його, запобігаючи впливу невідвортної засухи або надмірно високих чи низьких температур. А визначення фенологічних дат досягання культур потрібне для прогнозування врожайності [6–8].

На місцевому рівні, точне визначення настання фенологічних фаз є необхідним для планування агротехнічних заходів. Воно дає змогу оптимізувати використання ресурсів, знижуючи витрати та підвищуючи ефективність управління сільськогосподарськими культурами [2]. На регіональному ж рівні, спостереження за щорічними змінами в датах проходження фенологічних стадій і тривалості вегетаційного періоду має важливе значення для оцінки змін клімату та їхнього впливу на сільськогосподарське виробництво [3, 9, 10]. Такі дослідження дають змогу виявити закономірності в адаптації культур до нових кліматичних умов, прогнозувати зміни врожайності та розробляти адаптаційні стратегії. Фенологію посівів можна контролювати за допомогою польового скаутингу, методу термічних одиниць, як-от градусо-дні вирощування (GDD) і теплові одиниці Цельсія (CHU) [1, 11], та супутникових даних. Застосування супутникових даних є потужним інструментом для відстеження фенологічних фаз на великих площах та в регіональному масштабі, забезпечуючи отримання даних про стан посівів у режимі реального часу та можливість оцінювання їхнього розвитку через аналіз спектральних характеристик зображень [12–14].

В умовах глобальних змін клімату суттєвої трансформації зазнала й погода взимку, коли чергуються теплі та прохолодні періоди, зі значно меншою товщиною або ж узагалі відсутністю снігового покриву. Тому культури, що зимують вегетативно, піддаються більшому ризику бути знищеними від дії несприятливих погодних умов у найкритичніший період мінімально можливого впливу як з боку агротехнологій, так і здатності самих рослин оперативного зменшити шкідливий вплив отриманих пошкоджень.

У контексті глобальних змін клімату, на території України суттєвих змін зазнала й погода взимку, яка тепер характеризується чергуванням теплих і холодних періодів, значно меншою товщиною або навіть повною відсутністю снігового покриву. Ці зміни створюють серйозні загрози для озимих культур. Відсутність захисного снігового покриву або різке коливання температури може заподіяти шкоду рослинам, оскільки здатність рослин реагувати на подібні несприятливі фактори є обмеженою. Ефективність агротехнічних заходів за таких умов теж буде обмеженою – іноді неможливо компенсувати шкоду, заподіяну посівам несприятливими погодними умовами. Після відновлення вегетації озимі злакові культури потрапляють у невідворотний вир подій – агроном вже не має таких можливостей як з ярими культурами – перенести строки сівби і в такий спосіб оминати несприятливі погодні умови. Тому вивчення впливу погодних умов на озимі злаки в холодний період є дуже важливим для оптимізації агротехнічних заходів і запобігання потенційним втратам урожаю.

Мета досліджень – установити закономірності росту й розвитку озимих злакових культур та визначити критичні періоди за реакцією на несприятливі фактори середовища.

Матеріали та методика досліджень

Місце й характеристика ґрунту

Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (50.023194, 30.173895) у 2020–2024 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку з умістом гумусу 2,58 % (за Тюрнімом), лужногідролізованого азоту – 176 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію – 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чиріковим), рН_{сол.} 6,75, сумою ввібраних основ 305 мг-екв/кг ґрунту та гідролітичною кислотністю 9,1 мг-екв/кг. Уміст гумусу й лужногідролізованого азоту середній, рухомого фосфору – високий, калію – підвищений.

Погодні умови

У 2019 році перша декада вересня була істотно теплою, опади нижче норми. Загалом без суттєвих відхилень. Жовтень: друга декада екстремально тепла, третя – істотно тепла, з нестачею опадів. Листопад: перші дві декади істотно теплі, третя – прохолодна, місяць загалом сухий. Грудень: третя декада істотно прохолодна, опади без значних відхилень.

Січень 2020 року: друга і третя декади – теплі, загалом місяць тепліший за норму; дефіцит опадів у перших двох декадах, надлишок у третій. Лютий: показники близькі до норми. Березень: перша і друга декади істотно теплі, третя – прохолодна; опади в межах норми. Квітень: істотно тепла лише третя декада, дефіцит опадів. Травень: істотно прохолодні друга й третя декади; надлишок опадів у першій і третій декадах. Червень 2020 року: друга і третя декади екстремально теплі; місяць загалом посушливий. Липень: перша і третя декади спекотні; друга – з дефіцитом опадів. Серпень: третя декада істотно жарка; друга – суха, третя – з надлишком опадів. Вересень: увесь місяць тепліший за норму; у першій декаді дефіцит опадів, у третій – надлишок. Жовтень: перша і третя декади аномально теплі й вологі. Листопад: перша і друга декади – прохолодні (друга – істотно), третя – тепла; опади близькі до норми. Грудень: температура повітря без значних відхилень; загалом місяць із дефіцитом опадів.

Січень 2021 року: друга декада – значно прохолодніша за норму; у третій декаді – надлишок опадів. Лютий: перша і друга декади – значно холодніші, у першій декаді – надлишок опадів. Березень: загалом прохолодний місяць; дефіцит опадів у третій декаді. Квітень: третя декада екстремально тепла. Травень: друга декада – з великою кількістю опадів, перша й остання – близькі до норми. Червень 2021 року: друга декада – істотно тепла, третя – екстремально жарка; значний дефіцит опадів. Липень: перша і третя декади – екстремально жаркі, друга – істотно тепліша; дефіцит опадів у першій і третій декадах. Серпень: перша декада – екстремально тепла, друга – значно відрізняється від норми; дефіцит опадів у другій декаді. Вересень 2021 року: третя декада – прохолодна; опади нижчі норми у першій декаді. Жовтень: температурні показники близькі до норми; дефіцит опадів у першій і третій декадах. Листопад: типові погодні умови; у другій декаді – дефіцит опадів. Грудень: перша декада істотно тепла, друга – прохолодна; опади значно перевищили норму в першій і третій декадах.

Січень 2022 року: Третя декада значно холодніша за норму, опади близькі до норми. Лютий: загалом близький до норми, хоча опадів за місяць було недостатньо. Березень: перші дві декади істотно холодні; у першій декаді надлишок опадів. Квітень і травень: близькі до норми, лише перша декада травня суха. Червень: усі декади мали підвищені температури; значний дефіцит опадів. Липень: перша декада екстремально тепла; дефіцит опадів у третій декаді. Серпень: друга і третя декади істотно теплі; у першій декаді надлишок опадів, у третій – їх дефіцит. Вересень: перша декада прохолодна; всі декади мали надлишок опадів. Жовтень: третя декада значно тепліша за норму; загальний рівень опадів близький до норми. Листопад: температура без значних відхилень; друга і третя декади з надлишком опадів. Грудень: температура в межах норми; друга декада з великою кількістю опадів.

Січень 2023 року: подекадні відхилення в межах норми; середньомісячна температура дещо перевищувала норму. Лютий: третя декада значно холодніша; у третій декаді велика кількість опадів. Березень: третя декада з надлишком опадів. Квітень: загалом близький до норми; перша декада дуже волога. Травень: перша декада прохолодна і суха. Червень: температура близька до норми; друга декада з дефіцитом опадів, третя – з надлишком. Липень: перша декада спекотна; опади близькі до норми. Серпень: усі декади екстремально спекотні; дефіцит опадів у першій і другій декадах. Вересень: друга декада значно тепліша за норму, у третій – дефіцит опадів. Жовтень: третя декада екстремально тепла; у третій декаді надлишок опадів. Листопад: перша декада з підвищеною температурою і кількістю опадів; друга й третя декади теплі, у третій – дефіцит опадів. Грудень: тепліший за норму, третя декада з дефіцитом опадів.

Січень 2024 року: перша декада прохолодна; надлишок опадів у перших двох декадах. Лютий: загалом теплий; перша і третя декади значно тепліші за норму; друга – з великою кількістю опадів. Березень: третя декада тепла; опади розподілені нерівномірно (дефіцит у першій декаді, надлишок у другій). Квітень: екстремально теплий; у другій і третій декадах надлишок опадів. Травень: друга декада прохолодна, третя – тепла; у першій декаді дефіцит опадів. Червень: високі температури у другій і третій декадах; дефіцит опадів у третій.

Липень: всі декади екстремально спекотні; значний дефіцит опадів. Серпень: спекотний, у першій декаді надлишок опадів, у другій і третій – дефіцит.

Отже, період 2019–2024 рр. характеризувався частими температурними аномаліями, переважно у бік потепління, та значними коливаннями рівня опадів (як дефіцит, так і надлишок у різні періоди).

Дослідження проводили згідно із загальноприйнятими методиками [15, 16].

Результати досліджень

Проблематика визначення фаз росту й розвитку озимих злакових культур не є новою, і над розроблянням різних шкал працювали численні дослідники, зокрема Ф. М. Куперман [17], W. Feekes [18], C. Keller, M. Baggolini [19], J. C. Zadoks [20], J. R. Haun [21]. Вони представили різні підходи до класифікації фаз, проте між ними є деякі відмінності, які важливо врахувати. Це стосується як наукових, так і практичних аспектів застосування цих шкал. Оскільки в подальших дослідженнях важливо вибрати найточнішу шкалу, яка одночасно підходить для наукових робіт, сільськогосподарського виробництва та цифрових технологій, доцільно розглянути особливості кожної з них і визначити, яка найбільше відповідає сучасним вимогам.

Наразі найбільш точною та повною є шкала ВВСН [22], що розшифровується як «Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie». Проте, цю шкалу слід порівняти зі шкалою Ф. М. Куперман [17], згідно з якою в озимих злаків виокремлюють 12 етапів органогенезу (табл. 1). Як видно, складні етапи, що потребують проведення мікроскопічних досліджень для визначення наявності конусу, його диференціації тощо, можна зіставити зі шкалою ВВСН з достатнім рівнем точності, що усуває потребу в додаткових дослідженнях.

Варто відзначити, що ВВСН – це не одна шкала, а ціла її серія, розроблена для різних видів сільськогосподарських культур. Вона побудована таким чином, що фенологічні фази, не типові для певних видів, або пропущені, або ж мають інші назви. Водночас усі шкали серії об'єднують те, що в них застосовується система десяткового коду. Натомість у шкалі Куперман є 12 етапів органогенезу, причому дещо з нерівномірним висвітленням усіх станів рослин, особливо на початковому етапі проростання насіння та на останньому – відмирання рослини. У шкалі Куперман серед усіх етапів органогенезу вісім етапів належать до вегетативного періоду, коли формуються елементи продуктивності рослин, зокрема кількість стебел, колосів, квіток у колосі тощо, і чотири етапи – до генеративного, що включають цвітіння, запліднення та формування насіння.

Тобто, шкала була розроблена насамперед для культур, де важливо отримати велику кількість елементів продуктивності, і які не здатні абортувати квітки чи боби, як це відбувається у бобових рослин за впливу несприятливих погодних умов. Зіставлення шкал ВВСН і Куперман, а також елементи продуктивності, які можна покращити у кожній із фаз, наведено в таблиці 1

Таблиця 1

Етапи органогенезу, фази росту й розвитку та елементи продуктивності озимих злакових культур

Фенологічна фаза	Міжнародна шкала ВВСН	Етапи органогенезу за Куперман		Які елементи рослин можна змінити	Якими агротехнічними заходами можна покращити продуктивність
		№ етапу	формування на ембріональному рівні		
1	2	3	4	5	6
Макростадія: Проростання	00–09			Енергія проростання та схожість насіння	Попередник, підготовка ґрунту, якість сівби, удобрення та ін.
Суха насіннина	00				
Поява зародкового корінця	05				
Поява колеоптиле	07				

РОСЛИНИЦТВО

<i>Продовження таблиці 1</i>					
1	2	3	4	5	6
Макростадія: Розвиток листків	10–19	I	простого конуса наростання	Розвиток кореневої системи, рівномірний ріст рослин	Передпосівний обробіток ґрунту, рівномірність і глибина загортання насіння
Вихід першого листка крізь колеоптиле	10				
Розгорнутий перший листок	11				
... другий листок	12				
... третій листок	13	II	Початок інтенсивного диференціювання конуса наростання. закладаються зачаткові стеблові вузли й міжвузля, листки у вигляді валиків	Висота рослин, кількість листків, коефіцієнт кушення, зимостійкість	Попередник, строки та норма витрати насіння, доступність P ₂ O ₅ і K ₂ O у ґрунті, внесення регуляторів росту
... четвертий та наступні листки	14–19				
Макростадія: Кушення	20–29				
Бічний пагін у піхві листка	20				
Початок кушення, один бічний пагін	21	III	Диференціювання головної осі зародкового суцвіття на майбутні членики колосового стрижня	Кількість члеників колосового стрижня, довжина колоса	Підживлення азотними добривами збільшує кількість сегментів стрижня
Повне кушення, до шести пагонів	25				
Кушення завершено. Бокові пагони продовжують розвиватися та випрямлятися	29	IV	конусів II порядку, колоскових горбочків, перетворення їх у колос II порядку за достатку азоту та зниженні температури до 10–12 °С	Кількість колосків у колосі	Внесення азоту може подвоїти кількість зерен у колосі. За потреби слід застосовувати препарати проти вилягання, гербіциди та фунгіциди
Макростадія: Стеблуння	30–39				
Початок подовження стебла	30				
Перший вузол вище на 1 см вузла кушення	31	V	Закладання покривних лусок, тичинок, маточки і приймочок	Кількість квіток у колосках з 2–3 до 4–5 шт.	Доступність азоту
Другий вузол на 2 см вище першого вузла	32				
Третій-шостий вузли вище на 2 см від попереднього вузла	33–36	VI	Закінчення диференціювання колосу, формування пиляків та приймочок	Фертильність квіток (здатність їх до запилення)	Доступність усіх елементів живлення, особливо фосфору
Поява прапорцевого листка	37	VI–VII	Подовження члеників колосового стрижня та покривних тканин. Гаметофітогенез, яйцеклітин і пилкових зерен	Фертильність квіток. Щільність колоса (за сонячної погоди колос щільний, а за хмарної – нещільний)	Дотримання всього комплексу технологічних вимог. Застосування фунгіцидів підвищує врожай на 20–30 %
Поява язичка (лігули) прапорцевого листка	39	VII			
Макростадія: Вихід у трубку	41–49				
Набрякання оболонки прапорцевого листка	45				
Піхва лопається, з'являється колос	47–49				

РОСЛИННИЦТВО

<i>Продовження таблиці 1</i>					
1	2	3	4	5	6
Макростадія: Колосіння	51–59	VIII	Гаметогенез, завершення формування квіток. Продовжує рости верхнє міжвузля	Фертильність квіток	Азотне підживлення для якості зерна, фунгіцидний захист
Початок колосіння, видно перший колосок	51				
Видно половину колоса	55				
Колос видно повністю	59				
Макростадія: Цвітіння	61–69	IX	Цвітіння, запліднення, утворення зиготи	Озерненість колоса	Оптимальні агротехнічні умови
Початок цвітіння, з'являються перші пиляки	61				
Повне цвітіння, достигло 50 % пиляків	65				
Кінець цвітіння, більшість колосків відцвіло	69				
Макростадія: Розвиток зерна	70–79	X	Ріст і формування зернівки, зародок та ендосперм збільшуються		
Формування зерна. Уміст зернівки водянистий	70				
Рання молочна стиглість	73	XI	Зернівки збільшуються, вміст молокоподібний	Маса 1000 зерен. Натура зерна	Позакореневі підживлення
Середня молочна стиглість	75				
Пізня молочна стиглість	77				
Макростадія: Достигання	80–89	XII	Накопичення пластичних речовин у зерні	Маса зернівки	
Рання воскова стиглість	83				
Воскова стиглість	85				
Жовта стиглість	87				
Макростадія: Відмирання	90–99	XII	Перетворення пластичних речовин у запасні		
Зернівка тверда, рослина відмирає, повністю висихає	91				
Мертва стиглість	92				
Період спокою зернівки	95				
Схожість зернівок 50 %	96				
Вихід зернівок із періоду спокою	97				
Початок другого періоду спокою	98				
Завершення другого періоду спокою	99				

Загалом шкала Куперман є досить цінним інструментом для оцінювання розвитку сільськогосподарських культур, однак зі збільшенням обсягу знань про ріст і розвиток рослин вона стає менш придатною для комплексного аналізу їхнього стану.

Шкала ВВСН базується на системі кодів розвитку зернових культур Задокса (Zadoks) [20]. Тож у ній визначено 10 первинних стадій розвитку рослин, (10...30...50...), кожна з яких, своєю чергою, має 10 вторинних (11...14...17... 21...24...27...). У підсумку, обидві шкали є аналогічними за загальною кількістю стадій розвитку – 100 (табл. 2).

Основна відмінність шкали Задокса від ВВСН полягає в тому, що вона орієнтована виключно на зернові культури, тоді як остання є більш універсальною та широко використовуваною системою. Водночас у певних випадках застосування шкали Задокса залишається доцільним.

Шкала Фікеса (Feekes) була запропонована нідерландським агрономом Віллемом Фікесом у 1941 р. [18] і досі використовується в США. Вона визначає 11 стадій розвитку зернових культур, де стадія 1 – паростки (від появи шильця до трьох листків), а 11 – наливу зерна. Шкала Фікеса особливо докладно описує етапи, що відповідають ВВСН 11–19

(розвиток листового апарату) та 31–59 [від появи першого вузла (стадія 6) до завершення колосіння (стадія 10.5)]. Саме ці стадії є критичними для правильного визначення строків унесення фунгіцидів і добрив.

Модифікацією шкали Фікеса є шкала Баджоліні (Baggiolini) [19], де стадії розвитку рослин закодовані літерами. При цьому, більше уваги приділяється періодам від появи першого до третього листка та завершення кушення до початку подовження стебла, а також окремим фазам, як-от початок та завершення колосіння, початок цвітіння, рання молочна стиглість.

Цікава для порівняння і шкала Хауна (Haun) [21], яка є корисною для деталізації вегетативних фаз росту. Вона охоплює 16 стадій розвитку злакових культур, де стадія 1 – поява першого справжнього листка, а 16 – завершення досягання зерна та відмирання рослини.

Подібно до шкали Фікеса, у ній досить докладно відображено етапи розвитку рослин, що відповідають ВВСН стадіям 11–18 (утворення листків) та 55–60 (колосіння). Натомість дещо менше уваги приділяється таким періодам, як цвітіння та молочна стиглість зерна. Зіставлення стадій росту й розвитку рослин за згаданими шкалами наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння міжнародних шкал фаз росту й розвитку рослин

Шкала				
Задокса (Zadoks)	Фікеса (Feekes)	Хауна (Haun)	Баджоліні (Baggiolini)	ВВСН
1	2	3	4	5
00				00
01				01
03				03
05				05
07				07
09		0.0		09
10	1		A	10
11	1.1	1.+	B	11
12	1.2	1.+	C	12
13	1.3	2.+	D	13
14	1.4	3.+		14
15	1.5	4.+		15
16	1.6	5.+		16
17	1.7	6.+		17
18	1.8	7.+		18
19	1.9			19
20				20
21	2		E	21
22				22
23				23
24				24
25	3		F	25
26				26
27				27
28				28
29	4		C	29
30	5		H	30
31	6		I	31
32	7		J	32
33	7			33
34	7			34
35	7			35

РОСЛИНИЦТВО

<i>Продовження таблиці 2</i>				
1	2	3	4	5
36	7			36
37	8		K	37
39	9			39
40				40
41		8-9		41
43	10			43
45	10.1	9.2	M	45
47	10.1			47
49	10.1	10.1		49
50	10.1	10.2		50
51	10.2		N	51
53	10.2			53
55	10.3	10.5		55
57	10.4	10.7		57
59	10.5	11.0	O	59
60	10.5.1	11.4		60
61			P	61
65	10.5.2	11.5		65
69	10.5.3	11.6		69
70				70
71		12.1		71
73	10.5.4	13.0	R	73
75			S	75
77	11.1			77
80				80
83		14.0		83
85	11.2		T	85
87	11.3	15.0	U-V	87
90				90
91			V	91
92	11.4	16.0		92
93				93
94				94
95				95
96				96
97				97
98				98
99				99

Отже, більшість шкал розвитку озимих зернових, окрім ВВСН, фокусуються на окремих критичних періодах росту й розвитку рослин, залишаючи поза увагою загальну картину. Однак, для повноцінного прогнозування продуктивності культури важливо враховувати всі етапи її розвитку. Для практичного застосування – для внесення добрив або засобів захисту – прості шкали мають перевагу простоти – в них простіше орієнтуватися. Проте, для наукових досліджень та моделювання продуктивності культур вони менш придатні, оскільки не враховують певні ключові стадії росту й розвитку, які мають біологічне значення. Тому, в подальшій роботі будемо використовувати шкалу ВВСН, що якнайповніше відображає біологічні зміни рослин, є уніфікованою та гнучкою, а також придатною для комп'ютерного моделювання росту й розвитку рослин.

Узагальнено можна стверджувати, що озимі злакові культури, на відміну від однорічників, проходять не два, а три етапи росту й розвитку. Перший етап триває приблизно шість місяців – від фази ВВСН 00 (проростання) до ВВСН 29 (завершення кущення). Причому оптимальним є, коли кущення не завершується восени, а продовжується навесні, оскільки це запобігає надмірному переростанню рослин, що може спричинити втрату вегетативної маси через несприятливі умови або хвороби.

Висяєне насіння зазвичай протягом 3–4 діб поглинає необхідну для проростання кількість вологи, після чого починає ріст, і за оптимальних умов сходи з'являються через 7–9 діб або навіть раніше. Важливо також, щоб у шарі ґрунту 0–10 см уміст вологи становив не менше ніж 16–19 % від найменшої польової вологосємкості, оскільки зниження цього показника вже до 12–15 % затримує появу сходів, а при 9–11 % насіння під час проростання може загинути через дефіцит вологи. Крім того, рослини, що розвивалися за умов нестачі вологи восени, мають знижену зимостійкість через недостатній розвиток фотосинтетичного апарату та низький рівень накопичення цукрів.

Кущення починається через 12–15 діб після появи сходів і характеризується, передусім, інтенсивним розвитком кореневої системи, добовий приріст якої досягає 1,5–1,7 см. Це єдина фаза, що розпочинається восени й триває до весни. Оптимальним для входження рослин у зиму вважається формування трьох-чотирьох стебел, тоді як решта (до 20 %) стебел утворюється вже навесні. Фаза кущення триває 35–40 діб і потребує суми активних температур у межах 520–670 °С. Для її ефективного проходження важливе мінеральне живлення, зокрема застосування добрив (NPK)_{45–60}, яке сприяє підвищенню коефіцієнта кущення з 3,3 до 6,6 та збільшенню кількості продуктивних стебел з 348 до 410.

Навесні відновлення вегетації озимих злакових культур розпочинається за температури повітря +3–4 °С, причому впродовж зими нерідко трапляються «вікна», коли рослини можуть підростати. Це особливо характерно для пізніх посівів, що ввійшли в зиму недорозвиненими, або ж надмірно розвинених посівів, у яких виникає гостра конкуренція за фактори живлення, зокрема світло, вже на ранніх етапах розвитку.

Початок колосіння залежить від погодних умов, строків сівби та біологічних особливостей сорту, але зазвичай ця фаза настає через 25–28 діб після початку виходу рослин у трубку. Календарно це відповідає кінцю травня – початку червня.

Фаза цвітіння триває 4–7 діб і зазвичай розпочинається через 3–4 доби після колосіння. Спочатку розцвітають квітки, розташовані в середній частині колоса, після чого цвітіння поширюється вниз і вгору. Квітки, що розцвітають першими, зазвичай формують більші зерна, оскільки до них раніше та в більших кількостях надходять поживні речовини, ніж до квіток, які з'являються пізніше.

Формування зерна починається одразу після запліднення і триває 10–12 діб або до досягнення молочної стиглості. Загалом після запліднення зерно проходить кілька фаз досягання («наливу»), зокрема водянисту, молочну, воскову та повну стиглість.

Молочна стиглість триває в середньому 10–18 діб, протягом яких вологість зерна поступово знижується до 50 %. У фазі воскової стиглості, яка триває 5–7 діб, зерно зменшується в розмірах, а його вологість знижується із 40 до 20 %.

У фазі формування зерна важливу роль відіграє температурний режим, оскільки за оптимальної температури 20–22 °С налив зерна може досягати 2,6 г за добу на 1000 насінин, тоді як за зниження температури до 17 °С цей показник уповільнюється до 0,7 г, а за 11 °С – не перевищує 0,5 г за добу на 1000 насінин [23–25].

Отже, у більшості фенологічних фаз росту й розвитку озимих злакових культур є критичні періоди, які необхідно своєчасно діагностувати для запобігання негативним наслідкам через застосування відповідних агротехнічних заходів. Крім того, за впровадження системи моделювання продуктивності культур важливо враховувати наявність стресу в рослин. Вплив одних несприятливих чинників може бути компенсований на наступних етапах розвитку, а інших – ні. І останні визначатимуть кінцевий рівень продуктивності (табл. 3).

Фенологічні стадії росту озимих злакових культур та фактори стресу

Опис	Код	Основний фактор стресу	Супутній фактор стресу
1	2	3	4
Макростадія: Проростання	00–09	Зернівка отримує менше 35 % вологи за масою. У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ*	Температура повітря нижче +14 або вище +18 °С
Суха насінина	00		
Поява зародкового корінця	05		
Поява колеоптиле	07		
Макростадія: Розвиток листків	10–19		
Вихід першого листка крізь колеоптиле	10		
Розгорнутий перший листок	11		
... другий листок	12		
... третій листок	13		
... четвертий та наступні листки	14–19		
Макростадія: Кущення	20–29	Сума активних температур менше ніж 520 °С. Дефіцит азоту на час настання фази 29	Дефіцит азоту, фосфору, калію й цинку
Бічний пагін у піхві листка	20		
Початок кущення, один бічний пагін	21		
Повне кущення, до шести пагонів	25		
Кущення завершене. Бічні пагони продовжують розвиватися та випрямлятися	29		
Макростадія: Стеблуння	30–39	Температура повітря ≥ 30 °С. У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ, особливо у фазі 30–32	Нестача елементів живлення, особливо бору, ураження хворобами та пошкодження шкідниками
Початок подовження стебла	30		
Перший вузол вище на 1 см над вузлом кущення	31		
Другий вузол на 2 см вище першого вузла	32		
Третій-шостий вузли на 2 см вище попереднього вузла	33–36	Відсутність достатньої кількості азоту	Дефіцит вологи в ґрунті. Ураження хворобами
Поява прапорцевого листка	37		
Поява язичка (лігули) прапорцевого листка	39		
Макростадія: Вихід у трубку	41–49	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Відсутність достатніх кількостей азоту
Набрякання оболонки прапорцевого листка	45		
Піхва лопається, з'являється колос	47–49		
Макростадія: Колосіння	51–59	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ. Відсутність достатніх кількостей азоту	Ураження хворобами та пошкодження шкідниками
Початок колосіння, видно перший колосок	51		
Видно половину колоса	55		
Колос видно повністю	59		
Макростадія: Цвітіння	61–69	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Ураження хворобами та пошкодження шкідниками
Початок цвітіння, з'являються перші пиляки	61		
Повне цвітіння, досягло 50 % пиляків	65		
Кінець цвітіння, більшість колосків відцвіло	69		
Макростадія: Розвиток зерна	70–79	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ. Температура повітря ≤ 17 °С або ≥ 23 °С	Пошкодження шкідниками
Формування зерна. Уміст зернівки водянистий	70		
Рання молочна стиглість	73		
Середня молочна стиглість	75		
Пізня молочна стиглість	77		

<i>Продовження таблиці 3</i>			
1	2	3	4
Макростадія: Достигання	80–89	Екстремально високі температури повітря	Пошкодження шкідниками
Рання воскова стиглість	83		
Воскова стиглість	85		
Жовта стиглість	87		
Макростадія: Відмирання	90–99		
Зернівка тверда, рослина відмирає, повністю висихає	91		
Мертва стиглість	92		
Період спокою зернівки	95		
Схожість зернівок 50 %	96		
Вихід зернівок із періоду спокою	97		
Настання другого періоду спокою	98		
Завершення другого періоду спокою	99		

*НВ – найменша вологоємність.

Таким чином, аналіз даних таблиці показує, що найбільш критичними для росту й розвитку озимих культур є періоди проростання та кущення, оскільки саме вони відіграють ключову роль у підготовці рослин до перезимівлі. Водночас виділення негативних факторів, що впливають на рослини в зимовий період, як критичних є менш доцільним. За умов достатнього накопичення цукрів і належного розвитку рослин у зоні Лісостепу України ризик загибелі посівів через несприятливі фактори середовища залишається мінімальним.

Натомість, найбільша кількість критичних етапів розвитку рослин, які слід контролювати, припадає на другий період, що починається від весняного відростання до цвітіння рослин. Адже в цей час формуються основні елементи структури майбутнього врожаю, і будь-які несприятливі фактори можуть суттєво знизити потенціал продуктивності рослин. Причому, основні стреси, спричинені дефіцитом вологи в ґрунті та нестачею елементів живлення, можна своєчасно діагностувати за допомогою сучасних приладів. Це дає змогу оперативно реагувати на можливі ризики та коригувати технологію вирощування. Водночас своєчасне застосування засобів захисту рослин є невід'ємним складником сучасних агротехнологій, що не піддається сумніву і забезпечує стабільний рівень продуктивності культур.

Висновки

Для озимих злакових культур найкритичнішими фазами росту й розвитку за дефіцитом вологи є ВВСН 00–09, 30–32, 41–69, за впливом високих температур повітря – ВВСН 70–89, а за нестачею елементів живлення, зокрема азоту, – ВВСН 29, 33–36. У ці періоди рослини особливо вразливі до стресових факторів, що може суттєво вплинути на їхню продуктивність.

Використана література

1. Boschetti M., Stroppiana D., Brivio P. A., Bocchi S. Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*. 2009. Vol. 30, Iss. 18. P. 4643–4662. doi: 10.1080/01431160802632249
2. You X., Meng J., Zhang M., Dong T. Remote Sensing Based Detection of Crop Phenology for Agricultural Zones in China Using a New Threshold Method. *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5, Iss. 7. P. 3190–3211. doi: 10.3390/rs5073190
3. Zheng H., Zhou X., Cheng T. et al. Evaluation of a UAV-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2016. P. 7350–7353. doi: 10.1109/igarss.2016.7730917
4. Стасик О. О., Кірізії Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 2. С. 160–184. doi: 10.15407/frg2021.02.160

5. Richards R. A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany*. 2000. Vol. 51, Suppl. 1. P. 447–458. doi: 10.1093/jexbot/51.suppl_1.447
6. Brisson N., Mary B., Ripoche D. et al. STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*. 1998. Vol. 18, Iss. 5–6. P. 311–346. doi: 10.1051/agro:19980501
7. Duchemin B., Hagolle O., Mougenot B. et al. Agrometeorological study of semi-arid areas: an experiment for analysing the potential of time series of FORMOSAT-2 images (Tensift-Marrakech plain). *International Journal of Remote Sensing*. 2008. Vol. 29, Iss. 17–18. P. 5291–5299. doi: 10.1080/01431160802036482
8. van Diepen C. A., Wolf J., van Keulen H., Rappoldt C. WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management*. 1989. Vol. 5, Iss. 1. P. 16–24. doi: 10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x
9. Cong N., Wang T., Nan H. et al. Changes in satellite-derived spring vegetation green-up date and its linkage to climate in China from 1982 to 2010: A multi-method analysis. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 19, Iss. 3. P. 881–891. doi: 10.1111/gcb.12077
10. Sakamoto T., Wardlow B. D., Gitelson A. A. et al. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114, Iss. 10. P. 2146–2159. doi: 10.1016/j.rse.2010.04.019
11. Slafer G. A., Savin R. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*. 1991. Vol. 42, Iss. 8. P. 1077–1082. doi: 10.1093/jxb/42.8.1077
12. Schwartz M. D., Reed B. C. Surface phenology and satellite sensor-derived onset of greenness: An initial comparison. *International Journal of Remote Sensing*. 1999. Vol. 20, Iss. 17. P. 3451–3457. doi: 10.1080/014311699211499
13. Sishodia R. P., Ray R. L., Singh S. K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, Iss. 19. Article 3136. doi: 10.3390/rs12193136
14. Zhang X., Friedl M. A., Schaaf C. B. et al. Monitoring the response of vegetation phenology to precipitation in Africa by coupling MODIS and TRMM instruments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2005. Vol. 110, Iss. D12. Article D12103. doi: 10.1029/2004JD005263
15. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛІТД, 2021. 300 с.
16. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
17. Kuperman F. M. Plant morphophysiology. Morphophysiological analysis of organogenesis stages of various life forms of angiosperms. 4th ed., rev. Vysshaya shkola, 1984. 240 p.
18. Feekes W. De tarwe en haar milieu. *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie / W. Feekes (Ed.)*. Groningen : Hoitsema, 1941. Vol. 17. P. 523–888.
19. Keller C., Baggiolini M. Les Stades Repères dans la Végétation du Blé. *Revue Romande Lausanne*. 1954. Vol. 10, Iss. 3. P. 17–20.
20. Zadoks J. C., Chang T. T., Konzani C. F. A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*. 1974. Vol. 14, Iss. 6. P. 415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x
21. Haun J. R. Visual Quantification of Wheat Development. *Agronomy Journal*. 1973. Vol. 65, Iss. 1. P. 116–119. doi: 10.2134/agronj1973.00021962006500010035x
22. BBCH-Monograph. Growth stages of plants / Entwicklungsstadien von Pflanzen / Estadios de las plantas / Stades dedéveloppement des plantes / U. Meier (Ed.). Berlin, Wien : Blackwell, Wissenschafts-Verlag, 1997. 622 p.
23. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісостепу України / за ред. В. Т. Колочого, В. А. Власенка, Г. Ю. Борука. Київ : Аграрна наука, 2007. 800 с.
24. Osman O. E. F., Melnychenko V., Kalenska S. et al. Efficiency of the compensatory scheme of using Organic Acid Nano-Complex microfertilizers in spring wheat cultivation technology. *Plant and Soil Science*. 2023. Vol. 14, Iss. 4. P. 61–75. doi: 10.31548/plant4.2023.61
25. Каленська С. М., Гордина О. Ю. Закономірності розвитку пшениці озимої у весняно-літній період вегетації залежно від передпосівної обробки насіння. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 3. doi: 10.47414/na.10.3.2022.270488

References

1. Boschetti, M., Stroppiana, D., Brivio, P. A., & Bocchi, S. (2009). Multi-year monitoring of rice crop phenology through time series analysis of MODIS images. *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4643–4662. doi: 10.1080/01431160802632249
2. You, X., Meng, J., Zhang, M., & Dong, T. (2013). Remote Sensing Based Detection of Crop Phenology for Agricultural Zones in China Using a New Threshold Method. *Remote Sensing*, 5(7), 3190–3211. doi: 10.3390/rs5073190
3. Zheng, H., Zhou, X., Cheng, T., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., & Zhu, Y. (2016). Evaluation of a UAV-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. In *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 7350–7353). IEEE. doi: 10.1109/igarss.2016.7730917
4. Stasik, O. O., Kiriziy, D. A., & Priadkina, G. O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Plant Physiology and Genetics*, 53(2), 160–184. doi: 10.15407/frg2021.02.160 [In Ukrainian]
5. Richards, R. A. (2000). Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany*, 51(suppl_1), 447–458. doi: 10.1093/jexbot/51.suppl_1.447
6. Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoulaud, B., ... Delécolle, R. (1998). STICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18(5–6), 311–346. doi: 10.1051/agro:19980501
7. Duchemin, B., Hagolle, O., Mougenot, B., Benhadj, I., Hadria, R., Simonneaux, V., ... Chehbouni, A. G. (2008). Agrometeorological study of semi-arid areas: an experiment for analysing the potential of time series of FORMOSAT-2 images (Tensift-Marrakech plain). *International Journal of Remote Sensing*, 29(17–18), 5291–5299. doi: 10.1080/01431160802036482
8. van Diepen, C. A., Wolf, J., van Keulen, H., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5(1), 16–24. doi: 10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x
9. Cong, N., Wang, T., Nan, H., Ma, Y., Wang, X., Myneni, R. B., & Piao, S. (2012). Changes in satellite-derived spring vegetation green-up date and its linkage to climate in China from 1982 to 2010: A multi-method analysis. *Global Change Biology*, 19(3), 881–891. doi: 10.1111/gcb.12077
10. Sakamoto, T., Wardlaw, B. D., Gitelson, A. A., Verma, S. B., Suyker, A. E., & Arkebauer, T. J. (2010). A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(10), 2146–2159. doi: 10.1016/j.rse.2010.04.019
11. Slafer, G. A., & Savin, R. (1991). Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*, 42(8), 1077–1082. doi: 10.1093/jxb/42.8.1077
12. Schwartz, M. D., & Reed, B. C. (1999). Surface phenology and satellite sensor-derived onset of greenness: An initial comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 20(17), 3451–3457. doi: 10.1080/014311699211499
13. Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*, 12(19), Article 3136. doi: 10.3390/rs12193136
14. Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., & Liu, Z. (2005). Monitoring the response of vegetation phenology to precipitation in Africa by coupling MODIS and TRMM instruments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D12), Article D12103. doi: 10.1029/2004JD005263
15. Prsyazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Y. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., ... Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Vinnytsia: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
16. Ermantraut, E. R., Prsyazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in Statistica 6.0*. Kyiv: PolihrafKonsaltnyh. [In Ukrainian]
17. Kuperman, F. M. (1984). *Plant morphophysiology. Morphophysiological analysis of organogenesis stages of various life forms of angiosperms* (4th ed., rev.). Vysshaya shkola.
18. Feekes, W. (1941). De tarwe en haar milieu. In W. Feekes (Ed.), *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie*, 17 (pp. 523–888). Groningen: Hoitsema.

19. Keller, C., & Baggiolini, M. (1954). Les Stades Repères dans la Végétation du Blé. *Revue Romande Lausanne*, 10(3), 17–20.
20. Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzani, C. F. (1974). A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x
21. Haun, J. R. (1973). Visual Quantification of Wheat Development. *Agronomy Journal*, 65(1), 116–119. doi: 10.2134/agronj1973.00021962006500010035x
22. Meier, U. (Ed.). (1997). *BBCB-Monograph. Growth stages of plants / Entwicklungsstadien von Pflanzen / Estadios de las plantas / Stades de développement des plantes*. Berlin, Wien: Blackwell, Wissenschafts-Verlag.
23. Koliuchyi, V. T., Vlasenko, V. A., & Borsuk, H. Yu. (Eds.). (2007). *Breeding, seed production, and cultivation technologies of cereal crops in the Forest-Steppe of Ukraine*. Kyiv: Ahrarna Nauka. [In Ukrainian]
24. Osman, O. E. F., Melnychenko, V., Kalenska, S., Novytska, N., & Kalenskyi, V. (2023). Efficiency of the compensatory scheme of using Organic Acid Nano-Complex microfertilizers in spring wheat cultivation technology. *Plant and Soil Science*, 14(4), 61–75. doi: 10.31548/plant4.2023.61
25. Kalenska, S. M., & Hordyna, O. Yu. (2022). Patterns of winter wheat development in the spring-summer growing season under the effect of pre-sowing seed treatment. *Advanced Agritechnologies*, 10(3). doi: 10.47414/na.10.3.2022.270488 [In Ukrainian]

UDC 631.547:57.087

Prysiazhniuk, O. I., Kononiuk, N. O., Polovynchuk, O. Yu., Musich, V. V., Honcharuk, O. M., Voloshyn, P. Yu., Maliarenko, O. A., & Shevchenko, O. P. (2024). Determination of critical phases of winter cereal crops based on international unified growth and development scales. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 49–62. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.322938> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Purpose. To establish the growth and development patterns of winter grain crops and determine vulnerable stages of their vegetation under deficit of environmental factors. **Methods.** Field studies were conducted in a zone of unstable moisture of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (50.023194, 30.173895) in 2020–2024. **Results.** The most vulnerable periods for the growth and development of winter grain crops are germination and tillering, as they play a key role in preparing plants for wintering. At the same time, the adverse factors that affect plants in winter are not critical, as with sufficient sugar accumulation and proper plant development in the Forest-Steppe of Ukraine, it is unlikely that adverse conditions will lead to plant death. Instead, most often critical plant conditions occur in the period from spring regrowth to flowering. In this period, the main elements of the yield structure are formed, and plants can significantly reduce their potential productivity. Stress in plants caused by soil moisture and nutrient deficits can be early determined using modern tools for assessing plant health. At the same time, the timely application of protective measures is unquestionable, as they are an important component of all modern cultivation technologies. **Conclusions.** For winter grain crops, the most vulnerable growth and development stages to moisture deficit are BBCH 00–09, 30–32, 41–69, high air temperature – BBCH 70–89, and nutrient deficit, particularly nitrogen deficit – BBCH 29, 33–36. At these stages plants are especially vulnerable to the impact of abiotic stress factors, which can significantly affect their productivity.

Keywords: *BBCB; Coopman scale; Zadoks scale; Feekes scale; Haun scale.*

*Надійшла / Received 02.10.2024
Погоджено до друку / Accepted 15.11.2024*