

Блищик Д.В., Польовий А.М., Феоктістов П.О. УДК. 519.711.3:633.1:581.036.5
БЛОК ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗИМОСТІЙКОСТІ РОСЛИНАМИ
ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ПВДНІ УКРАЇНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТРОКІВ
СІВБИ

Анотація. Представлені результати розрахунків блоку динамічної моделі формування зимостійкості рослинами озимої пшениці для Південного Степу України на прикладі Одеської області. Ідентифіковані параметри блоку моделі за даними лабораторно-польових експериментальних досліджень динаміки агробіологічних показників в залежності від строків сівби. Встановлено значення строків сівби озимої пшениці для формування вегетативної маси та накопичення вуглеводів в тканинах рослин. Визначені оптимальні строки сівби, що забезпечують добру перезимівлю та сприяють реалізації потенціалу сучасних сортів озимої пшениці. Отримана модель описує процес загартування рослин озимої пшениці під впливом метеорологічних умов осінне-зимового періоду в залежності від строків сівби і може використовуватись для прогнозу їх перезимівлі як для конкретного поля, так і для великих посівних площ. Середня помилка між розрахованими модельними значеннями та фактичними даними, визначеними в ході лабораторно-польових експериментальних досліджень становить 20 та 16 % для першого та другого строків сівби відповідно.

Ключові слова: динамічна модель, *Triticum aestivum L.*, строки сівби, зимостійкість.

Аннотация. Представлены результаты расчетов блока динамической модели формирования зимостойкости растениями озимой пшеницы для Южной Степи Украины на примере Одесской области. Идентифицированы параметры блока модели по данным лабораторно-полевых экспериментальных исследований динамики агробиологических показателей в зависимости от сроков сева. Установлено значение сроков сева озимой пшеницы для формирования вегетативной массы и накопления углеводов в тканях растений. Определены оптимальные сроки сева, обеспечивающие хорошую зимовку и способствуют реализации потенциала современных сортов озимой пшеницы. Полученная модель описывает процесс закалки растений озимой пшеницы под влиянием метеорологических условий осенне-зимнего периода в зависимости от сроков сева и может использоваться для прогноза их перезимовки как для конкретного поля, так и для крупных посевных площадей. Средняя ошибка между рассчитанными значениями и фактическими данными, определенными в ходе лабораторно-полевых экспериментальных исследований составляет 20 и 16% для первого и второго сроков сева соответственно.

Ключевые слова: динамическая модель, *Triticum aestivum L.*, сроки сева, зимостойкость.

Summary. The results of the research of the dynamic model block of winter hardiness formation by the plants of winter wheat in the Southern Steppe of Ukraine are presented, with the Odessa region as an example. The parameters of the model block of winter hardiness formation by the plants of winter wheat according to laboratory and field experimental observations of agrobiological indexes dynamics depending on sowing terms are identified. The significance of sowing terms of winter wheat for the formation of vegetative mass and accumulation of carbohydrates in plant tissues was determined. The optimum sowing terms which provide a good wintering and promote the implementation of the potential of modern varieties of winter wheat were determined. The model describes the process of hardening of winter wheat plants under the effect of meteorological conditions of autumn - winter period depending on sowing terms and can be used for forecasting of their wintering both for a particular field, and the large-scaled cultivated areas. The average errors between the calculated model values and the actual data obtained in the laboratory and field experimental observations are 20 and 16 % for the first and second sowing terms respectively.

Keywords: mathematical model, *Triticum aestivum L.*, sowing terms, winter hardiness.

ВСТУП. Проблеми методології математичного моделювання агроценозів привертають увагу представників теоретичного та експериментального напрямків агроекології з певних причин. Досить серйозні практичні успіхи цього напрямку дозволили закріпити впевненість в тому, що математичні моделі можуть стати ефективним засобом інтеграції великого комплексу теоретичних представлень про життєдіяльність агроєкосистем для вирішення практичних задач.

Головними вимогами до методології динамічного моделювання агроценозів є необхідність забезпечення об'єктивного представлення стану агроценозу та його керуючих змінних, вибір найбільш раціональної процедури обробки даних, можливість оцінки адекватності тих процесів, що описуються моделлю, а також отримання надійних аргументів, що підтверджують правомірність використання моделі для вирішення конкретних завдань [1].

Одним з основних умов реалізації потенційної продуктивності озимої пшениці на Півдні України є успішна перезимівля культури. В основі моделювання формування зимостійкості рослинами озимої пшениці лежить морфологічний стан культури перед входженням рослин в зиму, який залежить від агрометеорологічних умов поточного року, строків сівби, часу появи сходів та тривалості осіннього періоду вегетації рослин [16].

У зв'язку з глобальними змінами клімату виникла необхідність вивчення й оптимізації строків сівби пшениці озимої та реакції на них нових сортів [2, 3, 8]. Зі строками сівби тісно пов'язані інтенсивність росту і розвитку рослин восени, накопичення запасних речовин у листках і вузлах кущіння, та набуття рослинами стійкості до несприятливих умов перезимівлі. Сівба в оптимальні строки повинна забезпечити проходження рослинами пшениці озимої в осінній період тих етапів органогенезу, від яких у подальшому залежить рівень життєдіяльності агробіоценозу і його продуктивність [5].

Посіви пшениці озимої ранніх строків сівби накопичують більшу кількість вуглеводів у вузлах кущіння, але у зв'язку з переростанням і активним диханням у зимовий період використовують їх у більшій кількості, ніж рослини оптимальних і пізніх строків сівби й стають менш стійкими до несприятливих умов,

БЛОК ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗИМОСТІЙКОСТІ РОСЛИНАМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТРОКІВ СІВБИ

знижуючи зимостійкість [3]. За пізніх строків сівби урожай знижується через слабкий розвиток рослин в осінній період, які не встигають восени розкущитись, розвинути достатню кореневу систему і надземну масу [5, 8].

Озима пшениця краще зимує у фазі кущіння за наявності 2-4 пагонів, коли накопичено достатню кількість пластичних речовин в клітинах рослин [13].

Найбільш повна реалізація генетично потенційної продуктивності сортів можлива за оптимальних строків сівби озимих культур. Правильно встановити оптимальний строк сівби пшениці озимої певного сорту для конкретних ґрунтово-кліматичних умов – означає створити рослинам у період вегетації найбільш сприятливі умови для їх росту та розвитку та формування високого рівня зимостійкості [5].

Метою роботи є розробка блоку динамічної моделі формування зимостійкості рослинами озимої пшениці для Південного Степу України в залежності від строків сівби.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідний матеріал. Об'єктами дослідження були 5 сортів озимої пшениці: Одеська 16, Одеська 267, Антонівка, Альбатрос одеський та Струмок, що були висіяні на полях Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення 25 вересня та 2 жовтня 2013 року. Повторність у дослідах трикратна, площа посівної ділянки – 2 м². Сівба здійснювалась протруєним насінням сівалкою Дунаєвського на базі трактора Т-16. Восени здійснювалось підживлення рослин N₄₀P₄₀K₄₀ нітроамофоски [6].

Після появи першого листка відбирались проби раз на добу по 50 рослин кожного сорту для визначення агробіологічних характеристик (висота рослин, глибина залягання вузла кущіння, площа листової поверхні, кількість пагонів кущіння, коренева система) та динаміки вмісту цукрів у вузлах кущіння. Вміст цукрів визначали антроновим методом [17]. Площу листової поверхні визначали планіметричним методом за допомогою електронного пристрою – планіметра [14].

Опис моделі. Динамічна модель формування зимостійкості створена на основі моделі впливу агрометеорологічних умов на ріст, розвиток і формування врожаю озимої пшениці Антоненко В.С. [1]. Вхідні дані для моделі були взяті в Одеському гідрометеорологічному інституті по станції Одеса. Модель має добовий часовий крок. В основі моделі лежать чотири основних погодних змінних: максимальна, середня та мінімальна добова температура, добове надходження сонячної радіації, запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-20 см та добова сума опадів. Модель реалізована на ПК за допомогою мови програмування Fortran.

Відомо, що в основі наукових уявлень про природу морозостійкості рослин лежить теорія загартування Туманова І.І. [15]. Для набуття властивостей зимостійкості рослини озимої пшениці повинні пройти два етапи підготовки: першу і другу фази загартування.

Процес утворення розчинних цукрів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці визначається за рівняннями типу Міхаеліса-Ментен:

$$\frac{dCS_{в.к.}}{dt} = \frac{\frac{dCS_{в.к.}^{pot}}{dt} * mc_{рез} * K_{в.к.}^{M-M}}{\frac{dCS_{в.к.}^{pot}}{dt} + (mc_{рез} * K_{в.к.}^{M-M})} * 1000, \quad (1)$$

де $\frac{dCS_{в.к.}}{dt}$ – швидкість утворення цукрів у вузлах кущіння, мг*г/д;

$\frac{dCS_{в.к.}^{pot}}{dt}$ – потенційна швидкість утворення цукрів у вузлі кущіння, мг/д;

$K_{в.к.}^{M-M}$ – константа Міхаеліса-Ментен для вузла кущіння, мг/г.

Враховуючи дані Туманова І.І. [15] про те, що інтенсивне накопичення цукрів восени найбільш інтенсивно відбувається в сонячні дні, навіть при температурах повітря вище 10-15°C, були введені розраховані експериментальним шляхом коефіцієнти накопичення розчинних вуглеводів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці. Формула для розрахунку суми розчинних цукрів має такий вигляд:

$$SmCS_{в.к.} = (SmCS_{в.к.} + \frac{dCS_{в.к.}}{dt}), \quad (2)$$

Надлишок продуктів фотосинтезу визначають як різницю

$$\frac{dm_{рез}}{dt} = \Phi^j - (G_{надз}^{max} + G_{нідз}^{max}), \quad (3)$$

де $\frac{dm_{рез}}{dt}$ – надлишок продуктів фотосинтезу, що утворюється після задоволення потреб підземної та надземної частин рослин у асимілятах, г*м²;

Φ^j – фотосинтез, г*м²/д;

Концентрація резервних продуктів фотосинтезу, що утворюється визначається як відношення

$$mc_{рез} = \frac{m_{рез}}{M}, \quad (4)$$

де m_{res} – концентрація резерву продуктів фотосинтезу в рослинах;

M – маса рослин, г*м².

За даними Шиголева О.А. [19] для проходження періоду сходи-початок кущіння необхідна сума ефективних температур повітря, що дорівнює 67°С. Концентрація резервних продуктів фотосинтезу, що утворюються $m_{res} = 0$, якщо значення суми ефективних температур менше 67°С.

Кількість продуктів фотосинтезу порівнюється з максимально можливою величиною приросту надземної і підземної біомаси рослин. Приріст маси надземної і підземної частини рослин визначається як:

$$\frac{dm_{надз.}}{dt} = \begin{cases} G_{надз.}^{max}, \text{ якщо } \Phi^j > G_{надз.}^{max} + G_{підз.}^{max} \\ \left(\frac{G_{надз.}^{max}}{G_{надз.}^{max} + G_{підз.}^{max}} \right) * \Phi^j - \frac{dR_{надз.}}{dt}, \text{ якщо } \Phi^j < G_{надз.}^{max} + G_{підз.}^{max} \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{dm_{підз.}}{dt} = \begin{cases} G_{підз.}^{max}, \text{ якщо } \Phi^j > G_{надз.}^{max} + G_{підз.}^{max} \\ \left(\frac{G_{підз.}^{max}}{G_{надз.}^{max} + G_{підз.}^{max}} \right) * \Phi^j - \frac{dR_{підз.}}{dt}, \text{ якщо } \Phi^j < G_{надз.}^{max} + G_{підз.}^{max} \end{cases} \quad (6)$$

де $\frac{dm_{надз.}}{dt}$ та $\frac{dm_{підз.}}{dt}$ - приріст маси надземної і підземної частин рослин відповідно;

$G_{надз.}^{max}$ та $G_{підз.}^{max}$ – максимально можлива величина приросту надземної і підземної частин рослин в даних умовах відповідно;

$\frac{dR_{надз.}}{dt}$ та $\frac{dR_{підз.}}{dt}$ – дихання надземної і підземної частин рослин відповідно.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Згідно літературних даних, рослинам озимої пшениці для формування восени 2-4 пагонів кущіння та найбільшої морозостійкості на півдні України необхідно 50-65 днів при сумі середньодобових температур 500-550°С [18].

За температурних умов 2013-2014 року, припинення осінньої вегетації озимої пшениці спостерігалось 26 листопада, при переході середньодобової температури через +5°С. За умов сівби озимої пшениці 25 вересня, сума активних температур за період сівба-припинення осінньої вегетації становила 612,8°С, а тривалість періоду становила 63 дні. При сівбі озимої пшениці 2 жовтня, тривалість періоду вегетації становила 56 днів, а сума активних температур за період сівба-припинення осінньої вегетації – 570,3°С.

Формування біомаси в осінній період за рахунок кущистості, а не висоти, є одним із показників морозостійкості сортів [10]. Висота рослин на момент припинення осінньої вегетації становила 29 см та 27 см при сівбі озимої пшениці першого та другого строку сівби відповідно (табл.1, табл.2). Кількість корінців первинної кореневої системи в середньому становила 4-5 шт. на рослину за двох строків сівби.

Поява вторинної кореневої системи та пагонів кущіння спостерігалась 24 жовтня та 13 листопада першого та другого строку сівби відповідно. За літературними даними, початок кущіння рослин корелює з появою вторинної кореневої системи. Кущіння у озимих культур починається лише на 25-30-ту добу після сходів при зменшенні запасів вологи в ґрунті або нестачі тепла [12, 19]. За першого та другого строку сівби тривалість періоду сходи-початок кущіння становила 30 та 27 діб відповідно, що пов'язано з відсутністю достатньої кількості опадів. На дату припинення осінньої вегетації рослини озимої пшениці утворили 2 та 4 пагони кущіння першого та другого строку сівби відповідно (табл.1, табл.2).

Таблиця 1. Формування надземної маси рослин озимої пшениці першого строку сівби

Дата відбору	Висота рослин, см	Глибина залягання вузла кущіння, см	Коефіцієнт кущіння	Площа листя, см ² /росл.
10.X	16.8	2.7	1.0	60
20.X	19.8	2.9	1.2	69
31.X	22.1	3.1	2.3	158
10.XI	23.8	3.3	3.0	212
20.XI	26.3	3.4	3.7	277
30.XI	29.2	3.5	4.3	513
10.XII	30.2	3.6	4.6	513

Ріст, розвиток та проходження рослинами загартування тісно пов'язані з роботою фотосинтетичного апарату, показником розвитку якого служить площа листової поверхні [11]. Згідно вимірювань, рослини першого строку сівби на момент припинення осінньої вегетації мали найбільшу площу листя 513 см² на рослину. Посів в більш пізні строки призводив до зменшення площі листової поверхні, що становила 283 см² на одну рослину (табл.1, табл.2).

Одним з важливих чинників, що впливає на стійкість рослин до несприятливих умов зими є глибина залягання вузла кущіння. За оптимальних строків сівби та агрометеорологічних умов вегетаційного періоду, вузол кущіння розміщується на глибини 2-4 см [7, 9]. Глибина залягання вузла кущіння першого та другого строків сівби, за результатами вимірювань, складає 3,5 см та 4 см на кінець припинення осінньої вегетації відповідно (табл.1, табл.2). В наших дослідженнях спостерігались відмінності у заглибленні вузла кущіння

**БЛОК ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗИМОСТІЙКОСТІ РОСЛИНАМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ
НА ПІВДНІ УКРАЇНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТРОКІВ СІВБИ**

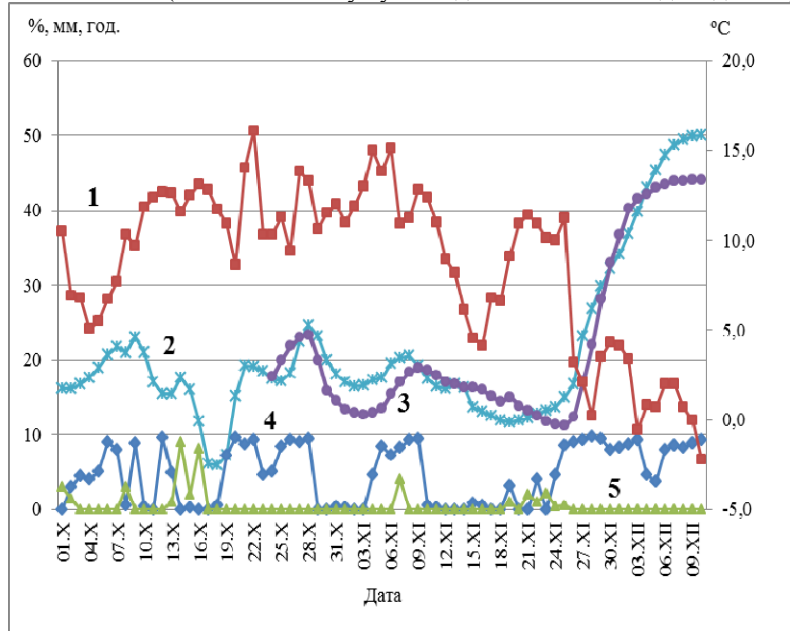
зі зміщенням строків сівби, які можуть бути пояснені погіршенням режиму освітлення рослин та зниженням середньодобових температур повітря [7, 20].

Таблиця 2. Формування надземної маси рослин озимої пшениці другого строку сівби

Дата відбору	Висота рослин, см	Глибина залягання вузла кущіння, см	Коефіцієнт кущіння	Площа листя, см ² /роsl.
31.X	14.7	3.2	1.0	42
10.XI	19.8	3.2	1.2	100
20.XI	25.3	3.7	1.6	194
30.XI	26.6	3.8	2.3	283
10.XII	26.3	4.2	2.8	277

На рис. 1 наведені середні значення динаміки вмісту розчинних вуглеводів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці в залежності від строків сівби та впливу метеорологічних факторів.

Як показали наші дослідження, значний вплив на вміст цукрів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці має рівень освітлення. Наприклад, з 3 по 7 жовтня та з 25 по 28 жовтня, коли інтенсивність сонячного сяйва була високою, сума розчинних вуглеводів першого строку сівби збільшувалась відповідно від 17 до 22 % та від 17 до 25 % (рис.1). За другого строку сівби, сума розчинних вуглеводів збільшувалась відповідно від 18 до 24 % з 24 по 28 жовтня (рис.1). За наявності опадів та суцільної хмарності 10 і 11 жовтня, сума цукрів в рослинах першого строку сівби значно зменшилась з 23 до 17 %; з 14 по 18 жовтня сума цукрів зменшилась на 11 % (величина вмісту вуглеводів зменшилась від 17 до 6 %).



1 – середньодобова температура (права вісь ординат); 2 - динаміка вмісту розчинних цукрів у вузлах кущіння першого строку сівби, %; 3 - динаміка вмісту розчинних цукрів у вузлах кущіння другого строку сівби, %; 4 - число годин сонячного сяйва, год.; 5 - сума опадів, мм

Рис. 1. Динаміка вмісту суми розчинних вуглеводів (% сухої речовини) у вузлах кущіння рослин озимої пшениці в залежності від метеорологічних умов у польовому досліді.

Сума розчинних вуглеводів у вузлах кущіння рослин другого строку сівби з 9 по 25 листопада зменшилась з 19 до 11 %. При частковій хмарності, наприклад, 23 і 24 жовтня та 15 і 16 листопада, вміст розчинних вуглеводів у вузлах кущіння рослин першого строку сівби зменшився на 1 % (рис.1).

В рік проведення досліджень умови для проходження першої фази загартування були досить сприятливими. При переході середньодобової температури повітря через +5°C у бік зниження, що спостерігався 26 листопада, відбувалось суттєве підвищення вмісту цукрів у вузлах кущіння рослин озимої пшениці. За літературними даними, при нормальному рівні загартування вміст цукрів для Півдня України сягає 32-35 % [4]. В наших дослідженнях вміст розчинних вуглеводів у вузлах кущіння рослин за першого та другого строків сівби від дати припинення осінньої вегетації збільшився відповідно з 17 до 50 % та з 12 до 44 % від сухої маси, що вказує на високий рівень загартування рослин.

Проведений статистичний аналіз показав, що між вмістом розчинних вуглеводів у вузлах кущіння та температури простежується тісний негативний кореляційний зв'язок. Для першого та другого строків сівби він становить відповідно $r = -0,702$ та $r = -0,744$. Між вмістом розчинних вуглеводів у вузлах кущіння та рівнем освітленості простежується середній позитивний кореляційний зв'язок. При першому та другому строках сівби він становив $r = 0,496$ та $r = 0,520$ відповідно.

В моделі за початковий вміст цукрів приймається перше експериментальне значення цього показника у вузлах кушіння рослин озимої пшениці у польовому досліді, що дорівнює для першого та другого строків сівби 16 та 17 % від сухої маси рослин відповідно (рис.2, рис.3).

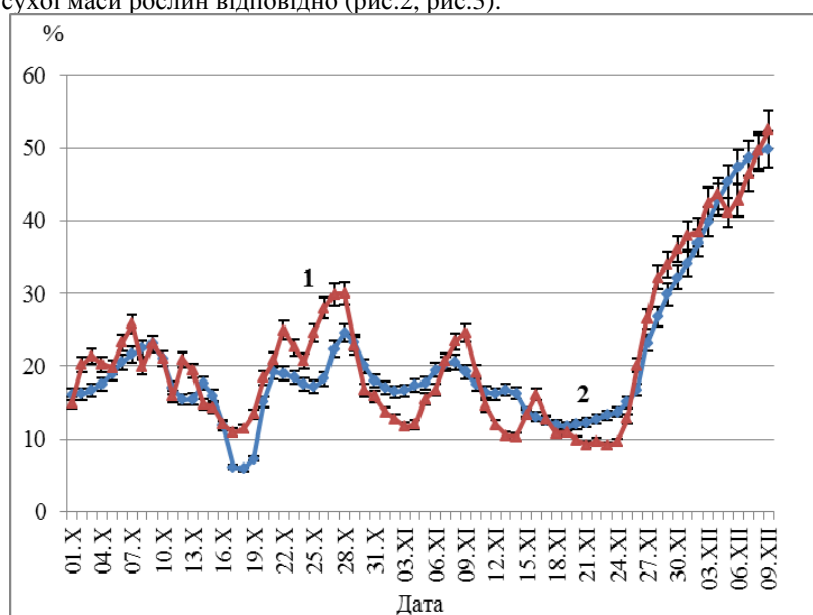


Рис. 2. Змодельована (1) та фактична (2) динаміка вмісту розчинних вуглеводів у вузлах кушіння рослин озимої пшениці першого строку сівби.

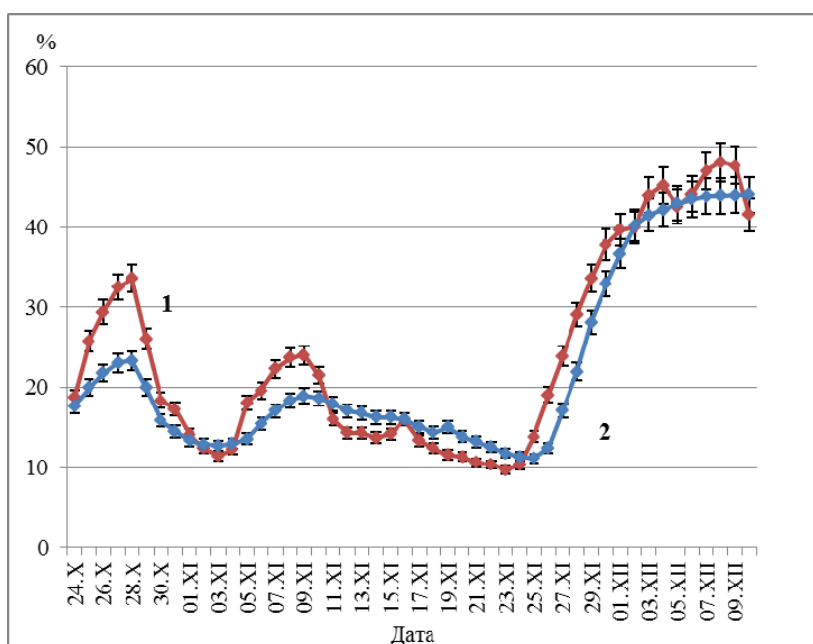


Рис. 3. Змодельована (1) та фактична (2) динаміка вмісту розчинних вуглеводів у вузлах кушіння рослин озимої пшениці другого строку сівби.

Отримані результати свідчать про перспективність використання розробленої математичної моделі для прогнозування накопичення розчинних вуглеводів у вузлах кушіння рослин озимої пшениці в осінньо-зимовий період. Середня помилка між розрахованими модельними значеннями та фактичними даними, визначеними в ході лабораторно-польових експериментальних досліджень становить 16% та 20 % для першого та другого строків сівби відповідно, що є цілком прийнятним для проведення моніторингу стану підготовки посівів озимої пшениці до перезимівлі.

ВИСНОВКИ. На основі ідентифікованих параметрів оптимізовано блок формування зимостійкості рослинами озимої пшениці динамічної моделі для території Південного Степу України. Встановлено тісний негативний кореляційний зв'язок з температурою повітря та середній позитивний кореляційний зв'язок з інтенсивністю сонячного світла та накопиченням вуглеводів у вузлах кушіння рослин озимої пшениці під час загартування.

БЛОК ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗИМОСТІЙКОСТІ РОСЛИНАМИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТРОКІВ СІВБИ

Перевірка працездатності блоку моделі показала перспективність її використання для рішення практичних завдань з перезимівлі озимої пшениці на Півдні України. Середня помилка між розрахованими модельними значеннями та фактичними даними становить 20 та 16 %.

Джерела та література

1. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. – К.: «АртЭк», 2002. – с.64.
2. Дергачов О.Л. Вплив строків сівби на тривалість основних періодів вегетації озимої пшениці в центральному лісостепу України // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2012. Вип. 12. – С. 57-64.
3. Костромітін В.М, Рябчун Н.І., Четверик О.М., Непочатов М.І. Вплив строків сівби на прояв зимостійкості та урожайності нових сортів пшениці озимої. // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2009. – Вип.2 - С. 34-37.
4. Литвиненко М.А. Удосконалення програми селекції сортів озимої м'якої пшениці універсального типу для умов півдня України у зв'язку зі змінами клімату // Зб. наук. праць СГІ-НЦНС. – Вип. 16 (56). – Одеса, 2010. – С. 9-22.
5. Ляшенко В.В., Маренич М.М. Вплив строків сівби на продуктивність посівів пшениці озимої // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2010. – Вип.2, – С.46-50.
6. Нетіс І.Т. Пшениця озима на півдні України: Монографія. – Х.: Олдіплюс, 2011.- 352 с.
7. Носатовский А.И. Пшеница / А.И. Носатовский// Биология. – 2-е изд., доп. – М.: Колос, 1965. – 568 с.
8. Оничко Т.О. Вплив строків сівби на урожайність та якість зерна сучасних сортів пшениці озимої. Вісник Сумського національного аграрного університету випуск2 (23), 2012. С. 136-142.
9. Орлюк А.П., Гончарова К.В. Адаптивний і продуктивний потенціали пшениці. – Х.: Айлант, 2002. – 263 с.
10. Панкеев С.В. Зимостійкість сортів озимої пшениці на Півдні України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2012. – Вип. 3, – С. 168-173.
11. Пешкова А.А., Дорофеев Н.В. Адаптация фотосинтетического аппарата озимой пшеницы в период осеннего развития // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». – 2011. – Вип. 45. – С. 20-28.
12. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія: Підручник / Польовий А.М.; Одеськ. Держ. Екологічний Університет. – Одеса: ТЕС, 2013 – 630 с.
13. Пономарев В. И. Повышение зимостойкости озимой пшеницы. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 139 с.
14. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха: Справочное пособие / Г.С.Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 300 с.
15. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений / И.И. Туманов. – М.: Наука, 1979. – 350 с.
16. Солодушко М. М. Тривалість осінньої вегетації та врожайність пшениці озимої / М. М. Солодушко // Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. – Дніпропетровськ, 2011. – № 40. – С. 32–35.
17. Филиппович Ю.Б. и др. Практикум по общей биохимии: Учеб. пособие для студентов хим. специальностей пед. ин-тов / Под общ. ред. Ю.Б. Филипповича. – М.: "Просвещение", 1975. – 318 с.
18. Четверик О. М. Вплив строків сівби та погодних умов осіннього періоду вегетації на перезимівлю та урожайність пшениці м'якої озимої // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2011. – Вип.10. – С. 265-273.
19. ШигOLEV А.А. Методика составления фенологических прогнозов: Сб. метод. указаний. – Л.: Гидрометиздат, 1957. – С. 5-18.
20. Яковлев Н.Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы / Н.Н. Яковлев – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 419 с.