

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФОРМУВАННЯ СХОДІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Розглядається вплив температури на формування сходів зернових культур. Представлені результати проведеного чисельного експерименту з моделювання впливу агрометеорологічних умов на накопичення вологи зернівкою та подовження колеоптиля на прикладі насіння кукурудзи.

Ключові слова: *набубнявіння, насіння, ендосперм, колеоптиль, ріст, сходи.*

Вступ. Рослини зернових культур протягом усього життєвого циклу зазнають впливу різноманітних умов, які діють як сприятливо, так і негативно на життєві функції організму та його продуктивність. Здатність переносити несприятливі умови залежить від того, за яких умов формувалася рослина, а також від глибини та тривалості впливу окремих факторів та їх поєднань. У період до появи сходів проростки особливо чутливі до зміни навколишнього середовища. Так, сильна дія стресових факторів на рослину у цей період призводить до утворення різних аномалій розвитку та видозмін. Найголовнішу роль у розвитку молодого рослини відіграє температура, мінливість якої безумовно відбивається на інтенсивності всіх процесів життєдіяльності рослини у тій чи іншій мірі.

Метою дослідження є аналіз впливу температури на основні процеси, що відбуваються у рослині зернової культури у період від посіву до сходів, а також викладення отриманих результатів моделювання впливу температури на інтенсивність цих процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день відома велика кількість моделей розвитку різних культур. Проблемою прогнозування урожайності в тій чи іншій мірі займаються науковці всіх країн з розвинутим сільським господарством. В Україні також було проведено низку досліджень, на основі яких розроблено статистично-біологічні моделі прогнозування урожайності сільськогосподарських культур. Ряд вчених займався моделюванням врожаїв саме зернових культур, зокрема, А.М. Польовий, П.В.Дмитренко, О.М. Дрозд, В.С. Антоненко та інші. Такі моделі імітують ріст та розвиток рослин під впливом широкого ряду факторів навколишнього середовища. Більшість моделей ранніх етапів розвитку існують як складові блоки моделей «погода – врожай», але виділяються і деякі самостійні моделі. Моделюванням періоду розвитку від висіву до сходів займалися як вітчизняні, так і зарубіжні автори [8, 15, 20, 21, 23, 25]. На ряду з багатофакторними моделями існують і простіші моделі, які враховують вплив лише кількох факторів. До них можна віднести статистичні моделі та методи прогнозів появи сходів. Такі моделі є простішими у застосуванні, але часом поступаються у точності багатофакторним моделям. Однак не можна однозначно визначити, які з них краще застосовувати на практиці, адже всі вони мають низку переваг та недоліків.

Матеріали та методи дослідження.

Модель створена на основі існуючих моделей формування сходів [2, 10, 11] з урахуванням досягнутого рівня моделювання та з внесенням певних модифікацій. Модель описує основні фізичні та біохімічні процеси, що відбуваються у насінні під час проростання та формування сходів. Деякі з цих процесів відбуваються одночасно, однак, деякі змінюють одні одних, тобто послідовні.

Модель складається з шести блоків:

- 1) блок поглинання вологи насінням;
- 2) блок гідролізу запасів ендосперму;
- 3) блок дихання;
- 4) блок накопичення маси;
- 5) блок росту колеоптиля;
- 6) блок визначення повноти сходів.

Перший блок моделі є дещо відокремленим від інших, оскільки головними результатами його роботи є час початку гідролізу та дихання і запуску ростових процесів у насінні або його «накльовування». Оскільки далі вміст вологи в насінні залишається незмінним протягом всього періоду та безпосередньо не впливає на протікання процесів, тому надалі застосування цього блоку не представляє інтересу.

Найбільший інтерес представляє блок росту колеоптиля, адже виходячи з нього, можна визначити довжину колеоптиля і час появи сходів як наслідок.

Температура відіграє важливу роль на всіх етапах формування сходів, тому знаходить своє відображення у більшості блоків моделі.

Результати дослідження та їх аналіз.

Модель була реалізована на ПК за допомогою програми Microsoft Office Excel. Для ідентифікації параметрів моделі була обрана кукурудза. Більшість початкових параметрів була визначена в результаті проведення експерименту з пророщування насіння кукурудзи в лабораторних умовах. Однак деякі параметри були отримані шляхом проведення аналізу наявних у літературі даних, а також за допомогою оптимізації та ручної добірки.

Модель чутлива до зміни температури на 1 °С, вологості на 1 мм та зміни щільності ґрунту на 0,1 г/см³. У якості кроку в часі обрано одну добу. Розглядався шар суглинкового ґрунту товщиною 5 см з найменшою вологоємністю 10 мм. Оптимальна вологість ґрунту становить 8 мм.

Відомо, що процес появи сходів складається з двох послідовних фаз: 1) поглинання насінням вологи і його набубнявіння; 2) ріст пагона і досягнення ним поверхні ґрунту. Тому чисельний експеримент також було поділено на два етапи: 1) дослідження швидкості накопичення вологи насінням; 2) дослідження швидкості подовження колеоптиля під впливом факторів зовнішнього середовища.

Детальніше зупинимося на першому етапі експерименту, де визначався вплив температури на поглинання вологи насінням. За умови, що вологість є оптимальною, а температура впродовж усього періоду зберігається на рівні 22 °С, насіння набубнявіє вже за 2 доби (рис. 1). Зі зниженням температури процес накопичення вологи сповільнюється і може тривати 3 – 5 діб.

Не викликає сумніву, що температура є основним фактором, який регулює швидкість накопичення води зернівкою. Інтенсивність накопичення вологи змінюється зі зміною температури. Збільшення температури прискорює темпи поглинання вологи насінням, а зменшення – затримує цей процес. Проте, коли температура є оптимальною, то фактором, котрий обмежує накопичення вологи, є вологість ґрунту.

Одержані результати моделювання накопичення вологи за направленістю процесу та виглядом отриманих кривих динаміки вмісту вологи у насінні співпадають з даними проведеного лабораторного експерименту. Дещо відрізняється час запуску ростових процесів. Згідно чисельного експерименту з моделлю він починається на одну добу раніше лабораторного. Однак, цей факт можна пояснити умовами проведення лабораторного експерименту, оскільки в реальних умовах ґрунт щільно огортає насіння, тобто задіяна вся поверхня зернівки, коли в умовах лабораторної імітації процесу (із застосуванням методу рулонів) волога може надходити у зернівку лише з боків.

Одержані результати близькі до даних Чіркова Ю.І., які підтверджують той факт, що при достатньому зволоженні ґрунту темпи проростання насіння кукурудзи залежать в основному від температури [19]. Так при 11 – 12 °С проростання почнеться за 7 – 9 діб, а при 18 – 22 °С – через 2 – 3 доби. Отримані в результаті моделювання значення повністю співпадають з даними Чіркова в діапазоні 18 – 22 °С, за меншої температури є незначні відхилення.

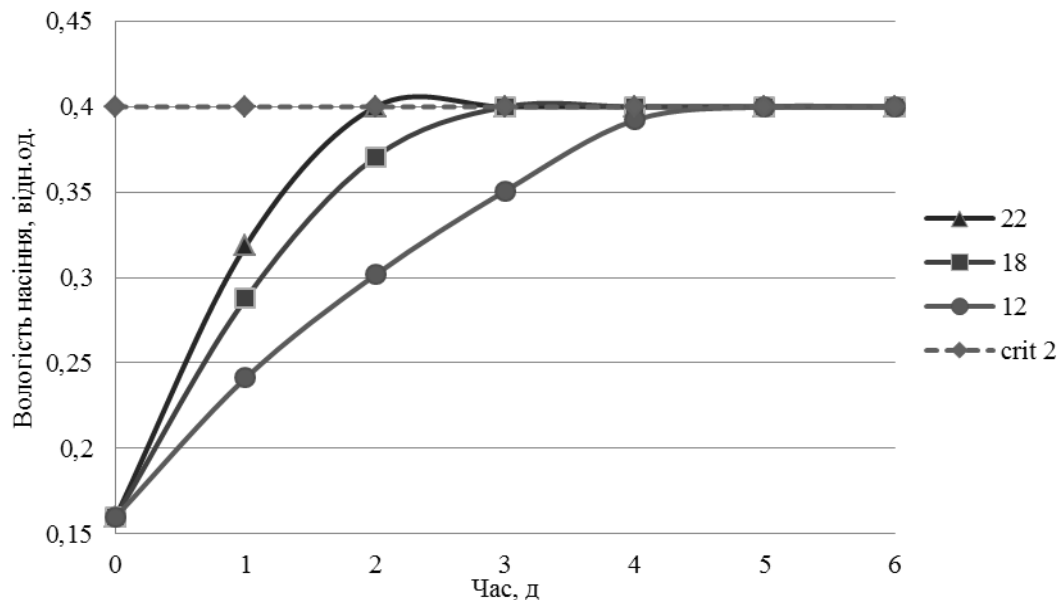


Рис. 1 – Динаміка накопичення вологи насінням при запасах вологи 7 мм та температурах ґрунту 12°C, 18°C та 22°C.

Швидке початкове поглинання вологи, очевидно, зумовлене поглинанням води покривною тканиною насіння і речовиною зародка, які відіграють роль вхідних каналів для подальшого проникнення води в ендосперм [12]. Оборотно́сть набухання насіння свідчить про те, що участь зовнішньої води в пробудженні насіння обмежена в основному реакцією гідратації. При цьому, однак, зростає рухливість в речовині насіння зв'язаної води та ферментів і починають відбуватися біохімічні реакції, що спричиняють за його проростання.

Р.А. Полуектовим запропонована деталізована схема надходження вологи в насіння, де окремо виділяються водні потенціали зародка та ендосперму [13]. Оскільки у нашому випадку основним результатом роботи блоку поглинання вологи є час початку гідролізу та росту осьових органів, тому не виникає потреби у додатковій деталізації і для розрахунків достатньо водних потенціалів насіння в цілому та ґрунту.

Також дещо відрізняється уявлення Полуектова щодо фізіології процесу проростання насіння. Автор відокремлює етап зародкового типу живлення, тобто за стандартних лабораторних умов перші 3 доби зародок використовує лише власні запаси, з 3-ї по 5-у добу – одночасно запаси зернівки та ендосперму і лише на 5-у добу відбувається повний перехід на ендоспермний тип живлення. Однак, оскільки зародок зазвичай складає лише 10% усього насіння і в ньому містяться порівняно незначні запаси поживних речовин, тому у розробленій моделі знехтувано такою деталізацією та розглядається лише зародково – ендоспермний тип живлення.

На жаль, не можна порівняти отримані результати чисельного експерименту з реальними даними польових спостережень агрометеорологічних станцій. Згідно Настанови агрометеорологічним станціям і поста́м відмічається фаза проростання насіння, коли перший зародковий корінь пробив покривну оболонку і помітно

висунувся назовні, для моделювання ж становить більший інтерес фаза лише набубнявіння насіння [7]. Тобто спостереження показує момент, коли ростові процеси вже почалися, але не відмічає саме момент їх запуску.

Очевидно, що на початку накопичення вологи відбувається швидше. Досліди, проведені О.В. Мушкетовою та А.С. Казаковою [6] з вивчення накопичення вологи насінням ячменю за перші дві доби після зволоження, також показують стрибок інтенсивності цього процесу, а саме: за першу годину насіння накопичує вже близько 16 % вологи (14% накопичуються вже за перші 20 хвилин після контакту з водою) і лише 2 % за другу годину. Надалі темпи поглинання води зменшуються і вода надходить в насіння досить плавно і повільно. Такий стрибок збігається з фазами набубнявіння: перша – фізичне і друга – фізіологічне набубнявіння [14, 16]. Фізичне набубнявіння – це процес поглинання води насінням як пористим тілом. Воно протікає швидко і завершується протягом перших шести годин [1]. Цей етап однаковий як у мертвого, так і у живого насіння. Фізіологічне набухання – поглинання води біоколоїдами клітини. На цьому етапі насіння збільшується в об'ємі, починається гідроліз запасних речовин ендосперму. Зазначені процеси властиві тільки живому насінню.

Зупинимося на другій частині експерименту, що описує вплив температури на швидкість подовження колеоптиля та появу сходів як наслідок.

Швидкість появи сходів має безумовне значення для майбутнього врожаю. Ф.Н. Коган встановив обернений зв'язок врожаю ярової пшениці із тривалістю періоду посів – сходи [4]. Швидка поява сходів ячменю спричиняє прискорене утворення вузлів коренів, підвищує продуктивність рослин. З прискоренням появи сходів зменшується вірогідність загнивання та загибелі насіння, особливо, пошкодженого.

Температура прискорює гідроліз запасних речовин зернівки, дихання та накопичення сухої маси коренем і пагоном, що візуально відображається подовженням колеоптиля. Авторами [26] також зазначалося, що найбільш сприятливою температурою для проростання є 20,2 – 25,2 °С. Що не менш важливо, зростання температури збільшує активність α -амілази, яка прискорює виділення ферментів, що сприяють перетворенню запасних речовин ендосперму на доступні для росту сполуки. Як наслідок збільшуються фонди сполук, що йдуть на ріст осьових органів.

За умов недостатнього зволоження, температур, близьких до біологічного мінімуму культури, а також зі збільшенням щільності ґрунту виникає загроза загибелі рослини, не досягши поверхні. У цьому випадку запаси ендосперму вже вичерпані на ріст, однак, пагін ще не досяг земної поверхні, тобто рослина ще не здатна перейти на наступний етап розвитку та отримувати енергію для підтримки подальшого росту в результаті фотосинтезу.

Одержані результати чисельних експериментів з моделлю близькі до розрахованих В.П. Дмитренком, виходячи з отриманого ним рівняння впливу температури повітря на тривалість періоду посів – сходи для ячменю, вівся, жита та пшениці [3]. Але зазначимо, що визначена Дмитренком залежність базується на дослідах Т.Д. Лисенка [5], які виключають випадкову дію вологості ґрунту, глибини закладення насіння та якості насіння. Згідно з Дмитренком, при температурі 22 °С сходи з'являться за 5 діб, що збігається з отриманими нами результатами (рис. 2). При температурі 18 °С тривалість періоду становить 6 діб, що в порівнянні із змодельованими даними відрізняється на 1 – 2 доби. В умовах температур, близьких до біологічного мінімуму кукурудзи, спостерігаються деякі розходження. Це пояснюється тим, що кукурудза є теплолюбною культурою і зниження температури затримує темпи її росту більшою мірою, ніж пшениці та ячменю, переважно для яких Дмитренком розроблене рівняння. Дмитренко також розрахував тривалість періоду посів – сходи за

методиками О.С. Уланової, А.І Руденко, Г.З. Венкевича та Г. Жеслена, що дає можливість порівняти отримані нами значення з більшим числом існуючих методів. В результаті порівняння виявлено схожі залежності, однак, більш близькими є розрахунки за А.І. Руденко для 18 °С. Є значні розходження з методикою О.С. Уланової, що також пояснюється специфікою методики для пшениці.

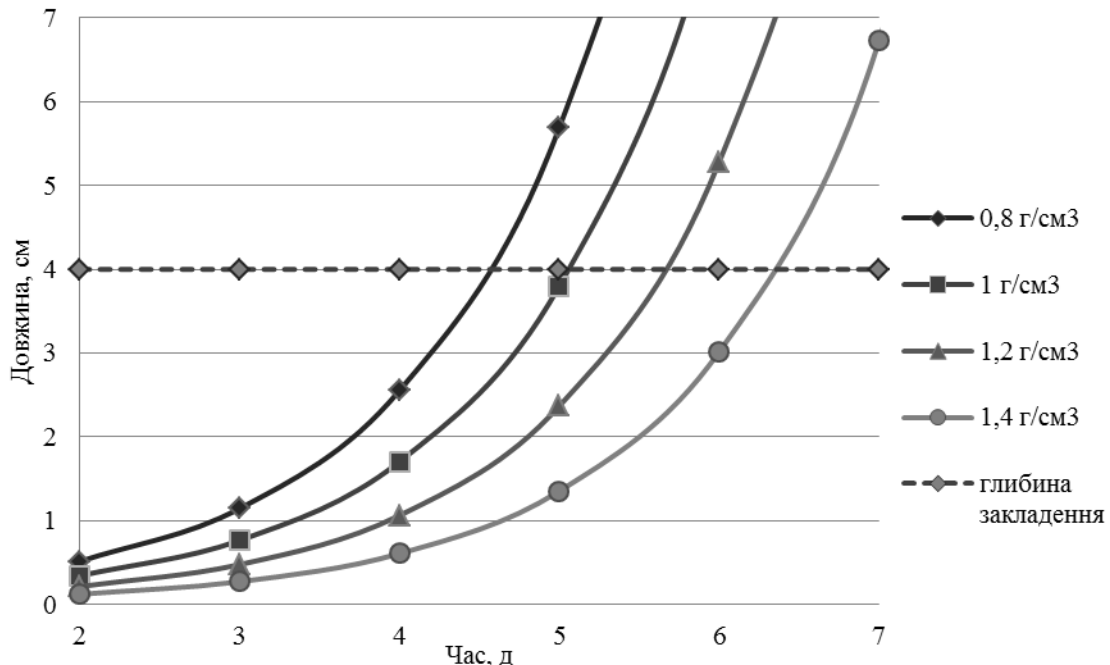


Рис. 2 – Динаміка подовження колеоптіля при температурі 22 °С та запасах вологи 7 мм за різної щільності ґрунту (0,8 – 1,4 г / см³).

За даними Ю.І. Чіркова за сприятливих умов сходи з'являються за 6 – 10 діб та за 20 – 25 діб – за несприятливих, що також збігається з результатами чисельного експерименту (рис. 3).

Одержані результати добре узгоджуються з [24] про час появи сходів та швидкістю подовження колеоптіля в межах температури вище 15 °С, оскільки автори розглядають особливості проростання ярової пшениці, яка є менш вибагливою до температури і може розвиватися при температурах значно нижчих, аніж ті, яких потребує кукурудза. Визначена авторами бета-функція описує залежність щоденного приросту довжини колеоптіля від температури в умовах, коли вологість ґрунту не є лімітуючим фактором. Результати моделювання узгоджуються з наведеними розрахунковими даними бета-функції і часом появи сходів, а також з даними експериментів, проведених де Йонг та Бест [22]. Однак авторами взято за основу припущення, що в умовах підтримання постійної температури рівень щоденного подовження буде постійним (мм на добу), коли в розробленій моделі береться до уваги щодобове поступове підвищення інтенсивності росту колеоптіля від моменту запуску ростових процесів у насінні.

Особлива роль у появі сходів та їх повноті належить низьким температурам. Низькі температури порушують біологічну рівновагу між корисними та патогенними мікроорганізмами на користь останніх, починають розвиватися грибки, що уражують насіння, яке наклюнулося, та молоді рослини [9].

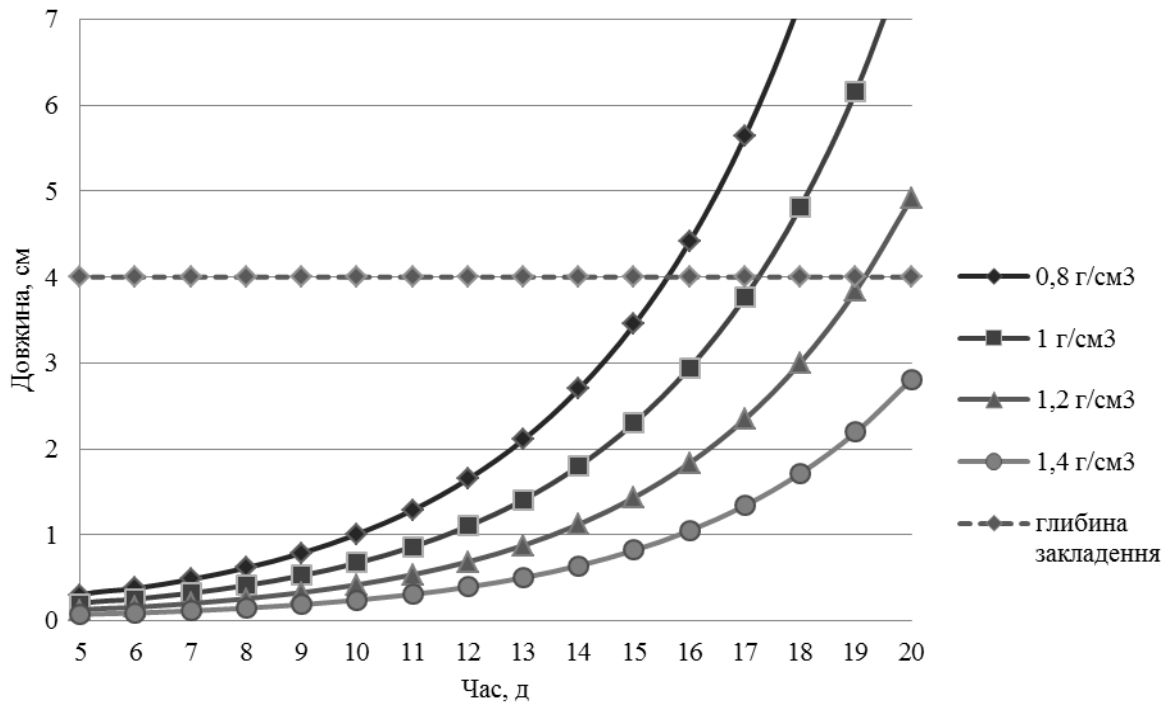


Рис. 3 – Динаміка подовження колеоптиля при температурі 12 °C та запасах вологи 7 мм за різної щільності ґрунту (0,8 – 1,4 г / см³).

Кукурудза відноситься до теплолюбних рослин, тобто таких, які при охолодженні до температури, близької до 0 °C, гинуть або у них виникають помітні пошкодження: затримується ріст, значно зменшується продуктивність.

У кукурудзи, вирощеної в холодному ґрунті (8 – 10°C), в ранні фази розвитку затримується накопичення сухої речовини – вуглеводів, аскорбінової кислоти, знижується оводненість тканин, інтенсивність дихання, фотосинтезу, значно змінюється діяльність ферментів, поглинання елементів мінерального живлення та води. У холодостійких рослин подібні порушення фізіологічних процесів менше виражені або зовсім не спостерігаються [18].

На знижену температуру різні сорти кукурудзи реагують неоднаково. Більш стійкі до неї скоростиглі сорти. Висока чутливість до низької температури характерна для пізньостиглих сортів.

Різна реакція на знижену температуру спостерігається вже в період набубнявіння та проростання насіння. Швидкість переходу рослин до активної життєдіяльності, так само, як швидкість поглинання води, а значить, і набубнявіння зернівки, вища у більш холодостійкої рослини.

Негативний вплив зниженої температури ґрунту на зернівки кукурудзи посилюється ще і тим, що вони можуть пошкоджуватися пліснявими грибами. Значна частина насіння при цьому гине, польова схожість знижується, а посіви зріджуються. Зазвичай, щоб послабити шкоду, яка завдається пліснявими грибами, використовують передпосівний обробіток насіння різноманітними речовинами, які знищують гриби.

Чутливість зернівки кукурудзи до зниженої температури залежить від її дії на зародок. У не холодостійких сортів насіння не проростає при зниженій температурі навіть у випадку, якщо ним була поглинута достатня кількість води. В такому насінні за зниженої температури сповільнюється процес перетворення запасних речовин – крохмалю, білків, жирів – на форми, що засвоюються зародком, та ускладнюється його перехід в активний стан.

Залежність схожості насіння кукурудзи від температури має вирішальне значення при виборі строків сівби. З цього питання накопичено багато експериментального матеріалу, виходячи з якого висів кукурудзи найкраще здійснювати тоді, коли температура ґрунту на глибині закладення насіння становить 10 – 12 °С.

При більш детальному вивченні процесів росту кінчиків кореня молодих проростків кукурудзи в ґрунті, охолодженому до 12 °С, встановлено, що сповільнюється інтенсивність клітинного ділення та росту кінчика кореня в довжину, також посилюється накопичення нуклеїнових кислот та білка [17, 18]

Отже, вплив температури на появу сходів, описаний за допомогою чисельного експерименту з моделлю, підтверджується даними польових та лабораторних експериментів, наведених в літературних джерелах.

Висновки. Розроблена динамічна модель формування сходів зернових культур, яка дозволяє визначити терміни появи сходів, польову схожість, розподіл кількості рослин з різною глибиною закладення насіння та кількість рослин на одиницю площі. Модель дозволяє визначити реакцію насіння на зміну агрометеорологічних умов.

Найбільше значення у життєдіяльності висіяного насіння має температура. Її вплив відбивається практично у всіх процесах, що відбуваються у молодій рослині.

У чисельних експериментах встановлена висока чутливість швидкості накопичення вологи насінням до зміни температури. Інтенсивність подовження колеоптиля також чутлива до цього фактора.

За оптимальних умов навколишнього ґрунтового середовища насіння накльовується вже за 2 доби. Сходи ж з'являються щонайменше за 5 – 6 діб. Зі зниженням температури ґрунту інтенсивність проростання насіння також зменшується. Через те, що процес накопичення вологи сповільнюється, ріст почнеться за 3 – 5 діб. При температурі 18 °С сходи з'являться через 7 – 10 діб, а при 12 °С – мінімум через 16 діб після висіву.

Негативний вплив зниженої температури ґрунту на насіння посилюється і тим, що виникає ризик пошкодження пліснявими грибами, хворобами та шкідливими бактеріями. Значна частина насіння при цьому гине, польова схожість знижується, а посіви зріджуються.

Список літератури

1. *Алексейчук Г. Н.* Индуцирование стрессоустойчивости растений ячменя при прорастании семян: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Алексейчук Галина Николаевна; Национальная Академия наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск, 1999. – 20 с.
2. *Антоненко В.С.* Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. – К.: «АртЕк», 2002. – С.64.
3. *Дмитренко В.П.* Влияние температуры воздуха на продолжительность периода посев – всходы зерновых культур. – Труды УкрНИГМИ. – 1961. – Вып. 22. – С.19 – 31.
4. *Коган Ф. Н.* Расчет урожая яровой пшеницы по метеорологическим данным в районах резко континентального климата //Метеорология и гидрология. – 1966. – Т. 10. – С. 14-19.
5. *Лысенко Т.Д.* Стадийное развитие растений. – М.: Сельхозиздат, 1952. – 34 с.
6. *Мушкетова О.В., Казакова А.С.* Поглощение воды семенами ярового ячменя на этапе физического набухания // Вестник аграрной науки Дона. – 2009. – № 1. –С. 39–43.
7. *Настанова* гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 11. Агрометеорологічні спостереження. – Київ: Держгідрометслужба, 2007. – 362 с.
8. *Немченко О. А., Мусаменко Л. И.* Моделирование роста и метаболизма растений на ранних этапах органогенеза // Физиология и биохимия культурных растений. – 1982. – Т. 14, №5. С.439 – 445.
9. *Носатовский А.И.* Пшеница. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1950. – 408 с.
10. *Павлова В.Н.* Моделирование ростовых процессов в период прорастания зерна в рамках моделей «погода – урожай»//Труды ВНИИСХМ. – 1983. – Вып. 8. – С. 28 – 36.

11. *Польовий А.Н.* Динамічна модель проростання насіння та формування сходів зернових культур // Український гідрометеорологічний журнал. – 2008. – №3. – С. 75 – 84.
12. *Полевой В.В.* Физиология растений. – М., Высшая школа, 1989. – 464 с.
13. *Полуэкттов Р.А.* Моделирование продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэкттов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. – 396 с.
14. *Смиловенко А.А.* Семеноводство с основами селекции полевых культур: учеб. пособие / А.А. Смиловенко. – М.: ИКЦ «МарТ», 2004. – 240 с.
15. *Строганова М.А., Коровин А.И., Полевой А.Н.* Динамическая модель расходования запасов эндосперма семян зерновых культур в процессе прорастания и в период до появления всходов//Сельскохозяйственная биология. – 1983. - №1. – С. 126 – 135.
16. *Третьяков Н.Н.* Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др. – М.: Колос, 1998. – 640 с.
17. Физиология сельскохозяйственных растений. Т. 4: Физиология пшеницы / Отв. ред. тома П.А. Генкель. – 1969 – 555 с.
18. Физиология сельскохозяйственных растений. Т. 5. Физиология кукурузы и риса / Отв. ред. тома Б.А. Рубин. – М.: Издательство Московского университета, 1969. – 416 с.
19. *Чирков Ю.И.* Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. – Л.: Гидрометиздат, 1969. – 251 с.
20. *Aggarwal P.K. et al.* InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. / Agricultural Systems. – № 89. – 2006. – P. 1–25.
21. *David M. Alm et al.* An Index Model for Predicting Seed Germination and Emergence. / Weed Technology. – Vol. 7. – № 3. – 1993. – P. 560–569.
22. *de Jong R., Best K.F.* The effect of soil water potential, temperature and seedling depth on seedling emergence of wheat. / Can. J. Soil Sci. 59, 1979. – P. 259 – 264.
23. *Forcella F. et al.* Modeling seedling emergence. / Field Crops Research. – Vol. 67. – 2000. – P. 123 – 139.
24. *Jame Y. W., Cutforth H. W.* Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat //Agricultural and Forest Meteorology. – Т. 124. – №. 3. – 2004. – P. 207-218.
25. *Palosuo T. et al.* Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. / Europ. J. Agronomy. – Vol. 635. – 2011. – P. 103 – 114.
26. *Seefeldt S. S., Kidwell K. K., Waller J. E.* Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. / Field Crops Research. – № 75. – 2002. – P. 47 – 52.

Моделирование влияния температуры на формирование всходов зерновых культур. Сініцина В.В.

Рассматривается влияние температуры на формирование всходов зерновых культур. Представлены результаты проведенного численного эксперимента по моделированию влияния агрометеорологических условий на накопление влаги зерновкой и удлинение coleoptile на примере семян кукурузы.

Ключевые слова: набухание, семя, эндосперм, coleoptile, рост, всходы.

Modeling of temperature influence on grain crops emergence. Sinitsyna V.

Influence of temperature on grain crop emergence is reviewed. The results of numerical experiment of agrometeorological factors influence modeling on water imbibition of seed and coleoptile elongation are represented.

Keywords: swelling, seed, endosperm, coleoptile, growth, emergence.