

УДК 635.044

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОСЛИНИ В СИСТЕМІ РОСЛИНА-ГРУНТ-ПОВІТРЯ

Болбот І.М., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел. (044) 527-87-33

Анотація – запропоновано математичну модель впливу тепло забезпечення на ріст та розвиток рослини в системі рослина-грунт-повітря. Модель описує якісні показники росту і розвитку рослини, що знаходиться в тісній взаємодії з динамікою параметрів оточуючого середовища в теплиці.

Ключові слова – математична модель, теплозабезпечення, температурний режим, рослина, тепличне господарство.

Постановка проблеми. Практичний досвід експлуатації автоматичних систем керування в тепличних господарствах дозволяє зробити висновок, що тепловий режим в теплиці змінюється за випадковим алгоритмом, що ускладнює забезпечення її оптимального значення. Ця особливість не дозволяє здійснити одноразову настройку обладнання на постійний оптимальний режим [1]. Крім того, параметри таких систем змінюються в часі, що обумовлено зміною параметрів об'єкта, а тому постала актуальною проблема в розробці нової комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічним процесом в промисловій теплиці, яка буде враховувати вплив теплового режиму на розвиток та врожайність рослини. Автоматичні системи управління такого типу, в першу чергу, повинні приймати рішення базуючись на математичних розрахунках [9], які б враховували вплив температури повітря на врожайність рослини. Такий підхід дозволить встановити, яку саме врожайність можемо отримати при дотриманні певного рівня температури повітря в теплиці.

Аналіз останніх досліджень. Проаналізовано джерела щодо впливу факторів оточуючого середовища на ріст та розвиток рослини. Методика дослідження ґрунтується на вивченні тепломасообмінних процесів, що протікають у об'єкті закритого ґрунту і впливають на показники росту і розвитку рослини.

З усього розмаїття факторів, що впливають на ріст та розвиток рослини, найбільш істотними є тепломасообмінні процеси. Аналіз літературних джерел [3, 4] свідчить про те, що всю кількість чинників, що впливають на рослину можна звести до світла, тепла, води, поживних речовин і вуглекислоти. Всі ці чинники рослина вбирає з оточуючого середовища, переробляє, частково засвоює і потім формується урожай. Цілком природно, щоб весь цей потік енергії і маси, що надходить до рослини, засвоювався рослиною в оптимальних кількостях. Для рослини однаково погані і дуже малі і дуже великі порції води, поживних елементів, тепла і т. д. Враховуємо, що кожен з цих чинників є досить складним і багатоконпонентним, а одночасне їх поєднання призводить до дуже складної системи, що зумовлює формування врожаю в цілому [10]. Візьмемо, світловий фактор, розглянувши його, можемо назвати ряд величин, які характеризують світлову енергію: освітленість, тривалість сонячного світла, сумарну радіацію і т. д. Розглянувши тепловий фактор, можемо перерахувати ряд його характеристик, таких, як температура, кількість тепла, теплофізичні властивості і т. д. Причому кожен з цих величин, як в області світла, так і в області тепла, можна віднести до самої рослини, до ґрунту, до повітря, а також до різних поєднань цих об'єктів.

В якості єдиного і найбільш впливового показника візьмемо деяку особливість впливучинників на ріст та розвиток рослини. Розглянемо вплив теплового режиму, його критичного значення, нижче або вище якого рослина перестає нормально розвиватися або навіть гине [8]. Будучи безумовно істотним показником холодостійкості або посухостійкості, критичні температури ні в якій мірі не можуть відобразити всієї складності теплових процесів в об'єкті закритого ґрунту, які охоплюють теплообмін між рослиною і повітрям, рослиною і ґрунтом, ґрунтом і повітрям. Сума температур за вегетаційний період або за інший відрізок часу, протягом якого протікають відповідальні етапи розвитку культури, це лише підсумкове значення, до якої входить безліч теплових явищ, що мають місце в системі рослина-ґрунт-повітря.

Для оцінки кількісного зв'язку теплозабезпечення системи рослина-ґрунт-повітря потрібно дослідити тепловий баланс [6]. Складемо тепловий баланс в формі, яка дозволить одним параметром характеризувати найважливішу сторону обмінних процесів і притому віднести його до всієї системи в цілому. Таким параметром може стати коефіцієнт забезпеченості врожайності.

Розглянемо вплив теплового режиму на розвиток томатів, яка є однією з розповсюджених культур, що вирощуються в закритому ґру-

нті. Однією з основних умов отримання раннього і гарного врожаю томату є підтримка оптимального для рослини температурного режиму. У різні періоди росту і розвитку рослина вимагає певної температури повітря і ґрунту [7].

Необхідна температура для проростання насіння томату 24..26 °С. Після появи перших бутонів на рослині температуру вдень піднімають до 17..18 °С, а вночі температуру знижують до 16 °С. Температура повітря і ґрунту для томата в значній мірі визначається освітленістю і вмістом у повітрі вуглекислого газу. У сонячну погоду влітку 22..25 °С, в похмурий день 20..22 °С, вночі 16..18 °С. Нічну температуру завжди підтримують нижче денної. Особливо це важливо в період росту плодів. Різниця повинна складати не менше 5 °С. Це необхідно для того, щоб асимільовані рослиною за день речовини інтенсивно не витрачалися вночі на дихання [8].

При постійній температурі 15°С ріст зупиняється, а якщо температура буде менше 10°С, то ріст повністю припиняється. Рослина починає швидко відмирати, якщо температура наближається до 0,5..0,8°С. За декілька годин при такій температурі може відбутися повне відмирання рослини. При підвищенні температури понад 35°С фотосинтез сповільнюється. При високій температурі також порушується запилення [10].

Температура ґрунту має значний вплив на всі процеси життєдіяльності рослини. Якщо вона нижче, ніж 14 °С, в кореневій системі припиняється синтез речовин, необхідних для росту і розвитку бутонів. У томатів у відношенні температури простежується певна закономірність. Чим вона вища, тим швидше настає дозрівання, менш розгалужене суцвіття, дрібніші плоди і мають менше камер, довше міжвузля і т.д., що в кінцевому підсумку призводить до раннього, але низького загального урожаю. Навпаки, при низьких температурах отримують більш пізній, але великий урожай. Тому оптимальний температурний режим ґрунту і повітря необхідно визначати для конкретних умов вирощування рослини.

Світло - це один з основних факторів, що лімітують ріст і розвиток рослин. Томат дуже вимогливий до освітленості. Мінімальна освітленість, при якій ще можливий вегетативний ріст рослини 2..3 тис. лк. При освітленості нижче цього порога розпад асимілянтів на дихання перевищить їх прихід від фотосинтезу. При достатній наявності сонячних променів прискорюється розвиток рослин: вони раніше цвітуть і плодоносять. При похмурій, навіть теплій погоді, цвітіння затримується, і плодоношення настає пізніше. При сонячному опроміненні 8 МДж (2,22 кВт·ч) на добу та звичайному вмісті в повітрі CO₂ (0,03%), вро-

жайності томатів коливається в межах 40..150 грам з одного куща за добу і залежить від рівня теплозабезпечення [2], температура повітря для фотосинтезу томату повинна знаходитися в межах 20..25 °С.

Формулювання мети статті. На основі комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що протікають в системі рослина-грунт-повітря, побудувати математичну модель впливу теплозабезпечення на ріст та розвиток рослини.

Основна частина. Оцінка врожайності сільськогосподарської культури з заданими генетичними якостями по забезпеченню теплом зводиться до вирішення рівняння виду

$$Y = f(p), (1)$$

де p – забезпечення теплом.

Величина p – це дріб, в знаменнику якої значиться загальне надходження тепла до рослини, а в чисельнику – незасвоєна частина тепла, що залишається в системі, використовується нею і йде на формування температури повітря, що визначає характер і стан сільськогосподарської культури на кожній стадії її розвитку. Структура величини p така, що вона змінюється в межах від нуля до одиниці. Якщо вона дорівнює нулю, то температура повітря зовсім не засвоюється і не використовується в теплиці, і навпаки, якщо вона наближається до одиниці, то має місце умова повної акумуляції даного чинника, що надходить до рослини. Визначимо рівень теплозабезпечення рослини

$$p = \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{Q_c + Q_d + Q_{co} - (LU + P + Q_{\text{вун}} + Q_{\text{від}})}{Q_c + Q_d + Q_{co}}, (2)$$

де γ – весь приплив тепла до системи рослина-грунт-повітря, який складається з сумарної короткохвильової радіації Q_c і довгохвильового випромінювання атмосфери Q_d , надходження тепла від системи опалення Q_{co} ; α – становить все тепло, що поглинається грунтом та рослиною, і проміжним шаром повітря, що заповнює проміжки між рослинами, який складається з LU – тепло, що витрачено на сумарне випаровування від рослини, P – турбулентний потік тепла від поверхні, за яку прийнятий рівень крон рослин, $Q_{\text{вун}}$ і $Q_{\text{від}}$ – радіаційні потоки, обумовлені випромінюванням і віддзеркаленням тієї ж поверхні.

Надходження тепла до системи рослина-грунт-повітря зображено на рис.1.

Розглянемо детальніше критерій p для цього введемо поняття: теплоаккумуляція в шарі проростання рослин, яка представляє собою величину $(c_s \Delta T)_s$, де c_s – теплоємність повітряного шару між рослинами, ΔT – зміна температури за період спостережень; $(c_p \Delta T)_p$ –

теплоаккумуляція самих рослин, тому що c_p^p – теплоємність рослинної маси, а ΔT в цій комбінації $(c_p^p \Delta T)_p$ – зміна температури рослин (середня температура листя різного ярусу, стебла); $\frac{\lambda \Delta T}{\Delta x} \Big|_{x=a}$ – потік тепла в ґрунті починаючи з глибини $x=a$; λ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту в шарі $(a-\infty)$. Шар ґрунту глибиною $(0-a)$, в якому мають місце добові коливання температури і встановлюються помітні вертикальні перепади, назовемо активним шаром ґрунту. Крім того, нехай $(c_n \Delta T)_n$ означає зміну вмісту теплоти в верхньому шарі кореня $(0-a)$, що містить ґрунт і коріння рослин.

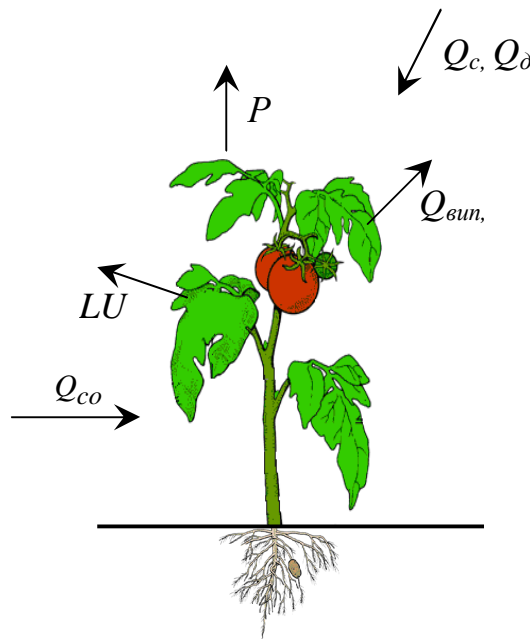


Рис.1. Надходження тепла до системи рослина-ґрунт-повітря.

Таким чином, чисельник критерію p містить суму $(c_e \Delta T)_e + (c_p^p \Delta T)_p + \frac{\lambda \Delta T}{\Delta x} \Big|_{x=a} + (c_n \Delta T)_n$, що представляє собою при відніманні з усього надходження тепла $Q_c^{(H)} + Q_d^{(H)} + Q_{co}$ величину, що акумулюється нашою системою (рослина-ґрунт-повітря) енергії. Знаменник складається з надходження тепла до системи від різних джерел, складений з сумарної короткохвильової і довгохвильової $Q_c^{(H)} + Q_d^{(H)}$ радіації, що надходить з атмосфери системи опалення Q_{co} до верхнього рівня рослин, отже

$$p = \frac{(c_p^p \Delta T)_p + (c_e \Delta T)_e + \frac{\lambda \Delta T}{\Delta x} \Big|_{x=a} + (c_n \Delta T)_n}{Q_c^{(H)} + Q_d^{(H)} + Q_{co}}. \quad (3)$$

Важливо зазначити, що всі величини, які впливають на теплозабезпечення рослин p вимірюються існуючими технічними засобами автоматики і входять до складу систем управління мікрокліматом. Ніяких допоміжних невідомих емпіричних індексів, констант, параметрів не потрібно для знаходження критерію забезпеченості врожаю. Розглядаючи поняття врожай, не можна випускати з уваги принцип лімітуючих факторів, оскільки він полегшує реалізацію фізичного або комбінованого методу дослідження вирощування рослини. Виходячи з конкретних обставин, що впливають на врожайність, способу вирощування, виду рослини, фітокліматичного впливу, необхідно провести оцінку співвідношення значимості головних і другорядних чинників врожайності. В міру збільшення тепла, відбувається зростання врожаю, але до певної межі, після чого всяке зростання температурного режиму вже не дає ніякого збільшення врожаю (в кількісному, якісному, вартісному виразах). Більш того, відбудеться згасання врожаю. В результаті всієї цієї комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що досліджуємо потрібно з'ясувати, яким повинен бути рівень теплозабезпечення, щоб отримати оптимальну величину врожаю враховуючи вартісно-економічні показники.

Висновки Встановлено, що найбільш значним чинником, який впливає на ріст та розвиток рослини є тепловий режим. Запропоновано математичну модель, впливу рівня теплозабезпечення на ріст та розвиток рослини в системі рослина-грунт-повітря. Встановлено, що при збільшенні тепла, відбувається зростання врожаю, але до певної межі, після чого всяке зростання рівня теплозабезпечення вже не дає ніякого збільшення врожаю, більше того, відбудеться його згасання.

Література

1. *Koshkin D.* The dynamic model of the greenhouse environment control system / *D. Koshkin* // *Motrol*, 2011. – Lublin. – Tom 13A. – P. 189-195.
2. The Effect of Temperature and Mean Cumulative Daily Light Intensity on Fruiting Behavior of Greenhouse-grown Tomato / *SezginUzun* // The University of OndokuzMayıs, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 2007. – 132(4). – P. 459-466 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://journal.ashspublications.org/content/132/4/459.full.pdf>.
3. *Алиев Э.А.* Выращивание овощей в гидропонных теплицах / *Э.А. Алиев*. – М.: Урожай, 1985. – 160 с.
4. *Брызгалова В.А.* Овощеводство защищенного грунта / Под ред. *В.А. Брызгалова*. – М.: Колос, 1995. – 352 с.
5. *Глобуса А.М.* Физика среды обитания растений / Под ред. *А.М. Глобуса*; перев. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 304с.

6. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Б.Х. Драганов, В.А. Кузнецов, С.П. Рудобаишта. – М.: АПИ, 1986. – 463 с.

7. Куртнер Д.А. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте / Д.А. Куртнер, И.Б. Усков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 235 с.

8. Максимов Н.А. Краткий курс физиологии растений / Н.А. Максимов. – М.: "Госиздат с.х.литературы", 1958. – 562 с.

9. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 260с.

10. Шишко Г. Г. Теплицы и тепличные хозяйства: справочник / Г.Г. Шишко. – К.: Урожай, 1993. – 424с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЯ РАСТЕНИЯ В СИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ-ПОЧВА-ВОЗДУХ

Болбот И.М.

Аннотация

Предложена математическая модель влияния теплообеспечения на рост и развитие растения в системе растение-почва-воздух. Модель описывает качественные показатели роста и развития растения, которое находится в тесном взаимодействии с динамикой параметров окружающей среды в теплице.

MATHEMATICAL MODEL HEAT SUPPLY OF PLANTS IN SYSTEM OF SOIL-AIR-PLANTS

I. Bolbot

Summary

Suggested the mathematical model impact heat supply on the growth and development of plants in the system soil-plant-air. The model describes the qualitative characteristics of growth and development of plants that are in close interaction with the dynamic parameters of the environment in the greenhouse.