ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТИЧНИХ ПЕРІОДІВ РОСТУ ПОМІДОРА ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ПОЛИВУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОСТОВОЇ ФУНКЦІЇ

В. В. ВАСІЮТА, кандидат сільськогосподарських наук,

Інститут водних проблем і меліорації НААН

E-mail: vasyuta.vladimir@rambler.ru

Анотація. У статті розглянуто моделювання росту рослин помідора функцією Б. Гомперца за площею листкової поверхні для визначення основних параметрів росту в критичних точках, тривалості критичних періодів, встановлення тісноти зв'язку мінливості урожайності з трансформацією параметрів росту у критичні фази, за різних способів поливу.

Ключові слова: критичні періоди, критичні точки росту, функція Гомперца, швидкість росту, прискорення росту

Актуальність. Урожайність є інтегральним показником продукційного процесу, спрямованість та інтенсивність якого визначається дією і взаємодією факторів. Протягом періоду вегетації продукційним процесом управляють, реалізуючи ряд технологічних операцій, спрямованих на створення оптимальних умов росту і розвитку рослин. Як відомо, в процесі росту і розвитку інтенсивність ростових процесів за фазами мінлива, і фази, в які порушення оптимальних умов росту призводить до істотних втрат урожаю, називаються критичними. В цьому контексті визначення тривалості критичних періодів, мінливості параметрів росту рослин за дії і взаємодії факторів, виявлення ступеня варіювання їх продуктивності за зміни інтенсивності росту в критичні періоди мають велике значення оскільки дозволяють означити оптимальні параметри факторів впливу. Цей напрям досліджень особливо важливий у зрошуваному овочівництві, де порушення оптимальних умов росту в критичні фази, в першу чергу водного режиму, є причиною значного зниження продуктивності рослин. Тому, визначення рівня впливу регульованих факторів на параметри росту рослин у критичні періоди, встановлення ступеня

зв'язку мінливості параметрів росту з продуктивністю рослин є актуальними завданням, оскільки дозволяють вирішувати питання щодо оптимізації регулюючих факторів, підвищуючи ефективність використання ресурсів за отримання економічно-доцільного рівня продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Високий рівень продуктивності – це похідна оптимальних умов росту, особливо в критичні періоди, де їх порушення є причиною незворотних втрат урожаю [1]. Визначення параметрів росту в момент досягнення рослинами критичних фаз забезпечує порівняльну базу, дозволяє глибше розкрити сутність ростових процесів за впливу факторів регулювання [2, с. 141] і, відповідно, прийняти рішення щодо оптимізації параметрів регулюючих факторів. Один з напрямів вирішення проблеми моделювання ростового процесу функціями росту [3], на основі аналізу яких аналітично визначаються основні параметри росту в критичних точках. Це дозволяє аналітично визначити параметри росту в критичні періоди, оцінити їх мінливість та встановити наслідки варіювання на урожайність рослин. У зрошуваному овочівництві поняття критичних періодів розглядається переважно в контексті формування оптимального режиму зрошення рослин [4]. Одним з його елементів, який визначає інтенсивність поливів, є передполивний рівень вологості ґрунту, підтримання якого за різних способів поливу досягається відповідною нормою поливу. Як результат, різнитимуться і тривалості міжполивних періодів, що не може не вплинути на інтенсивність ростових процесів, особливо в критичні фази розвитку. Практика свідчить, що механізм визначення параметрів росту рослин у критичні фази та встановлення їх зв'язку із продуктивністю на основі аналізу ростових функцій є доволі поширеною [5, 6], проте, в зрошуваному овочівництві цьому напрямку досліджень в умовах південного регіону приділено недостатньо уваги.

Матеріали і методика досліджень. Завданням наших досліджень було ідентифікувати математичну модель росту помідора, визначити критичні фази росту, тривалість критичних періодів за різних способів поливу та встановити наявність зв'язку несталості параметрів росту в критичні фази з урожайністю.

Моделювання проведено за методикою [2] на основі динаміки площі листової поверхні, отриманої в польових дослідах у період з 1993 по 2010 рік за різних способів полив, згідно методики [7, 8] в Інституті зрошуваного землеробства НААН України.

Результати досліджень та їх обговорення. Одним із головних факторів, що характеризує розвиток рослин є площа листкової поверхні. Дослідження динаміки зростання площі листкового апарату рослин помідора, визначення його реакції на вплив регулюючих факторів через основні показники параметрів росту в критичні періоди є важливим завданням для усвідомлення зв'язку ступеню впливу цих перетворень на кінцеву продуктивність рослин. Вирішувалося завдання моделюванням росту площі листкового апарату відповідною функцією росту за експериментальними даними. Адекватність моделі перевіряли за критерієм χ^2 .

Аналіз експериментальних кривих зростання площі листкової поверхні помідора за різних способів поливу (рис. 1) показує, що вони не симетричні і, відповідно, для моделювання найбільш придатна функція Б. Гомперца:

$$y = \frac{A}{1 + 10^{a+bx}},$$

де y – теоретична площа листкової поверхні м²/га; A – різниця між верхньою і нижньою асимптотами площі листкової поверхні, м²/га; x – тривалість періоду вегетації від початку росту, діб; a і b – константи, які визначають нахил, перегин та точки перегину кривої росту.

Оцінка адекватності апроксимації площі листкової поверхні помідора за способами поливу засвідчила, що за критерієм χ^2 , який дорівнює 0,32-0,35 ($\chi_{st}^2 = 3,841$), теоретична величина площі листкової поверхні не різниться від експериментальних даних і, відповідно, визначення критичних періодів і параметрів росту функцією Б. Гомперца є достовірними. Розв'язанням рівняння отримані константи функції Б. Гомперца (табл. 1), що дозволили представити інтенсивність ростових процесів кривими зростання площі листкового апарату,

визначити критичні точки росту, динаміку її зростання в цих точках через швидкість і прискорення зростання, тривалість окремих фах росту і критичних періодів взагалі.

1. Константи функції Б. Гомперца для визначення площі листкової поверхні помідора за різних способів поливу

Способи поливу	Параметри рівняння	
	a	b
Дощування	1,020266	-0,02661
Мікродощування	1,022968	-0,02665
Краплинне зрошення	1,025395	-0,02669

Точки перегину кривих T_1 , T_2 , T_3 визначають фази росту, в які істотно змінюється інтенсивність і направленість зростання площі листкового апарату: від максимального прискорення до гальмування, характеризують переломні моменти росту і, відповідно, мають назву критичних [2, с. 140]. Їх визначення має важливе значення, оскільки створює основу для порівняльного аналізу параметрів росту, отриманих в процесі аналізу функції росту (рис. 1).

Рис. 1. Експериментальні і теоретичні криві площі листової поверхні помідора за різних способів поливу. T_1 , T_2 , T_3 критичні точки росту.

Аналіз функції Гомперца показав, що перша критична точка (T_1) – фаза зростання швидкості росту листового апарату, спостерігається орієнтовно на 36 добу вегетації. Максимальної швидкості росту листовий апарат досягає на 52 добу вегетації в точці T_2 , а у фазу гальмування процес росту (T_3) переходить через 67 діб від початку вегетації. Порівняння тривалості критичного періоду, за досліджуваних способів поливу показує, що вона не перевищує 31 доби і не залежить від способу поливу. Аналіз швидкості росту листової поверхні за різних способів поливу засвідчує, що вже в першій критичній точці за краплинного зрошення вона на 7,9-17,1 % вища, ніж за дощування і мікродощування. У подальшому швидкість зростання площі листового апарату за краплинного зрошення залишається більш високою, досягаючи свого максимуму в точці T_2 – 0,93 тис. м²/га за добу, що на 8,7-19,1 % перевищує показники за дощування і мікродощування. Подібне зростання листової поверхні за краплинного зрошення зберігається і в критичній точці T_3 , яка фіксує початок гальмування процесу росту (рис. 2).

Рис. 2. Швидкість зростання площі листкової поверхні помідора за різних способів поливу та глибини розрахункового шару ґрунту в критичних точках T_1 , T_2 , T_3 .

Аналіз динаміки швидкості в період між критичними точками T_2 і T_3 показує, що протягом 15,7 діб швидкість росту зменшується на 39,7 %. На 90 добу вегетації за максимальної площі листового апарату швидкість росту у порівнянні з максимальною, знижується більше, ніж в 4,1 рази до 0,18-0,22 тис. м²/га за добу, засвідчуючи, що втрати листкової поверхні через відмирання нижніх ярусів перевищують приріст. Порівняння величини швидкості зростання площі листкової поверхні за глибини розрахункового шару ґрунту 0-30 і 0-50 см показує, що в критичних точках T_1, T_2, T_3 її різниця несуттєва і глибина розрахункового шару ґрунту, яка є важливим показником для визначення норми поливу, на швидкість росту листового апарату істотно не впливає.

Оцінка прискорення зростання листового апарату в критичних точках росту визнає, що максимальне прискорення і швидкість росту не співпадають у часі. Максимальне прискорення зростання листового апарату спостерігається в критичній точці T_1 , а швидкості в T_2 . Відповідно, максимальне прискоренням

0,048 тис.м² га за добу² зростання площі листкового апарату спостерігається через 36,3 доби від початку вегетації за краплинного зрошення.

Найменша величина прискорення зростання площі листкової поверхні в першій критичній точці зафіксована за дощування, яке на 9,7 % менше, ніж за мікродощування та на 19,4 % у порівнянні з краплинним зрошенням. Аналіз ростових процесів за краплинного зрошення і мікродощуванням показує, що за мікродощування прискорення зростання площі листкової поверхні на 8,9 % менше, що підтверджує вищу інтенсивність ростових процесів за краплинного зрошення. Прискорення, з яким зростає площа листкового апарату за глибини розрахункового шару ґрунту 0-30 і 0-50 см, демонструє, що цей фактор істотно не впливає на інтенсивність процесу.

Аналіз прискорення росту в критичній точці T_2 показує, що за всіх способів поливу воно досягає нульової величини на 52 добу від початку вегетації, засвідчуючи перехід до фази гальмування ростових процесів у час, коли площа листкового апарату зростає з максимальною швидкістю. Оцінка прискорення росту в критичній точці T_3 засвідчує, що воно є від'ємним за всіх способів поливу і за краплинного зрошення на 8,8-19,1 % перевищує дощування і мікродощування. Незважаючи на те, що за краплинного зрошення прискорення гальмування росту більше, ніж за інших способів поливу, на кінець вегетації площа листкової поверхні за цього способу поливу залишається більшою відповідно на 9,9 та 20,5 %, ніж за мікродощування і дощування. Ймовірно, пояснення цього факту приховано у швидкості росту листкового апарату, яка за краплинного зрошення залишається більш високою протягом всієї вегетації (рис. 3).

Рис. 3. Прискорення зросту площі листової поверхні помідора за різних способів поливу та глибини розрахункового шару.

Розрахунки тривалості критичних періодів показують, що їх величина дещо вища за 31 добу за всіх способів поливу. Але за краплинного зрошення спостерігається тенденція до її зменшення на 0,1 доби порівняно з іншими способами поливу.

Кореляційний аналіз виявив наявність тісного прямого кореляційного зв'язку ($R = 0,96$) між мінливістю параметрів зростання площі листової поверхні в критичних точках T_1 , T_2 , T_3 і коливаннями урожайності за досліджуваних способів поливу. Порівняння параметрів росту в критичній точці T_1 і урожайності за дощування і краплинного зрошення виявило, що зменшення швидкості зростання листкового апарату за дощування і досліджуваних розрахункових шарів ґрунту на 19,1-19,3 %, сприяло зниженню урожайності на 12,8-17,9 %. Аналогічна тенденція щодо зв'язку змін площі листкового апарату і урожайності спостерігається в критичних точках T_2 та T_3 . Визначені коефіцієнти детермінації засвідчують, що в 92 % випадків трансформація урожайності рослин помідора пов'язана зі зміною інтенсивності зростання листкового

апарату цих рослин у критичних точках росту. Отримані результати засвідчують, що за краплинного зрошення в критичні фази росту створюються більш сприятливі умови для зростання площі листкового апарату, що у підсумку пояснює більш високі рівні урожайності порівняно з іншими способами поливу.

Висновки. Моделювання росту рослин помідора за різних способів поливу функцією Б. Гомперца з достатнім ступенем достовірності описує ростовий процес ($\chi^2 = 0,32-0,35 < \chi_{st}^2 = 3,841$). Розрахунки тривалості критичних періодів показують, що для помідора вони знаходяться в межах 31 доби та істотно не різняться за способами поливу. Максимальна швидкість зростання площі листкового апарату в рослин помідора спостерігається за краплинного зрошення на 52 добу вегетації, яка на 8,7-19,1 % вища, ніж за дощування і мікродощування. Дослідженнями виявлено тісний зв'язок швидкості зростання площі листкового апарату в критичні фази росту з урожайністю помідора та встановлено, що в 92 % випадків мінливість урожайності пов'язана з параметрами зростання листкового апарату в критичних точках росту.

Список літератури

1. Tursun N. Critical period for weed control in leek (*Allium porrum* L.) / N. Tursun, B. Bükün, S.C. Karacan et al. // Hort Science. – 2007. – Т. 42. – №. 1. – С. 106-109.
2. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике: учеб. пособие / В. М. Шмидт. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та., 1984. – 288 с.
3. Voorend W. et al. LEAF-E: a tool to analyze grass leaf growth using function fitting / W.Voorend, P. Lootens, H. Nelissen et al. // Plant methods. – 2014. – Т. 10. – №. 1. – С. 1.
4. Патрон П.И. Комплексное действие агроприемов в овощеводстве / П. И. Патрон; отв. ред. профессор М.В. Алексеев. Кишинев: Штиинца, 1981. 284 с.
5. Chen C. Application of growth models to evaluate the microenvironmental conditions using tissue culture plantlets of *Phalaenopsis Sogo Yukidian* 'V3' / C. Chen // Scientia Horticulturae. – 2015. – Т. 191. – С. 25-30.
6. Shi P. J. Capture the time when plants reach their maximum body size by using the beta sigmoid growth equation / P. J. Shi, L. Che, C. Hui, H. D. Grissino-Mayer // Ecological Modelling. – 2016. – Т. 320. – С. 177-181.
7. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / за редакцією Г. Л. Бондаренка, К. І. Яковенка. -Х.: Основа, 2001. 369 с.

8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [5-е изд., доп. и перераб.] / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.: ил.

References

1. Tursun, Nihat, et al. (2007): Critical period for weed control in leek (*Allium porrum* L.). Hort Science 42, 106-109.
2. Shmidt, V.M. (1984). Matematicheskie metodyi v botanike. Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta.
3. Voorend, W., Lootens, et al. (2014). LEAF-E: a tool to analyze grass leaf growth using function fitting. Plant methods, 10(1) .
4. Patron, P.I. (1981). Kompleksnoe deystvie agropriemov v ovoschevodstve. Kishinev: Shtiintsa.
5. Chen, C. (2015). Application of growth models to evaluate the micro environmental conditions using tissue culture plantlets of *Phalaenopsis* Sogo Yukidian V3. Scientia Horticulturae, 191, 25-30.
6. Shi P. J., Che L., Hui, C., & Grissino-Mayer, H. D. (2016). Capture the time when plants reach their maximum body size by using the beta sigmoid growth equation. Ecological Modelling, 320, 177-181.
7. Bondarenka, H.L., Yakovenka, K.I. et al. (2001). Metodyka doslidnoyi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi. Kharkov: Osnova.
8. Dospheov, B. A. (1981). Metodika polevogo opyita. Moscow: Agropromizdat.

ОБОСНОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПЕРИОДОВ РОСТА РАСТЕНИЙ ПОМІДОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПОЛИВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФУНКЦИИ РОСТА В. В. Васюта

Аннотация. В статье рассмотрено моделирование роста растений томата функцией Б. Гомперца по площади листовой поверхности для определения основных параметров роста в критических точках, продолжительности критических периодов. Установлена теснота связи изменчивости урожайности с трансформацией параметров роста в критические фазы, при различных способах полива.

Ключевые слова: критические периоды, критические точки роста, функция Гомперца, скорость роста, ускорения роста

SABSTANTIATION OF GROWTH CRITICAL PERIODS FOR TOMATOES WHEN USING DIFFERENT IRRIGATION METHODS BASED ON THE ANALYSIS OF GROWTH FUNCTION

V. V. Vasyuta

***Abstract.** The article deals with modeling the growth of tomato plants B. Gompertz function on the leaf surface area to identify key growth parameters at critical points, the duration of critical periods. Installed tightness due to the transformation of the yield variability growth parameters in critical phases at various ways of watering.*

***Keywords:** critical periods, critical point of growth, Gompertz function, growth rate, growth acceleration*