Электромагнитное поле, интегральные уравнения, токи растекания, электродная система.

Developed a three-dimensional mathematical model for the calculation of the current densities in the massive spreading of non-ferromagnetic elements of the electromagnetic system to reduce or determination of residual stresses in the prototype.

The electromagnetic field, integral equations, spreading currents, the electrode system.

УДК 631.589

ФАКТОРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РОСТУ ТОМАТІВ ТА ЙОГО РЕЗУЛЬТАТИ

В.П. Лисенко, В.О. Мірошник, кандидати технічних наук
А.О. Дудник , аспірант*

Наведено результати багатофакторного експерименту визначення продуктивності фотосинтезу культур томатів, розроблено математичну модель у вигляді рівняння регресії, визначено оптимальний режим мікроклімату для забезпечення максимальної продуктивності фотосинтезу.

Багатофакторний експеримент, фотосинтез, рівняння регресії, математична модель

Інтенсивність росту культури томату залежить від комплексу факторів мікроклімату, що мають забезпечувати максимальну продуктивність, котра, в свою чергу, визначається залежно від інтенсивності процесу фотосинтезу. З метою визначення значень факторів мікроклімату проведено багатофакторний активний експеримент [1-3].

Мета досліджень – визначення оптимальних параметрів мікроклімату для вирощування томатів у результаті розробки математичної моделі продуктивності росту після проведення активного експерименту щодо дослідження впливу факторів на інтенсивність фотосинтезу.

Матеріали та методика досліджень. Відомо, що інтенсивність фотосинтезу у значній мірі залежить від освітленості рослин; форма таких залежностей дозволила зробити висновок про те, що процес фотосинтезу складається зі світлових (фотохімічних) реакцій і реакцій у темноті (хімічних) [4]. Для отримання максимального приросту слід підтримувати оптимальні умови роботи фотосинтетичного апарату і, в першу чергу, це стосується рівня освітленості, температури повітря і концентрації CO_2 .

---

*Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор В.П. Лисенко

© В.П. Лисенко, В.О.Мірошник, А.О.Дудник, 2013

Рівень освітленості та інтенсивність сонячної радіації впливають не лише на інтенсивність процесу фотосинтезу, а і на засвоєння рослиною вуглекислого газу, який, у свою чергу, є основним субстратом для приросту маси рослини. Інтенсивність фотосинтезу лінійно залежить від концентрації CO_2, при чому вуглекислотне насичення концентрації CO_2 у повітрі відбувається на рівні 0,01 – 0,04 %. На основі аналізу літературних джерел [4, 5] встановлено, що поряд з інтенсивністю освітлення та концентрацією CO_2 важливим фактором у процесі фотосинтезу є температура повітря. Значний вплив температури зумовлений тим, що процес фотосинтезу складається не тільки з фотохімічних, але і з хімічних реакцій у темний період дня, швидкість яких збільшується в 2 – 3 рази при підвищенні температури на 10 °С.

Для проведення активного багатофакторного експерименту використовувалась камера штучного клімату (рис.1), яка містить ящик з вегетаційними посудинами для вирощування томатів, резервуар з живильним розчином, насос, зволожувач повітря, ємність для подачі CO_2, лампи освітлення камери, вентилятор камери, нагрівач повітря камери, датчик температури, датчик освітленості, газоаналізатор CO_2, силовий блок, мікропроцесор.

Рис.1. Камера штучного клімату для проведення активного експерименту

Діапазони зміни факторів від $-\alpha$ до $+\alpha$ з урахуванням попереднього огляду занесено до табл.1. При створенні ротатабельних планів другого порядку при факторному експерименті значення α = 1,682, а кількість дослідів у нульовій точці дорівнює шести (N_0 =6).

1. Діапазони зміни значень факторів

Показник	Діапазон зміни факторів				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Температура, °С	16	19,1	21	22,9	26
Освітленість, Вт/см^2	$0{,}12\cdot10^{-3}$	$4.16\cdot10^{-3}$	$6{,}56\cdot10^{-3}$	$8{,}96\cdot10^{-3}$	$13{,}0\cdot10^{-3}$
Вміст CO_2, %	0,03	0,083	0,115	0,147	0,2

Досліди однієї серії проводились при підтриманні однакової концентрації CO_2 в усіх камерах фітотрона (4 досліди). Це відповідно досліди 1–4, 5–8, 9–12 і 17–20. Досліди 13 – 16 виконувались окремо.

Забезпечення випадковості (рандомізація) дослідів підтримувалась за рахунок компенсації множиною рослин у камері (6 рослин) та розмірами випадково посаджених рослин. Різні значення температури та освітленості в камерах підтримувались в автоматичному режимі за допомогою встановлення відповідних датчиків температури та освітленості, нагрівачів, ламп освітлення і регуляторів цих параметрів у камері. Для забезпечення необхідного рівня освітленості використовували датчик освітленості, за допомогою якого один раз на добу з урахуванням висоти рослин і завдання стосовно плану експерименту встановлювався необхідний рівень освітленості. Значення вологості повітря підтримувалось при всіх дослідах однаковим (рис.2).

Рис.2. Культура томату при проведенні активного експерименту

Одна серія дослідів проводилась протягом 15–18 діб для розсади томатів одного сорту при посадці рослини з 4-ма листочками до вегетативного розвитку рослини з 8 – 9 листочками.

Визначення відсотка сухої речовини в рослинах виконувалось шляхом ділення сухої маси, висушеної до абсолютно сухого стану рослини, на сиру масу рослини.

Автоматизація функціонування фітотрона здійснювалася за розробленим алгоритмом, який складається з блока ініціалізації програми та блока програми регуляторів.

Обробка експериментальних даних здійснювалась за наведеною методикою в програмних продуктах Mathcad 11 Professional та Statistica 7.0.

Результати досліджень. Результати факторного експерименту наведено у табл.2.

2. Результати повнофакторного експерименту

N п/п	Температура, °C	Освітленість, Вт/см^2	Вміст CO_2, %	мгCO_2/1г/1год	Середня висота рослини, см	Вміст сухих речо-вин, %
1	19,1	$4.16 \cdot 10^{-3}$	0,083	0,93	23,5	21,3
2	22,9	$4.16 \cdot 10^{-3}$	0,083	1,31	25	23,5
3	19,1	$8,96 \cdot 10^{-3}$	0,083	1,14	22	21,6
4	22,9	$8,96 \cdot 10^{-3}$	0,083	1,60	25,3	24,4
5	19,1	$4.16 \cdot 10^{-3}$	0,147	0,85	22,3	21,9
6	22,9	$4.16 \cdot 10^{-3}$	0,147	1,09	23,6	22,8
7	19,1	$8,96 \cdot 10^{-3}$	0,147	2,60	32,5	24,2
8	22,9	$8,96 \cdot 10^{-3}$	0,147	3,02	34,2	26,6
9	16	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,31	30,2	21,6
10	26	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,62	36,5	23,5
11	21	$0,12 \cdot 10^{-3}$	0,115	0,22	38,5	20,5
12	21	$13,0 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,79	37,6	22,4
13	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,03	1,60	35,5	22,7
14	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,2	2,35	37,5	23,8
15	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,49	37,6	23,1
16	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,53	38,0	23,6
17	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,59	38,5	23,2
18	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,42	38,5	23,5
19	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,5	38,5	23,4
20	21	$6,56 \cdot 10^{-3}$	0,115	1,6	38,5	23,5

Завдання моделювання полягало у визначенні оптимальних параметрів мікроклімату, що у свою чергу зумовить максимальну продуктивність процесу вирощування томатів у теплицях.

Математична обробка експериментальних даних активного багатофакторного експерименту складається з таких етапів:

– статистична обробка експериментальних даних і отримання найпростіших статистичних оцінок;

– розробка математичної моделі апроксимацією експериментальних даних;

– перевірка адекватності синтезованої математичної моделі відповідним експериментальним даним і знаходження максимальної похибки апроксимації.

Значення чистої продукції фотосинтезу отримано у вигляді поліноміального рівняння, залежного від трьох факторів:

$$y = 1,51847 + 0,14802x_1 + 0,499x_2 + 0,281\,x_3 + 0,032x_1x_2 - 0,023x_1x_3 - 0,397x_2x_3 - 0,0013x_1^2 - 0,164x_2^2 + 0,179x_3^2,$$

де x_1 – температура, °С; x_2 – інтенсивність сонячної радіації, Вт/м^2; x_3 – вміст CO_2, %.

Для оцінки точності і надійності експерименту і виповненості помилки дослідження застосовували такі показники:

Середнє значення всіх вимірів у досліді:

$$\overline{Y} = \frac{\sum_{i=15}^{20} Y_i}{n} = 1{,}521\,, \tag{1}$$

де n – кількість спостережень, i – номер спостереження;

дисперсія відтворення:

$$\delta_{vid} = \frac{\sum_{i=15}^{20} (Y_i - \overline{Y})^2}{n_0 - 1} = 0{,}0004\,; \tag{2}$$

остаточна дисперсія:

$$\delta_{ost} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=15}^{20} \left(Y_i - \overline{Y}\right)^2 = 0{,}011\,, \tag{3}$$

де n-1 – число ступенів вільності, що дорівнює кількості дослідів мінус одиниця.

У розрахунках величину довірчої ймовірності P приймаємо рівною 95 %, їй відповідає рівень значимості q, рівний 5 %, помилка в межах $\pm 3S$.

Розроблену математичну модель перевіряли на адекватність за критерієм Фішера, для цього визначали дисперсію адекватності:

$$S_{Ад}{}^2 = \frac{n}{N-g} \sum_{i=1}^{N} \left(\overline{Y}_{iE} - Y_T\right)^2 = 0{,}01657\,, \tag{4}$$

де N-g – число ступенів вільності дисперсії адекватності; g – число значимих коефіцієнтів у теоретичному рівнянні; $\overline{Y}_{iE}$ – середнє значення відгуку в i –му досліді; Y_T – значення відгуку в i-й точці, обчислене за теоретичним рівнянням або рівнянням регресії;

$$F = \delta_{ad} / \delta_{vid} = 3{,}652\,. \tag{5}$$

Якщо розраховане за виразом (5) значення критерію Фішера менше критичного (табличного) $F_p < F_{m.} = 5{,}1$, то модель є адекватною.

Аналізуючи статичну модель інтенсивності фотосинтезу культури томату, можна констатувати, що вона має чітко виражений нелінійний характер. Під час побудови графічних залежностей двом вхідним параметрам задавалися середні значення з досліджуваного діапазону, інші два змінювались (рис. 3, 4).

Із наведених графічних залежностей можна зробити висновок про те, що максимальна інтенсивність фотосинтезу характерна для верхніх меж двох вибраних нами факторів, а саме при максимальній температурі повітря та при максимальній інтенсивності сонячної радіації.

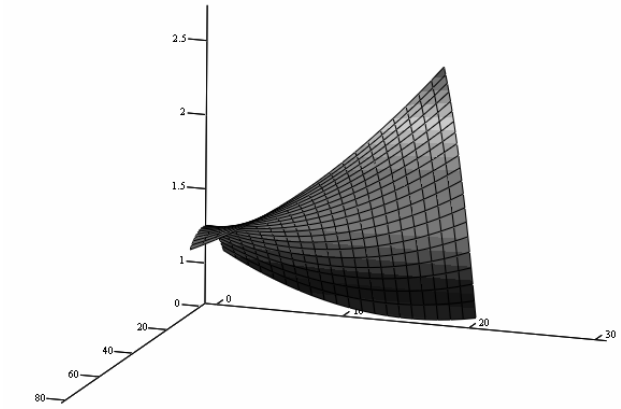


Рис.3. Залежність інтенсивності фотосинтезу, мг CO_2/1г/1год, від освітленості і вмісту CO_2 при температурі 21 °С

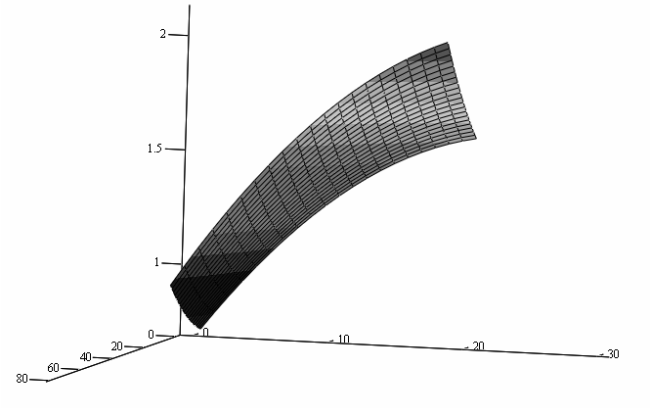


Рис.4. Залежність інтенсивності фотосинтезу, мг CO_2/1г/1год, від температури та освітленості при вмісту CO_2 0,115 %.

Також було досліджено вплив зазначених факторів на ріст рослин. На рис.5 наведена поверхня залежності висоти рослини від освітленості та концентрації CO_2 при сталій температурі повітря.

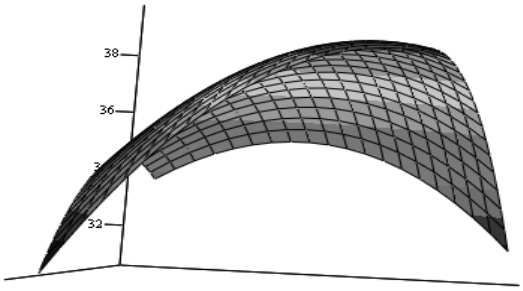
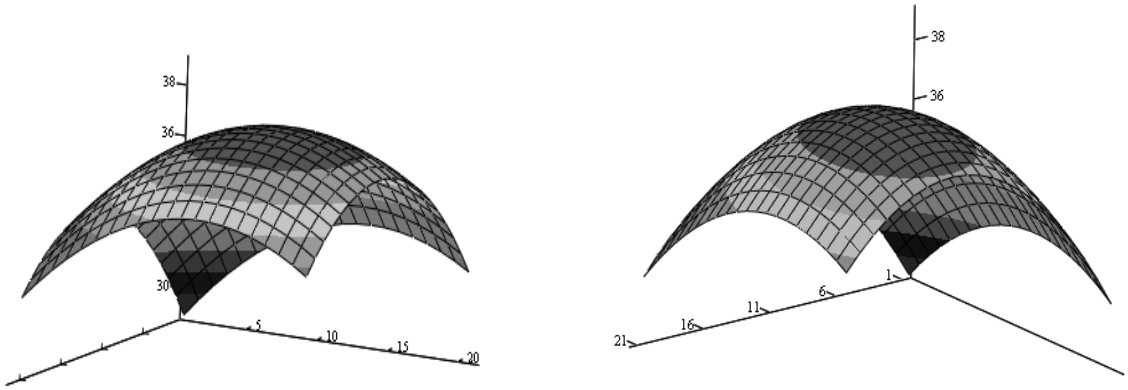


Рис.5. Залежність росту рослин від освітленості і вмісту CO_2 при температурі 21 °С.

Аналогічні поверхні були побудовані для залежностей від кожного з досліджуваних параметрів (рис.6).



а б

Рис.6. Залежність росту рослин від температури і вмісту CO_2 при освітленості 0,00656 Вт/см^2 (а) та залежність росту рослин від температури та освітленості при вмісту CO_2 0,115% (б).

З метою визначення оптимальних параметрів мікроклімату провели оптимізацію наведеної моделі процесу росту томатів:

```
OPT3(F, n, a1, a2, a3, b1, b2, b3) := | h1 ← (b1 − a1)/n
                                      | h2 ← (b2 − a2)/n
                                      | h3 ← (b3 − a3)/n
                                      | MA ← 0
                                      | x1op ← a1
                                      | x2op ← a2
                                      | x3op ← a3
                                      | for x1 ∈ a1, a1 + h1 .. b1
                                      |   for x2 ∈ a2, a2 + h2 .. b2
                                      |     for x3 ∈ a3, a3 + h3 .. b3
                                      |       | FM ← F(x1, x2, x3)
                                      |       | if FM > MA
                                      |       |   | MA ← FM
                                      |       |   | x1op ← x1
                                      |       |   | x2op ← x2
                                      |       |   | x3op ← x3
                                      | z1 ← MA
                                      | z2 ← x1op
                                      | z3 ← x2op
                                      | z4 ← x3op
                                      | z
```

На основі отриманих значень встановлено, що максимум росту томатів відбувається при температурі 21,3 ˚С, освітленості 0,00834 Вт/см^2 та концентрації CO_2 0,135 %.

Висновки

Результати проведеного активного експерименту дозволили визначити оптимальні значення параметрів мікроклімату, при яких забезпечується максимальна продуктивність томатів.

Список літератури

1. Микроклиматические основы тепличного овощеводства / [пер. с болг. Е.С.Сигаева]. – М.: Колос, 1982. – 175 с.
2. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения ее продуктивности / А.А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1997. – С. 511 – 527.
3. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза / Тарчевский И.А. – М.: Высш. шк., 1977. – 253 с.
4. Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels./ D.Schwarz, H.-P.Klaring, M.W.van Iersel, K.T.Ingram, J. Amer. Soc. Hort. Sci. №127(6) 2002, p.984 – 990. Schrader D. H., Mc Nelis D. D. Microwave Irradiation of Plant Roots in soil. -J. of Microwave Power. 1975. - vol. - 10, № 1. - p. 77 - 91.
5. Thornley J.H.M., Hurd R.G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and C02 Concentrations \\ Annals of Botany \ – Vol.38, Issue 2 – pp. 389-400 - 1979.

Приведены результаты многофакторного эксперимента определения продуктивности фотосинтеза томатов, разработана математическая модель в виде уравнения регрессии, определен оптимальный режим микроклимата для обеспечения максимальной продуктивности фотосинтеза.

Многофакторный эксперимент, фотосинтез, уравнения регрессии, математическая модель.

The multivariate experimental results for determination of photosynthetic productivity of tomatoes are adduced, the mathematical model in the form of the regression equation is worked out, optimal microclimate mode for maximum photosynthesis performance is determined.

Multivariate experiment, photosynthesis, regression equation, mathematical model.