

УДК 62-533.65

## ФІТОТЕМПЕРАТУРНИЙ КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ РОЗВИТКУ РОСЛИНИ

*В.П. Лисенко, кандидат технічних наук*

*І.М. Болбот, кандидат технічних наук,*

*Т.І. Лендєл, аспірант*

*Для забезпечення технологічних вимог вирощування рослин у теплиці, запропоновано проводити оцінку температури рослин та температурного середовища за допомогою фітотемпературного критерію оцінки розвитку рослин, що сприятиме збільшенню врожайності рослин.*

***Температура, фітотемпературний критерій, теплиця, урожайність.***

**Мета досліджень** – Забезпечити сприятливі умови розвитку рослини введенням в систему регулювання температурного середовища теплиці додаткового критерію оцінки температури рослини та її температурного середовища, що сприяє збільшенню врожайності рослин в теплиці.

**Матеріали та методи дослідження.** Раціональне регулювання мікроклімату у теплиці забезпечує 90% урожаю [1]. Основними складовими мікроклімату є температура, освітленість, рівень CO<sub>2</sub> у теплиці та відносна вологість. Максимальний рівень урожайності досягається зниженням стресів і забезпеченням оптимального балансу всіх факторів. Про стан рослини та правильний розвиток свідчать рівномірне цвітіння, плодоношення (генеративність) та утворення листків і розвиток кореневої системи (вегетативність).

Для кожного виду овочів характерна біологічна особливість технології вирощування. Наприклад, рослини помідора є теплолюбивою культурою і за технологією вирощування температура повітря у теплиці різна залежно від фази розвитку рослини протягом вирощування. Після висаджування розсади оптимальною вважається температура вночі 15 – 16 °С, вдень при похмурій погоді 18 – 20 °С, при сонячній 20 – 22 °С. При фазі цвітіння необхідно підтримувати температуру повітря вночі 16 – 18 °С, вдень при похмурій погоді 18 – 20 °С, при сонячній 22 – 24 °С, а в період плодоношення відповідно 18 – 20, 20 – 22 і 24 – 26 °С. Рослина помідора є дуже чутливою до заморозків, адже невеликі заморозки (-0,5..-1 °С) і навіть позитивні короткострокові температури (1– 3 °С) викликають загибель помідора. Температура ґрунту повинна бути 20 –25 °С, вологість повітря 60 – 70% та ґрунту – 70 – 80%.

**Результати досліджень.** Для кращого розвитку рослин необхідне підтримання технологічних умов вирощування, під час якого відбуватиметься оцінка та порівняння параметрів температури, що вимірюються в різних місцях теплиці. Керування технологічними параметрами мікроклімату при вирощуванні рослин базується на вимірних

фітометричних параметрах рослини, що дозволяє оцінити розвиток рослин шляхом введення фітотемпературного критерію для оцінки стану рослини.

Фітотемпературний критерій  $r$  оцінки розвитку рослини та її температурного середовища оцінює ту частину тепла, що надходить від теплоносія системи опалення теплиці на нагрів рослини та середовище навколо рослини:

$$r = \frac{t_p - t_n}{t_0 - t_n}, \quad (1)$$

де,  $t_p$  – температура рослини;  $t_0$  – температура повітря в теплиці;  $t_n$  – температура зовнішнього повітря.

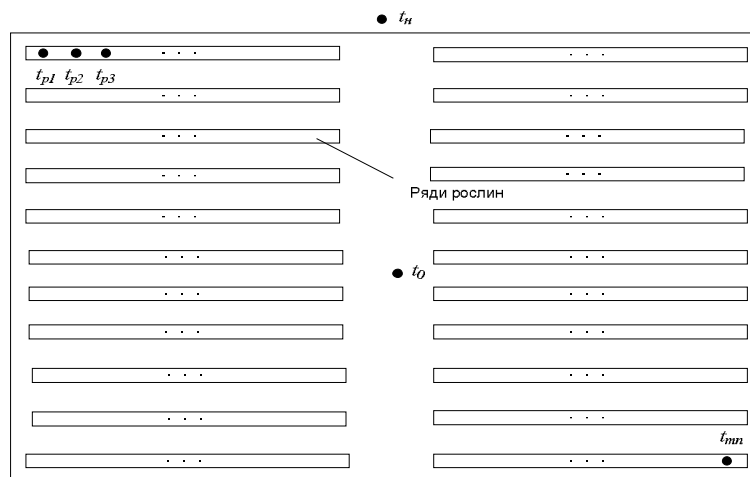
Розповсюдження теплоти в теплиці проходить відповідно розміщенню труб опалення. У теплицях з водяним опаленням, яке є найбільш ефективним, труби опалення прокладено поздовж кожного ряду, тому доцільно говорити про те, що тепло надходить до рослин окремо для кожного ряду, але не рівномірно через вплив збурюючих факторів, інерційність системи опалення та розподілу тепла за площею теплиці. Через ці особливості обігріву рослин вимірювання фітометричних параметрів доцільно проводити для кожного ряду, замінивши значення  $t_p$  на усереднене значення температури рослин в ряді, яке визначається за виразом:

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n t_{mi}}{n}, \quad (2)$$

де  $S_m$  – усереднена температура рослин для ряду  $m$  рослин;  $t_{mi}$  – температура  $i$ -ї рослини в ряді  $m$ ;  $n$  – кількість вимірів у ряді.

Схематично місця фітомоніторингу виглядають наступним чином (рис.

1)



**Рис. 1. Схематичне розташування рядів для фітомоніторингу на всій площі теплиці**

Для визначення фітотемпературного критерію групи рослин отримане усереднене значення відповідного ряду підставимо в вираз (1) і отримаємо:

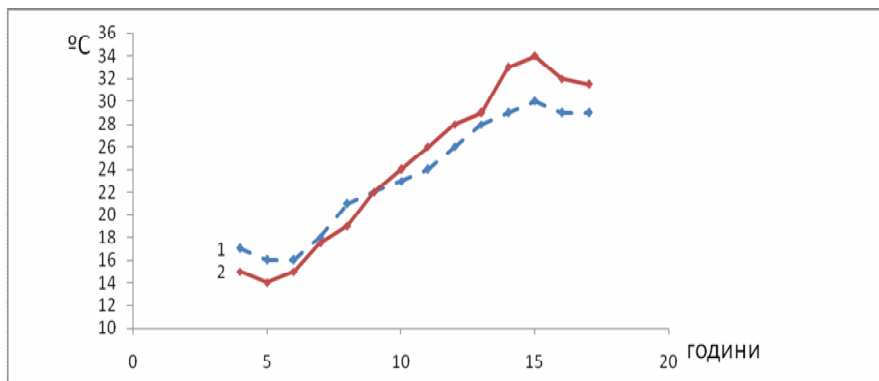
$$r_m = \frac{S_m - t_n}{t_0 - t_n} \quad (3)$$

Критерій  $r_m$  буде рівним 1 у випадку, коли температура рослин буде рівна температурі повітря в теплиці. Однак досягнути цього дуже важко та неможливо, якщо враховувати дію збурень, розподіл тепла від теплоносія в теплиці та інерційність системи опалення, тому базуючись на дослідження Е. С. Сигаєва [3] виведемо межі оцінки критерію  $r_m$ , оскільки температура рослини протягом дня може бути меншою до 2 °С та більшою до 7 °С порівняно з температурою повітря теплиці, про що свідчать дослідження наведені на рис.2.

Підставимо виміряні значення в вираз (3) і розрахуємо значення  $r_m$ , яке представимо в табл. 1.

Для підтримання необхідного мікроклімату визначимо межі фітотемпературного критерію рослини. Він буде знаходитись в межах від 0,9 до 1,1 з урахуванням, що температура рослини повинна бути в межах 21 – 25 °С вдень та 18 – 22 °С вночі відповідно до технології вирощування.

Для визначення потреби використання фітотемпературного критерію виведемо інтегральну функцію нормального розподілу значень температур рослини та повітря, значення якої ми порівняємо з експериментальними даними температури повітря та рослини (табл. 1).



**Рис. 2. Значення температури листка помідора і температури повітря в теплиці за добу:**

1 – температура повітря в теплиці; 2 – температура листка помідора

**1. Значення фітотемпературного критерію  $r_m$  оцінки температури рослини та її температурного середовища**

Година доби	Температура листка, °С	Температура повітря в теплиці, °С	Температура зовнішнього середовища, °С	Фітотемпературний критерій $r_m$
2	15	17	8	0,77
3	14	16	8	0,75
4	15	16	8	0,875
5	17,5	18	8	0,95
6	19	21	8	0,84
7	22	22	9	1
8	24	23	10	1,08

9	26	24	12	1,16
10	28	26	13	1,15
11	29	28	14	1,07
12	33	29	14	1,26
13	34	30	15	1,26
14	32	29	15	1,21
15	31,5	29	15	1,17
16	28	27	14	1,08
17	23	25	14	0,81

За достатньо-великої кількості вимірювань випадкової величини ймовірність появи її значень підпорядковується нормальному закону розподілу (закону Гауса):

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

де  $f(x, \mu, \sigma)$  – щільність імовірності випадкової величини  $x$ ;  $\mu$  – математичне сподівання випадкової величини (центр групування її значень);  $\sigma^2$  – дисперсія випадкової величини (міра розсіяння значень випадкової величини відносно центру групування);  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення випадкової величини (характеристика розсіяння значень випадкової величини відносно центру групування, яка дорівнює кореню квадратному з дисперсії);  $e$  – основа натуральних логарифмів. Прийнято нормальний закон розподілу випадкової величини характеризувати лише двома параметрами:  $\mu$  – математичним сподіванням і  $\sigma$  – середнім квадратичним відхиленням.

Вибіркове середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  визначається за відомим алгоритмом:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_e)^2}{n}}, \quad (5)$$

де  $x_i$  – значення температури  $i$ -ї рослини;  $\bar{x}_e$  – середнє значення температури рослин;  $n$  – кількість вимірювань.

Результати вимірювань (таблиця 1) дозволили встановити, що вибіркове середнє квадратичне відхилення для температури повітря  $\sigma = 4,79$  і для температури рослини  $\sigma = 6,58$ .

Для розподілу відносних частот виміряних даних проводимо сортування вихідних (дослідних) даних за збільшенням, яке виконуємо виокремивши діапазон комірок з вихідними даними від найменшого до найбільшого та визначимо за допомогою прогресії класові інтервали.

Кількість класів ( $k$ ) визначаємо за формулою Стерждеса [2]:

$$k=1+3,32 \cdot \log(n), \quad (6)$$

де  $n$  – кількість спостережень.

За результатами розрахунків встановлено, що для температури повітря та температури рослини  $k = 16$ .

Інтегральні функції розподілу представлені на рис. 3, 4.

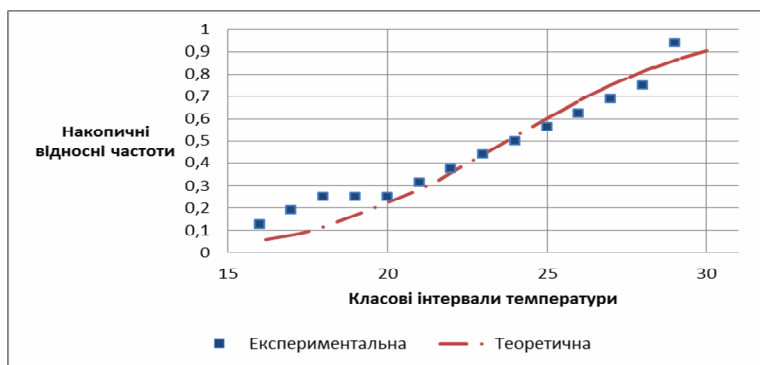


Рис. 3. Інтегральні функції нормального розподілу температури повітря

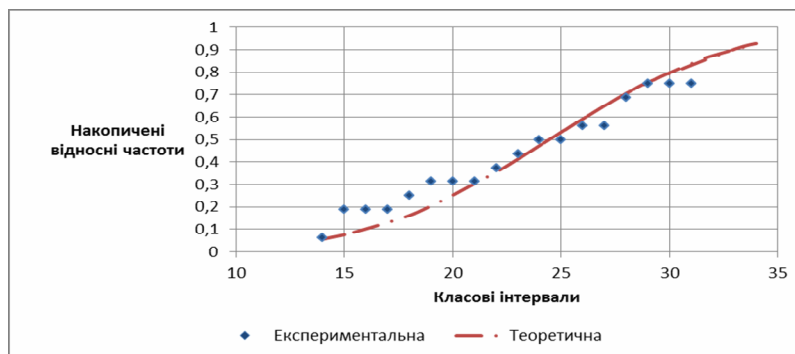


Рис. 4. Інтегральні функції нормального розподілу температури рослини

Для виведення експериментальної кривої досліджень слід розрахувати накопичену відносну частоту, що є відношенням накопиченої частоти до загального числа спостережень  $n$ :

$$w_i = \frac{n_i}{n}, \quad (7)$$

де  $n_i$  – накопичена частота;  $n$  – кількість вимірювань.

Накопичені частоти для кожного інтервалу знаходяться послідовним додаванням частот всіх попередніх інтервалів.

Із рис. 3 та 4 видно, що експериментальні значення температури повітря в теплиці з використанням системи автоматичного регулювання температури повітря наближені до виведених її теоретичних параметрів, однак відрізняються для температури рослини, що розміщена в теплиці, де не використовуються фітотеметричні виміри рослин для забезпечення температурного режиму.

Для кращого розвитку рослини фітотемпературний критерій повинен знаходитись у зазначених межах. На рівень фітотемпературного критерію впливає мікроклімат теплиці, який досягається за рахунок доповнення існуючої системи опалення додатковим обладнанням, що забезпечуватиме диференційований розподіл кількості теплоти із врахуванням зовнішніх збурень.

Використання такого критерію при регулюванні температурного режиму дозволить забезпечувати належний рівень температури рослин відповідно до технологічних вимог. Потребу у використанні критерію стверджує і факт отримання нерівномірного врожаю з кожного ряду теплиці

в тепличних господарствах [3]. Використання цього критерію в регулюванні температурного режиму дає можливість отримати більше продукції порівняно з існуючим алгоритмом регулювання, який базується на отриманій інформації про температуру повітря, а не рослин. З літературних джерел [4] відомо, що приріст урожаю при сонячному опроміненні 8 МДж (2,22 кВт·ч) на добу та звичайному вмісті в повітрі CO<sub>2</sub> (0,03%), коливається в межах 40..150 грам з одного куща за добу і залежить від рівня температури повітря в теплиці, що представлено в табл. 2.

### 2. Вплив температури повітря на врожайність помідорів

Температура повітря, °С	10	11,5	13	14,5	16	17,5	19	20,5	22	23,5	25	26,5	28
Врожайність томатів, грам.	40	61	81	100	114	125	134	141	146	150	151	150	147

З наведених даних можна визначити погодинний приріст урожаю при зазначених температурних режимах повітря (8):

$$m_{cp} = \frac{m_t}{24}, \quad (8)$$

де  $m_{cp}$  – середня маса приросту урожайності за годину;  $m_t$  – маса приросту при температурі повітря  $t$ .

Розраховані дані наведені в табл. 3.

### 3. Вплив температури повітря на приріст врожайності помідорів по годинно

Температура повітря $t$ , °С	10	11,5	13	14,5	16	17,5	19	20,5	22	23,5	25	26,5	28
Врожайність томатів, грам.	1.6	2.5	3.4	4.1	4.7	5.2	5.6	5.8	6	6.2	6.3	6.2	6.1

Провівши аналіз досліджень можна встановили, що в діючій теплиці з існуючою системою регулювання температури повітря найбільший приріст продукції був з 8-ї по 9-ту годину при температурах 23 – 24 °С та становив 6,2 – 6,3 г за годину. Як наслідок з одного куща отримуємо менше 151 граму приросту за добу, оскільки при температурних режимах 17 – 22 °С рослина отримує недостатню енергію для кращого розвитку, коли приріст рівний 5,2 – 6 г, та навпаки, при температурах більше 25 °С приріст урожаю становитиме менше 6 г за годину.

Використання фітотемпературного критерію при регулюванні температурного режиму дає можливість отримувати 150 – 151 г приросту урожаю з одного куща за добу, оскільки введений в алгоритм регулювання фітотемпературний критерій розрахований на підтримання температури рослини існуючою системою регулювання відповідно до визначеного обмеження, коли значення температури рослини наближається до значення температури повітря в теплиці. При значеннях фітотемпературного критерію менше або більше зазначеного обмеження розраховується керуюча дія для збільшення або зменшення температурного режиму в теплиці, який впливає на температуру рослини. Тим самим можливе отримання більшого приросту

помідорів з кожного куща рослин, що в загальній сумі вплине на збільшення прибутку всієї теплиці.

### Висновки

Збільшення врожайності залежить від забезпечення найкращих умов розвитку рослини, запропоновано ввести в алгоритм регулювання температурного режиму теплиці фітотемпературний критерій оцінки розвитку рослин. Аналіз зміни параметрів температури рослин та температури повітря в теплиці, що облаштована системою автоматичного регулювання температури повітря, доводить потребу у використанні запропонованого критерію.

Встановлено межі критерію, в яких повинні перебувати його значення, а саме від 0,9 до 1,1, з урахуванням, що температура рослини повинна бути в межах 21 – 25 °С вдень та 18 – 22 °С уночі відповідно до технології вирощування. Такий підхід дозволить збільшити врожайність рослин.

### Список літератури

1. Физиология растений: Учебник для студ. вузов / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др.; Под. ред. И. П. Ермакова. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.
2. Егоров К.В. Основы теории автоматического регулирования. М.: Энергия, 1967. – 648 с.
3. Микроклиматические основы тепличного овощеводства / Пер. с болг. Е. С. Сигаева. С предисл. Н. С. Гончарука. – М.: Колос, 1982. – 175с.
4. The Effect of Temperature and Mean Cumulative Daily Light Intensity on Fruiting Behavior of Greenhouse-grown Tomato: [Електрон. ресурс]. / Sezgin Uzun // The University of Ondokuz Mayıs, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture. 2007. – 132(4). – P. 459–466. – Режим доступу: до журн.: <http://journal.ashspublications.org/content/132/4/459.full.pdf>

*Для обеспечения технологических требований выращивания растений в теплице, предложено проводить оценку температуры растений и температурной среды с помощью фитотемпературного критерия оценки развития растений, что будет способствовать увеличению урожайности растений.*

***Температура, фитотемпературний критерій, теплиця, урожайність.***

To ensure technical requirements of growing plants in a greenhouse, it is proposed to evaluate temperatures of plants and thermal environment using phyto temperature criterion for evaluation of plant development, which will increase the productivity of plants.

***Temperature, fitotemperaturnyy criteria, greenhouse, yield.***