

УДК:51-7:504:635.64

*І.Г.Грибар, доктор технічних наук, професор, м.Житомир*

*Л.Д.Романчук, доктор с.-г. наук, професор, Житомирський національний агроекологічний університет*

*О.В.Стежко, аспірант, Житомирський національний агроекологічний університет*

## МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕТИКИ РОСТУ РОСЛИН ТОМАТІВ В ЧАСІ

*Проведено моделювання впливу систем удобрення на кінетику росту томатів. Результати досліджень показують, що кінетика росту томатів описується кінетичними залежностями. Встановлено, що вирощування томатів при восьми системах удобрення виявили тісний зв'язок між параметрами лінійної кореляції.*

*Ключові слова:* модель, кінетика росту, системи удобрення, томати.

**Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.** У процесі пізнання складних еколого - географічних систем важливе місце належить методу моделювання. Моделювання стану довкілля – метод дослідження будови, функціонування, динаміки та розвитку екологічних об'єктів або процесів з використанням моделей, які певною мірою відповідають оригіналові. Основний методологічний принцип моделювання стану довкілля – системний підхід. Його застосовують переважно з іншими методами, зокрема експериментом і спостереженням [1]. Сучасна екологія розвивається у напрямку точного опису та математичної інтерпретації природних процесів і явищ. Це зумовлено тим, що практика ставить щоразу більші вимоги до оцінки природних ситуацій та ефективності екологічних прогнозів та моделювання систем.

Відомо, [5], що кожне явище з більшою чи меншою точністю можна описати математично. Теоретично можна описати математичними рівняннями кожен систему, якою складною вона б не була. Проте, чим складніша система і чим більше елементів її утворюють, тим менше можна розраховувати на якісно конкретні результати і практичне значення моделювання. Потрібна міра абстракції досягається засобами системного аналізу, який є невід'ємною частиною математичного моделювання. Математичним моделюванням в екології займалися ряд науковців, а саме І.С. Шатилов – програмуванням в рослинництві,

А.Ф.Чудновський – елементами імітаційного модельного програмування, С.В. Мамихіна – вивчала стохастичні моделі, П.П.Надточій – моделювання ґрунтових процесів, Ю.О.Тимонін, І.А.Пількевич, І.Г.Грабар – вивчали моделі систем [4]. Моделювання в сільському господарстві дозволяє оцінити ступінь впливу певного чинника на досліджуваний об'єкт і розрахувати достовірність досліджуваних параметрів. В нашому випадку це вивчення кінетики росту томатів в залежності від типу добрив.

**Об'єкти, матеріали та методи досліджень.** Фенологічні спостереження за ростом і розвитком томатів проводили на протязі 2010-2012 років в приватно-фермерському господарстві с.Волиця Житомирського району.

Ґрунт дослідної ділянки лучно-чорноземний легкосуглинковий характеризувався наступними показниками: гумус – 3,5 %, рН – 6,7, азот лужногідралізований – 147,3 мг/кг, гідролітична кислотність – 0,95 ммоль/кг, сума поглинутих основ – 24,4 екв/кг, вміст фосфору – 433,3 мг/кг.

Томати сорту «Волове серце» висаджували у ґрунт розсадним способом. Розсаду вирощували в касетах у теплицях з підтриманням температурного режиму 15-18°C і відносній вологості 70%. Для проведення досліджень було відібрано розсаду без пошкоджень, однакової висоти. Рослини томатів висаджували у відкритий ґрунт, при настанні оптимальних температурних умов у квітні – травні.

Схема досліду передбачала вивчення наступних систем удобрення:

1. Контроль (полив водою);
2. полив водою + мульчування ґрунту;
3.  $N_{16}P_{16}K_{16}$  перед посадкою (нітроамофоска);
4.  $N_{16}P_{16}K_{16}$  (нітроамофоска) перед посадкою з підживленням рослини кожні 10 днів;
5.  $N_{16}P_{16}K_{16}$  (нітроамофоска) перед посадкою з підживленням рослини кожні 10 днів + мульчування ґрунту;
6. біопрепарат (Гумат Rost-конфентрат) з підживленням рослини кожні 10 днів;
7. біопрепарат (Гумат Rost-конфентрат) з підживленням рослини кожні 10 днів + мульчування ґрунту;
8. перегній ВРХ, 3 т/га;
9. перегній ВРХ, 6 т/га.

**Результати досліджень.** На головній стадії вегетації висота рослин  $H(t) \in [H_{\min}; H_{\max}]$  добре апроксимується функцією отриманою з відомої функції сучасної фізики - розподілу Фермі-Дірака. Після модернізації функції проф. Грабара [3] дана кінетична залежність має вигляд:

$$H(t) = H_{\min} + \frac{H_{\max} - H_{\min}}{1 + e^{\alpha(t^* - t)}}, \quad (1)$$

де  $H_{\min}$  та  $H_{\max}$  – мінімальна та максимальна висота рослин за період вегетації;  $t$  - змінний час;  $t^*$ ,  $\alpha$ - експериментальні параметри, причому  $\alpha$  відповідає за швидкість росту;  $t^*$ - час при якому:

$$H^* = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} + H_{\min} = \frac{H_{\min} + H_{\max}}{2}, \quad (2)$$

коли  $H_{\max} \gg H_{\min}$  (наприклад, висота стебла льону, жита, пшениці, соняшника, томатів в порівнянні з розмірами зернівки).

Тоді рівняння 1 спрощується до виду:

$$H(t) = \frac{H_{\max}}{1 + e^{\alpha(t^* - t)}}, \quad (3)$$

Спрощене рівняння (3) дає можливість суттєво полегшити апроксимацію експериментальних даних.

Наприклад, для масиву експериментальних даних:

Таблиця 1

$\tau$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	...	$\tau_n$
$H$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	...	$H_n$

При цьому для подальшої апроксимації для  $\tau \rightarrow \infty H_{\max} = H_n + \Delta H$ , тоді з рівняння (3) маємо:

$$e^{\alpha(t^*-t)} = \frac{H_{\max}}{Ht} - 1, \quad (4)$$

або

$$b - \alpha\tau = \ln\left(\frac{H_{\max}}{H_{\min}} - 1\right) = z, \quad (5)$$

Таблиця 2

$\tau$	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_n$
$z_1 = \ln\left(\frac{H_{\max}}{H(1)} - 1\right)$	$z_2 = \ln\left(\frac{H_{\max}}{H(2)} - 1\right)$	$z_3 = \ln\left(\frac{H_{\max}}{H(3)} - 1\right)$	...	$z_n = \ln\left(\frac{H_{\max}}{Hn} - 1\right)$

В таблиці 3 наведені значення параметрів  $\beta$  та  $\alpha$  для дев'яти варіантів удобрення томатів, що вирощувались в Житомирському районі протягом 2010-2012 років.

При цьому варто вказати, що  $b = \alpha \cdot t^*$ ,

$$\tau^* = \frac{b}{\alpha}, \quad (6)$$

На графіках (рис.1-3) наведені взаємозв'язки між параметрами  $b$  та  $\alpha$  для різних варіантів удобрення. Високі значення коефіцієнтів кореляції для цих залежностей підтверджують високу «фізичність» моделі (1) та (3) для моделювання росту томатів  $H(t)$ . З іншої сторони, лінійні взаємозв'язки між параметрами  $b$  та  $\alpha$  дозволяють стверджувати, що нам вдалося в двох-параметричному просторі  $b$  та  $\alpha$  виділити автономний підпростір, двохмірний простір зводиться до одномірного скалярного, що дозволяє співставити кожний з восьми варіантів удобрення деякій скалярній мірі (числу). Цей результат дозволяє складну багатовимірну ( $n$ -мірну) векторну задачу звести до однієї скалярної міри (в даному випадку для порівняння кінетики росту). Це дозволяє порівняти вплив систем удобрення та кінетику росту томатів.

У графіках (рис.1) наведена апроксимація росту томатів в координатах  $Z$  та  $t$  функції (5) для всіх варіантів удобрення за 2010 рік, де спостерігається, позитивна лінерізація експериментальних даних у вказаних координатах. Про це також свідчать високі значення коефіцієнтів кореляції. Аналогічна апроксимація виконана і для експериментальних даних за 2011, 2012 рр. та середніх даних за 2010-2012 рр. (рис.2-4).

На рис.2-5 наведені кореляційні залежності між параметрами  $b$  та  $\alpha$  моделі (3) для даних за 2010, 2011 та 2012 рр, а також для середніх значень 2010-2012 рр.

Встановлено (рис.5), що за ефективністю впливу на кінетику росту томатів по параметру  $b$  з достовірністю 78,5% системи удобрення можна розмістити в наступному порядку:

7, 6, 1, 8, 4, 9, 2, 3, 5

**Висновки.**

1. Кінетика росту томатів описується кінетичними залежностями (1) –(3), з відомого розподілу Фермі-Дірака модернізованими проф. Грабарем (модель ФДГ).

Експериментальні дані кінетики росту томатів (2010-2012 рр)

№ п/п	Варіант удобрення	Дні проведення спостережень					Hmax
		55	70	85	100	115	
1	Контроль (полив водою)	13,54	30,51	69,72	100,07	111,23	114,23
2	полив водою + мульчування ґрунту.	12,48	23,12	56,43	94,32	108,93	111,93
3	НРК перед посадкою ;	13,24	32,01	86,37	112,07	126,10	129,1
4	НРК перед посадкою з підживленням рослини кожні 10 днів	13,18	32,83	93,71	102,07	128,63	131,63
5	НРК перед посадкою з підживленням рослини кожні 10 днів + мульчування ґрунту;	12,79	33,87	80,86	116,93	131,30	134,3
6	біопрепарат ( Гумат Rost-конфентрат ) з підживленням рослини кожні 10 днів;	13,49	34,90	76,85	101,13	120,50	123,5
7	біопрепарат ( Гумат Rost-конфентрат ) з підживленням рослини кожні 10 днів + мульчування ґрунту;	13,00	30,81	72,30	96,85	109,27	112,27
8	перегній ВРХ 3т/га	12,79	32,27	72,43	102,00	109,14	112,14
9	перегній ВРХ 6 т/га	12,97	26,00	92,32	101,07	116,83	119,83

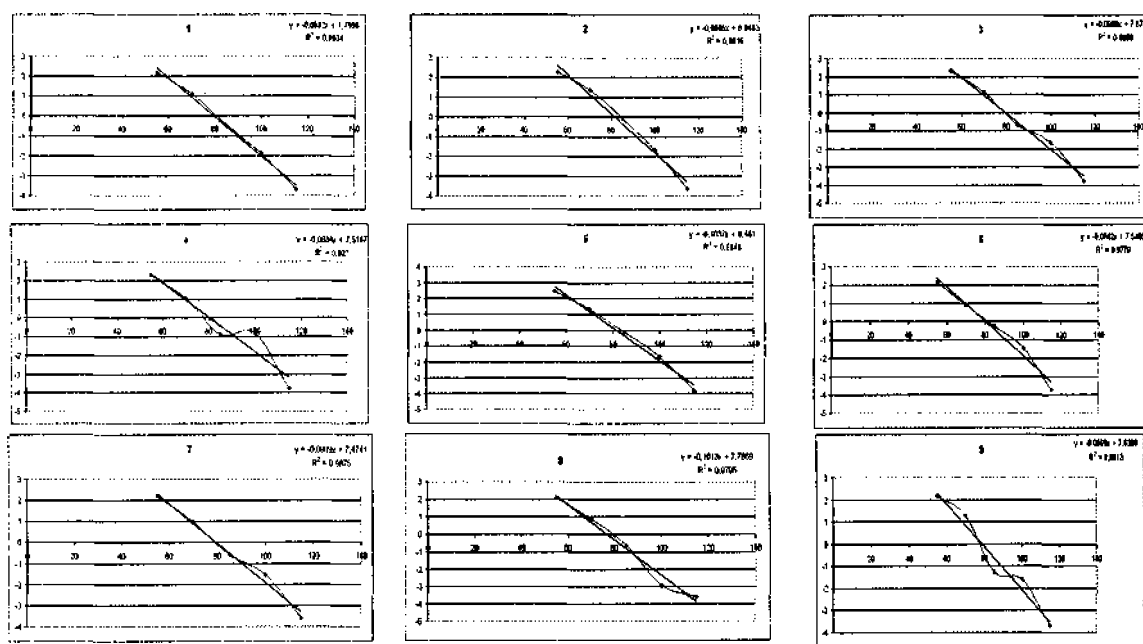


Рис. 1. Апроксимація росту томатів за 2010 рік для дев'яти варіантів живлення \*1-9 номер варіанту

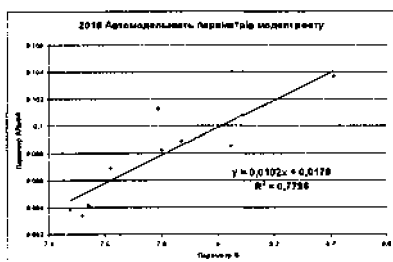


Рис. 2. Залежність між параметрами b та a моделі (3), за 2010 р.

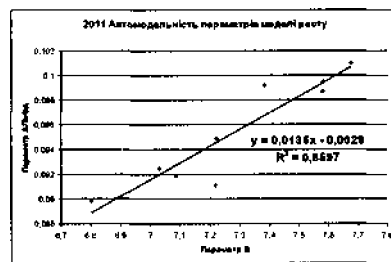


Рис. 3. Залежність між параметрами b та a моделі (3), за 2011 р.

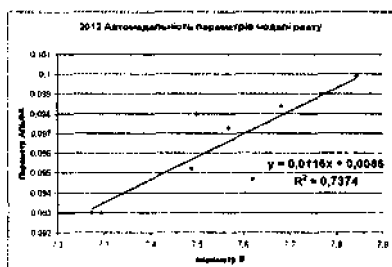


Рис. 4. Залежність між параметрами  $b$  та  $\alpha$  моделі (3), за 2012 р.

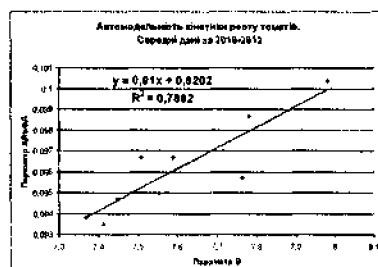


Рис. 5. Залежність між параметрами  $b$  та  $\alpha$  моделі (3), за 2010-12 рр.

2. Запропонована методологія ефективною апроксимації експериментальних даних рівнянням ФДГ, що після нескладних перетворень зводиться практично до класичного методу найменших квадратів.
3. Експериментальні данні  $N(t)$  для вирощування томатів для восьми систем удобрення 2010-2012 рр. виявили тісний зв'язок між параметрами лінійної кореляції  $b$  та  $\alpha$ .
4. Виявлено автомодельний підпростір, що дозволяє з багатовимірного простору системи удобрення отримати одномірну скалярну міру (число). Це дає змогу легко ранжувати варіанти живлення по кінетиці росту томатів.

#### Список використаних джерел

1. Добровольський В.В. Основи теорії екологічних систем: [навч.підруч.] / В.В.Добровольський. – К.: ВД «Професіонал», 2005. – 272 с
2. Литневский Л.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс] / Л.А.Литневский – режим доступу: <http://webcenter.ru/~litnevsk>.
3. Перколяційно-фрактальні матеріали: моделювання, властивості, технології, застосування / І.Г.Грабар, О.А. Гутніченко, Ю.О. Кубрак, О.І.Грабар – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 354 с.
4. Тимонін Ю.О. Універсальна модель систем: методологічний аспект / Ю.О.Тимонін, Ю.Б. Бродський, І.Г. Грабар // Вісн.ЖНАЕУ. – 2009. - №1. – С.258-366
5. Умнов А.А. Математическая модель биологического круговорота веществ и энергии, происходящего в загрязненной воде / А.А. Умнов // Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки: Мн: Изд-во Белорус. Ун-та, 1972 –С.157-182.
6. Чарльз Киттель Статистическая термодинамика / Чарльз Киттель – М, 1977. – 336с.

**Аннотація.** Проведено моделювання впливу систем удобрення на кінетику росту томатів. Результати досліджень показали, що кінетика росту томатів описується кінетическими залежностями. Установлено, що вирощування томатів при восьми системах удобрення проявили тісні зв'язки між параметрами лінійної кореляції.

**Ключевые слова:** модель, кінетика росту, системи удобрення, томати.

**Summary.** The simulation of the effects of fertilization systems on the kinetics of tomato growth is made. The investigation results prove that the kinetics of tomato growth is presented thought kinetic dependences. It has been established that growing tomatoes under eight fertilization systems testifies to close with the linear correlation parameters.

**Key words:** model, kinetic of growing, fertilization systems, tomato.