

МОДЕЛЮВАННЯ ФАКТОРІВ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОСЛИНИ В СИСТЕМІ РОСЛИНА – ҐРУНТ – ПОВІТРЯ

І.М. Болбот, кандидат технічних наук

Проаналізовано вплив факторів навколишнього середовища на життєзабезпечення рослин у системі рослина – ґрунт – повітря. Проведено моделювання основних факторів життєзабезпечення рослини, що суттєво впливають на її ріст і врожайність рослини.

Моделювання, коефіцієнт життєзабезпечення рослини, світлозабезпечення, вологозабезпечення, теплозабезпечення, забезпечення поживними речовинами, газозабезпечення.

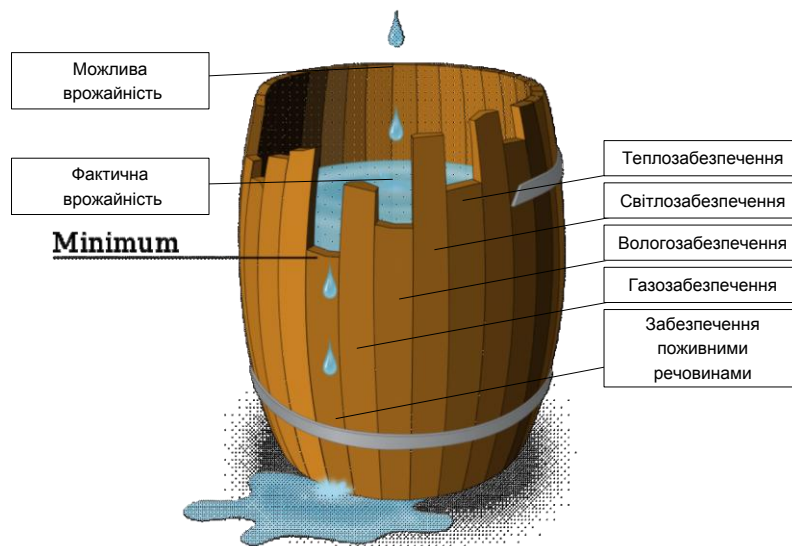
Розглянемо загальну модель, яка відображає залежність врожаю сільськогосподарської культури від процесів тепломасопереносу, що протікають в об'єкті закритого ґрунту. Мова йде про отримання оптимального врожаю певної культури завдяки найсприятливішому поєднанню складного комплексу різних властивостей і стану зовнішнього середовища, ґрунту і повітря, що оточує рослину. Модель повинна бути призначена для якісного і кількісного опису росту і розвитку рослини, що знаходиться в найтіснішій взаємодії з динамікою параметрів навколишнього середовища в теплиці.

Мета досліджень – на основі комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що протікають у системі рослина – ґрунт - повітря, проведення моделювання факторів, що впливають на життєзабезпечення рослини.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз літературних джерел [1, 3, 4] свідчить про те, що всю кількість факторів, що впливають на рослину можна звести до світлозабезпечення (m), вологозабезпечення (n), теплозабезпечення (p), забезпечення поживними речовинами (r), газозабезпечення (s). Всі ці фактори рослина вбирає з навколишнього середовища, переробляє, частково засвоює і потім формується урожай. Цілком природно, щоб весь цей потік енергії і маси, що надходить до рослини, засвоюється 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 із цих факторів є досить складним і багатоконпонентним, а одночасне їх поєднання призводить до дуже складної системи, що зумовлює формування врожаю в цілому. Для того, щоб розібратися в цій системі, слід визначити, якими важливими і характерними параметрами для рослини і навколишнього середовища, можна оцінювати кожен із цих факторів, скільки повинно бути таких параметрів і скільки з них необхідно обов'язково прийняти в розрахунок.

Кожен із перерахованих факторів являє собою дріб, у знаменнику якого значиться все надходження до теплиці означеного виду фактора, а в чисельнику - та частина його, яка за вирахуванням всіх витрат, тобто незасвоєна частина фактора, залишається в системі, використовується нею та йде на формування режимів тепла, вологи, світла, поживних речовин та вуглекислоти, тобто режимів зовнішнього середовища, що визначають характер і стан сільськогосподарської культури на кожній стадії її розвитку [5, 6]. Структура всіх факторів така, що вони змінюються в межах від нуля до одиниці і зменшення одного з факторів спричинює зменшення врожайності в цілому, за принципом дії закону мінімуму.

Закон мінімуму свідчить про те, що всі фактори врожайності однаково потрібні рослинам і не можуть замінити один одного [7] (рисунок). За відсутності або нестачі одного з них різко знижується врожайність. Тому необхідно забезпечити рослини усіма без винятку умовами для росту і врожайності, враховуючи також їх взаємодію. Тільки створенням для рослин оптимальних умов можна забезпечити зростання врожайності сільськогосподарських культур.



Модель закону мінімуму життєзабезпечення рослин

Для оцінки того, скільки кожний зв'язок системи рослина-грунт-повітря отримує вологи, тепла, вуглекислого газу тощо, введемо і дослідимо баланси – теплові, радіаційні, водні, вуглекислотні, сольові. Однак поняття балансу часто застосовується неоднозначно [2]. Вивчають баланс радіаційний, тепловий, водний на поверхні однієї з двох складових (грунт або рослина) трискладової системи. У той час, говорячи про водний або сольовий баланси шару ґрунту, коли кожен із цих балансів занадто складний і складається з ряду компонентів, що ускладнює аналіз факторів врожайності. Тому запропоновано використовувати поняття балансу, але в формі, яка дозволила б одним параметром характеризувати найважливішу сторону обмінних процесів і притому віднести його до всієї системи в цілому. Таким параметром може стати акумулятивна частина всіх факторів, тобто частина, що утилізована системою рослина-грунт-

повітря. У цьому розумінні такий параметр являє собою відношення тієї частини чинників, яка використовується системою, до всієї величини чинників, які до неї надходять. Це відношення назовемо коефіцієнтом життєзабезпечення рослини в системі рослина – ґрунт – повітря

Результати досліджень. Розглянемо по черзі кожен із коефіцієнтів.

Світлозабезпечення – неодмінна умова існування зелених рослин. Під його впливом відбувається процес фотосинтезу, в ході якого рослини з вуглекислого газу, води і мінеральних речовин ґрунту синтезують первинні органічні речовини, виділяючи в атмосферу кисень. Сонячне світло створює освітленість, яка характеризується сумарною дією прямої, розсіяної і відбитої радіації. Освітленість пропорційна інтенсивності сонячної радіації. Світлозабезпечення m може бути записано як:

$$m = \frac{R^{(n)}}{R}, \quad (1)$$

де $R^{(n)}$ – частина радіації, що досягає поверхні ґрунту за наявності рослинного шару; R – вся радіація, що може досягти поверхні ґрунту.

З усього впливу сумарної радіації, що потрапляє на поверхню ґрунту, частина її в кількості $R^{(n)}$ досягає поверхні ґрунту за наявності рослинного шару. Таким чином, на частку рослин та міжрослинного шару повітря, висотою від верхівок рослин H до поверхні ґрунту, надходить $R^{(H)} = R - R^{(n)}$ або частина її від величини R , що дорівнює m . Значення величини $R^{(n)}$, що утилізується ґрунтом, змінюється в межах $m=0..1$. Якщо $m = 0$, то рослини настільки розвинені, що своєю суцільною масою не пропускають жодної частини променистої енергії, яка дійшла б до поверхні ґрунту. І навпаки, при $m = 1$ через рідку і малорозвинену рослинність вся величина R досягає ґрунту.

Запишемо величину m інакше:

$$m = \frac{R^{(n)}}{R^{(H)} + R^{(n)}}. \quad (2)$$

Оскільки весь радіаційний баланс R складається з частини радіації, що досягає поверхні ґрунту, і залишку, то $R^{(H)}$ формується на висоті крон рослин H [3]. Введемо інший коефіцієнт $m_1 = 1 - m$, який, навпаки, показує своїм зростанням від 0 до 1 збільшення густини рослинності від повної розрідженості до повної загущеності рослин, отримаємо:

$$m_1 = \frac{R^{(H)}}{R}. \quad (3)$$

Запишемо кожен елемент R (як $R^{(n)}$, так і $R^{(H)}$) у розгорнутому вигляді:

$$R^{(n)} = \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=0}; \quad (4)$$

$$R^{(n)} = -c_p \rho k(x) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=H-0} + c_p \rho k(x) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=H+0} - L \rho k(x) \frac{\partial q}{\partial x} \Big|_{x=H-0} + L \rho k(x) \frac{\partial q}{\partial x} \Big|_{x=H+0} + R^{(n)}, \quad (5)$$

де T – температура системи ґрунт–повітря поздовж координати x , додатні значення якої направлені в сторону повітря $x > 0$, а від’ємні в сторону ґрунту $x < 0$, $^{\circ}\text{C}$; q – абсолютна вологість повітря, $\text{г}/\text{м}^3$; $\frac{\partial T}{\partial x}$ і $\frac{\partial q}{\partial x}$ – вертикальні градієнти температури і вологості повітря; H – висота рослин, м ; λ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту; $k(x)$ – коефіцієнт турбулентності; c_p – теплоємність повітря, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$; ρ – щільність повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рівняння (4) є рівнянням рівня радіації на поверхні ґрунту $X = 0$, друге являє собою рівняння теплового балансу на висоті крон рослин $X = H$. Рівняння (5) відображає той факт, що значення рівня радіації на рівні H являє собою алгебраїчну суму стрибків потоків тепла турбулентності і випаровування. Рослина як би обумовлює виникнення розриву в величинах потоків турбулентного тепла і вологи, викликаного випаровуванням. Ефект від цього розриву, як показує досвід, буде максимальним на верхньому рівні крон рослин.

Другий фактор, – це *вологозабезпечення*, являє собою дріб, знаменник якого становить весь приплив вологи до рослини, що складається з поливу O , вертикального фільтраційного потоку $F \uparrow$ (знизу вгору) і початкового запасу вологи в ґрунті W . Чисельник цього дробу – це сума параметрів: всієї вологи, яка, проходячи через систему, витрачається на сумарне випаровування U ; горизонтального скидання C і вертикальної фільтрації $F \uparrow$ (зверху вниз). Таким чином:

$$n = \frac{U + C + F \downarrow}{W + O + F \uparrow}, \quad (6)$$

Загальноприйнято як коефіцієнт вологозабезпечення вважати:

$$\beta = \frac{U}{U_0}, \quad (7)$$

де U – фактичне випаровування від рослини, $\text{кг}/\text{м}^2 \text{ с}$; U_0 – максимально можливе випаровування в умовах максимального надходження вологи з ґрунту в рослину, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$. Встановлено, що величина LU_0 (величина, виражена в теплових одиницях) з урахуванням теплового потоку в ґрунті, дорівнює:

$$\beta = \frac{U}{(R - B)}, \quad (8)$$

де B – тепловий потік в ґрунті, $\text{Вт}/\text{м}^2$; L – прихована теплота пароутворення води, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Критерій n знаходиться набагато простіше, тому що для його визначення може бути застосований будь-який із багатьох надійних способів вимірювання сумарного випаровування, заснований або на градієнтному

принципі, або на використанні рівняння теплового балансу. Поєднуючи обидва ці підходи, для величини сумарного випаровування запишемо вираз:

$$U = \frac{R - B \Delta q}{\Delta q + 0,48 \Delta T} \quad (9)$$

де Δq і ΔT – різниці вологості та температури повітря.

При цьому коефіцієнт вологозабезпечення β дорівнює:

$$\beta = \frac{\Delta q}{\Delta q + 0,48 \Delta T} \quad (10)$$

для умов, коли випаровування LU_o (в теплових одиницях) можна вважати рівній різниці $R - B$.

Визначимо *теплозабезпечення* рослин:

$$p = \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{Q_c + Q_o + Q_{co} - (LU + P + Q_{ам} + Q_{від})}{Q_c + Q_o + Q_{co}}, \quad (11)$$

де γ – весь приплив тепла до системи рослина-ґрунт-повітря, *кВт*, який складається з сумарної короткохвильової радіації Q_c і довгохвильового випромінювання атмосфери Q_o , надходження тепла від системи опалення Q_{co} ; α – все тепло, що поглинається ґрунтом та рослиною, і проміжним шаром повітря, що заповнює проміжки між рослинами, *кВт*, який складається з LU – тепла, що витрачено на сумарне випаровування від рослини, P – турбулентного потоку тепла від поверхні, за яку прийнято рівень крон рослин, $Q_{вип}$ і $Q_{від}$ – радіаційних потоків, обумовлених випромінюванням і віддзеркаленням тієї ж поверхні.

Розглянемо детальніше критерій p , для цього введемо поняття: теплоаккумуляція в шарі проростання рослин, що являє собою величину $(c_e \Delta T)_e$, де c_e – теплоємність-повітряного шару між рослинами, *Дж/кг·°С*; ΔT – зміна температури за період спостережень, *°С*; $(c_p \Delta T)_p$ – теплоаккумуляція самих рослин, тому що c_p – теплоємність рослинної маси, *Дж/кг·°С*; а ΔT у цій комбінації $(c_p \Delta T)_p$ являє собою зміну температури рослин (середня температура листя різного ярусу, стебла; $\left. \frac{\lambda \Delta T}{\Delta x} \right|_{x=a}$ – потік тепла в ґрунті, *Вт/м²*, 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, назвемо 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.

Таким чином, чисельник критерію p містить суму $(c_e \Delta T)_e + (c_p \Delta T)_p + \left. \frac{\lambda \Delta T}{\Delta x} \right|_{x=a} + (c_n \Delta T)_n$, що являє собою при відніманні з усього надходження тепла $Q_c + Q_o + Q_{co}$ величину енергії, що акумулюється системою (рослина-ґрунт-повітря). Знаменник складається з надходження тепла до системи від різних джерел – сумарної коротко- і довгохвильової $Q_c + Q_o$

радіації, що надходить із атмосфери та системи опалення Q_{co} до верхнього рівня рослин. Отже,

$$p = \frac{\left(\frac{p}{p} \Delta T \right) + \left(\frac{e}{e} \Delta T \right) + \frac{\lambda \Delta T}{\Delta x} \Big|_{x=a} + (c_n \Delta T)_n}{Q_c^{(H)} + Q_d^{(H)} + Q_{co}} \quad (12)$$

Наступний фактор врожайності рослини *забезпечення поживними речовинами*:

$$r = \frac{N + P + K + C_a}{\Pi}, \quad (13)$$

де N, P, K, C_a – засвоєні корінням рослин у вагових одиницях кількості основних поживних елементів: азоту, фосфору, калію і кальцію, а Π – загальна кількість внесених добрив у всіх видах.

Звичайно, тут не враховано інші елементи, менш важливі, і це може внести деяку, але невелику похибку. Однак слід мати на увазі, що коефіцієнт r є характеристикою всієї системи рослина-грунт-повітря, а не тільки її ґрунтової ланки, оскільки через Π позначена сума всього живлення – і кореневого і позакореневого.

Коефіцієнт забезпечення поживними речовинами слід розкрити, оскільки в знаменнику цієї величини буде фігурувати сума початкового вмісту кожного елемента живлення $M_i^I - \sum M_i^I$ ($i = 1, 2, 3 \dots$) і сума всієї кількості живлення, що вноситься в ґрунт, може відрізнитися за типом ($j = 1, 2, 3 \dots$) і формі ($v = 1, 2, 3, \dots$) – $\sum M_{j,v}^{II}$. Серед типів цих елементів присутні азот, фосфор, калій, кальцій. Крім того, слід розрізняти мінеральні добрива, внесені під основний обробіток при посіві, підживленні тощо. Потім необхідно врахувати, що коріння рослин може використовувати не всю суму $\sum M_{j,v}^{II}$, а лише ту її частку, яка залишається в ґрунті після переходу частини живлення в форму, що важко засвоюється рослиною $\sum M_k^{III}$, вивітрювання іншої її частині $\sum M_g^{IV}$.

Якщо додатково взяти до уваги, що рослина може отримувати живлення через листя в кількості $\sum M_l^V$ весь приплив поживних речовин до системи, тобто знаменник величини r , являє собою величину:

$$\Pi = \sum M_i^I + \left(\sum M_{j,v}^{II} - \sum M_k^{III} - \sum M_g^{IV} \right) + \sum M_l^V. \quad (14)$$

Чисельник виразу r означає освоєну системою частину живлення за всіма елементами $\sum M_{i,j,v,k,g,l}$. Таким чином:

$$r = \frac{\sum M_{i,j,v,k,g,l}}{\sum M_j^I + \left(\sum M_j^{II} - \sum M_k^{III} - \sum M_g^{IV} \right) + \sum M_l^V}. \quad (15)$$

Останній із факторів – це *газозабезпечення* s :

$$s = \frac{q_n + q_a}{q}, \quad (16)$$

де q_n і q_a – вуглекислота, що поглинається рослиною з ґрунту та атмосфери; q – загальна існуюча величина CO_2 в теплиці.

Величина засвоєння вуглекислоти являє собою відношення суми потоку вуглекислоти S_a , що надходить до системи від атмосфери, і потоку S_n - від ґрунту до всієї кількості вуглекислоти C , що надходить до рослини на її рівні зростання – середньому рівні зеленої маси. Потоки S_a та S_n виражаються через коефіцієнти турбулентного обміну $A=\rho k(x)$ і вертикальні градієнти вмісту вуглекислоти так: з боку атмосфери $\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=H-0}$, з боку ґру-

нту $\rho K \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=H+0}$ тому:

$$s = \frac{\rho K \left[\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=H+0} + \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{x=H-0} \right]}{C}. \quad (17)$$

Важливо зазначити, що всі величини, що входять до коефіцієнтів m , β , ρ , r , s , можуть бути виміряні існуючими технічними засобами автоматики. Ніяких допоміжних невідомих емпіричних індексів, констант, параметрів не потрібно для знаходження п'яти критеріїв забезпеченості факторів врожаю.

Розглядаючи поняття врожай Y , необхідно зважати і на 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, погодно-кліматичного впливу, необхідно провести оцінку співвідношення значимості головних і другорядних факторів врожайності.

Висновки

Встановлено, що до основних факторів, які суттєво впливають на ріст і врожайність рослин належать: світлозабезпечення, вологозабезпечення, теплозабезпечення, забезпечення поживними речовинами та газо-забезпечення. Отримано математичні моделі основних факторів навколишнього середовища рослин у вигляді коефіцієнтів їх життєзабезпечення в системі рослина – ґрунт – повітря.

Список літератури

1. Брызгалов В.А. Овощеводство защищенного грунта / Брызгалов В.А., Советкина В.Е, Савинова Н.И.; под ред. В.А. Брызгалова. – М.: Колос, 1995. – 325 с.
2. Драганов Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве / Драганов Б.Х., Кузнецов В.А., Рудобашта С.П. – М.: АПИ, 1986. – 463 с.
3. Куртнер Д.А. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте / Д.А. Куртнер, И.Б. Усков. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 235 с.
4. Лихацький В.І. Овочівництво / Лихацький В.І., Бургарт Ю.Е., Васянович В.Д.; за ред. В.І. Лихацького. – К.: Урожай, 1996. – 359 с.

5. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 290 с.

6. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений / Дж.Г.М. Торнли; пер. с англ. Д.М. Гродзинского. – К.: Наук. думка, 1982. – 312 с.

7. Шишко Г. Г. Теплицы и тепличные хозяйства: справ. / [Шишко Г.Г., Потапов В.О., Сулима Л.Т. и др.]; под ред. Г.Г. Шишка. – К.: Урожай, 1993. – 421 с.

Проанализировано влияние факторов окружающей среды на жизнеобеспечение растений в системе растение - почва - воздух. Проведено моделирование основных факторов жизнеобеспечения растения, которые существенно влияют на его рост и урожайность.

Моделирование, коэффициент жизнеобеспечения растения, светообеспечение, влагообеспечение, теплообеспечение, обеспечение питательными веществами, газообеспечение.

The influence of environmental factors on plant life-support system in the plant - soil - air. The modeling of the main factors of life support plants that significantly influence growth and yield of plants.

Modelling, coefficient life support plants, light maintenance, providing moisture, heating supply, providing nutrients, gas-supply.

УДК 621.311.1:63

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕЗОНАНСНОЇ ОДНОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**В. В. Василенко, доктор технічних наук
В. М. Комаров, асистент**

Розроблено математичну модель електромагнітних процесів, що відбуваються в резонансній однопровідній системі передачі електроенергії. За результатами математичного моделювання зроблено порівняльний аналіз встановлених хвиль напруг і струмів в однопровідній системі передачі електроенергії з навантаженням від 30 до 150 %. Показано найраціональніші значення основних параметрів резонансної однопровідної системи передачі електроенергії.

Трансформатор Тесли, резонанс, коливальний контур, передача електроенергії.

Історія вивчення однопровідних резонансних систем передачі електроенергії почалася ще в кінці XIX століття, в останні роки з'явився вели-