

Винахід відноситься до сільського господарства, а саме: до енергоощадного та екологічно безпечного вирощування овочевих культур у спорудах штучного клімату, що мають високоякісне світлопроникне огорудження та його надійні термодинамічні характеристики для достатнього життєзабезпечення рослин.

Відомий спосіб вирощування овочевих культур [1], який включає систематичне підживлення тепличних культур розчинами мінеральних та органічних добрив у прямій залежності від культури та стадії її розвитку, врожайності тощо.

Але відомий спосіб, розроблений для вирощування тепличних культур в зоні північних широт, де літо коротке і температура ґрунту (ґрунтового субстрату) в теплиці на значний термін не підвищується до шкочинного для кореневої системи рослин 2 рівня. Рекомендовані концентрації поживних сумішей не завжди ефективні для аналогічних теплиць південних широт.

Відомий спосіб дослідження розподілу добрив у ґрунті [2]. Згідно з названим способом у процесі дослідження розподілу добрив у ґрунтовому субстраті, використовують пристрій для встановлення розподілу добрив під час використання їх рослинами.

Але відомий спосіб розроблений для аналізу локалізації добрив у ґрунті і лише частково придатний для аналізу добрив в поживному розчині при гідропонній культурі.

Відомий спосіб вирощування овочів з використанням позакореневого підживлення, яке проводять у перервах між ультрафіолетовим освітленням, за допомогою ультрамікрооб'ємного обприскувача.

Але відомий спосіб не може бути використаний за повною програмою в період, коли висота рослин перевищує 2,5-3 м (ультрафіолетові світильники нікуди піднімати вище). А без названого додаткового освітлення ефект позакореневого підживлення знижується.

Відомий спосіб [4], де в повному масштабі реалізовані агрохімічні особливості системи удобрення овочевих культур. Згаданий спосіб ґрунтується на розрахунках доз добрив, коли винесення рослинами елементів мінерального живлення розраховують на весь передбачуваний врожай і/або його додаток, який планується отримати тільки за рахунок внесених добрив. Тобто повну дозу внесених добрив розраховують на валову величину створеної рослиною біомаси, що складається з приросту вегетативної біомаси, планового врожаю, позапланового додатку до врожаю, непотрібного листя та пасинків (фітосміття) тощо. Названий спосіб реалізований у проектах типу [5] і є загально визнаним.

Але відомий спосіб не може бути повністю реалізований під час вирощування овочевих культур в тепличних умовах кліматичних зон з сезонно довготривалою та високою (понад 22°C) температурою ґрунтового субстрату.

Відомий спосіб підвищення родючості ґрунту у результаті застосування сумішок добрив - геліутворювачів, взятий нами за прототип [6]. Основою прототипу є застосування у теплицях при позитивних температурах розведеного розчину метасилікату калію ($K_2O \cdot nSiO_3$), який з ортофосфорною кислотою (розчинами інших кислот) коагулює до стану хімічно стійкого гелю мета-кремнійової кислоти (H_2SiO_3)_x. Створений таким чином гель має надзвичайно високу водоутримуючу здатність. Як складові компоненти в гель (який має лужну реакцію) вводять поживні речовини. У залежності від інтенсивності споживання рослинами катіонів та аніонів солей мінеральних добрив, komponують відповідний за концентрацією склад гелю. Виходячи з необхідної концентрації компонентів, поживний розчин (а після коагуляції з складовими ґрунтового субстрату - гелю) готують на основі або модуля (SiO_3/K_2O) силікату (дрібно розміленої фракції силікагелю), або додаванням у гель солей певних елементів живлення. У ґрунтовому субстраті швидкість застосування гелю часто залежить від його концентрації та температурної інтенсифікації реакції гелестворення, а також від структури самого ґрунтового субстрату. Термін самого процесу гелестворення (коагуляція поживного розчину на основі метакремнійової кислоти та її солей) регулюють додаванням води. Дуже розведений розчин має тривалий термін створення стійкого шару гелю. Між поливами, коренева система рослин безперешкодно поглинає необхідну кількість води та поживних речовин з гелю метакремнійової кислоти. У ґрунтовий субстрат розчин мета-силікату калію з додатком мінеральних добрив вносять у некоагульованому стані. В дрібному щєбені, аналогічно як і в легких ґрунтах, що мають високий коефіцієнт фільтрації, термін утворення гелю нетривалий. Розчин з геліутворювачем вносять стрічками тільки під рослини - до висадки розсади на постійне місце.

Але відомий спосіб широко не був реалізований через недосконалість засобів механізації - на той час, коли він був запропонований - це, з одного боку. А з другого боку, він був розроблений для ґрунтових теплиць, у яких майже щосезонно замінюють ґрунт. Тому вважалося, що впровадження лише на 1-2 роки геліутворювача було невідгодно дорогим агрозаходом, який стрімко піднімав собівартість овочової продукції.

В основу винаходу покладено завдання створити такий спосіб для вирощування овочевих культур, який давав би можливість налаштувати енергоощадну технологію їх виробництва, за рахунок раціонального використання мінеральних добрив з комп'ютерним регулюванням їх засвоєння рослинами, що зумовлює створення надійного та добротного поживного середовища, і як наслідок, дає можливість зростання врожайності тепличних культур та поліпшення якості продукції.

Поставлене завдання досягається тим, що у розробленому технічному рішенні пропонується подовження терміну та істотне посилення фізіологічно активної дії у вегетуючих рослин системи кореневого живлення (в період літньої спеки - в ґрунтовому субстраті), яке відбувається за рахунок створення спеціальних гідроаеротермічних умов, в яких коренева система рослин функціонує в оптимальному метаболічному режимі без перевитрати температурозалежної активності елемент поглинальної енергії кореневої системи, такий режим живлення створюють відповідною зміною концентрації поживного розчину у залежності від весняно-літніх добових коливань підвищеної (за відмітку оптимального рівня) температури ґрунтового субстрату на рівні кореневої системи рослин.

Згідно до наших розробок, у запропонованому рішенні, корегування концентрації всіх розчинних компонентів поживного розчину проводять обернено пропорційно зміні температури ґрунтового субстрату вище оптимальної (15-16°C), з таким розрахунком, щоб коефіцієнт експоненціального приросту температури у зоні кореневої системи був в межах 0,0062-0,0081 і визначав величину коефіцієнту корегування приросту концентрації компонентів поживного розчину в межах (-0,01)-(0,02).

Ще одне нововведення полягає у тому, що вміст функціонально ефективної водної компоненти калій мета-силікатного гелю ґрунтового субстрату в зоні кореневої системи рослин регулюють частотою та тривалістю сеансів додаткового поливу рослин чистою водою у залежності від величини експоненціального коефіцієнту приросту температури вище оптимальної - на основі функціональної реакції рослин на забезпечення водних потреб.

Новизна запропонованого нами рішення полягає також і в тому, що функціональну реакцію рослин на частоту та тривалість позакореневого підживлення рослин визначають з врахуванням коефіцієнту експоненціального приросту температури вище оптимальної.

Теоретичне обґрунтування новизни та ефективності передбачуваного нами винаходу наступне.

Повну картину інтегрованої системи мінерального живлення рослин ми намагались розглядати як динамічний багатогранний - взаємно зв'язаний та злучно діючий процес з чітко обособленими двома підсистемами. Де одна з підсистем - це функціональна активність кореневої системи рослин, а інша - це спрямована по відношенню до коріння сила осмотичного тиску компонентів поживного розчину (йонна сила розчину). Названі підсистеми функціонально залежні від температури ґрунтового субстрату.

Зокрема, приріст вегетативної біомаси та врожаю овочевих культур генотипічно визначається енергією метаболізму, яка прямо пропорційно залежить від температури ґрунтового субстрату в межах 16-26°C.

Нижче 16°C функціональна активність кореневої системи більшість тепличних культур різко знижується. Ще при нижчих температурах коріння хворіє і відмирає. За даними Колоскова П.І. [7] та Подольського А.С. [8] швидкість створюючих біомасу рослин біохімічних реакцій (Y) в межах температурного оптимуму для росту та розвитку прямо пропорційна підвищенню температури (T) за формулою

$$Y_{16+1} = T_{16}^{3/2} \quad (1)$$

Для нашого випадку краще підходить формула приросту біомаси рослин, що описується рівнянням енергії метаболізму (по Пасинському А.Г., 1963) [9]

$$E_{16+1} = 1/10 \ln Q_{10} (RT_{16}^2 + 10RT_{16}), \quad (2)$$

де E_{16+1} - енергія активації метаболізму при 16°C, кДж;

Q_{10} - температурний коефіцієнт швидкості перебігу біохімічної реакції, який показує, що при підвищенні температури реакції на 10°C, її швидкість зростає в 2-2,5 рази,

R - константа Рідберга - 0,082 (літр, атмосферу)/(градус.моль);

T - температура, °C;

$\ln Q_{10}$ - натуральний логарифм величини Q_{10} .

Розрахунки, виконані за формулою 2, показують, що енергія метаболізму кореневої системи (зокрема, помідорів на 1 м²) при 16°C - 0,32 кДж, при 20°C - 1,92 кДж, при 26°C - 5,3 кДж, при 35°C - 11,3 кДж (теоретично, приблизно).

Для розрахунків величини коефіцієнту Інтенсивності зростання активності метаболізму (n_{16+1}) використовують таку формулу (3):

$$n_{16+1} = E_{16+1}/E_{16} \quad (3)$$

де E_{16+1} - енергія активності метаболізму під час підвищення температури вище 16°C, кДж; E_{16} - енергія активності метаболізму при оптимальній температурі, кДж.

Коефіцієнт інтенсивності зростання активності метаболізму кореневої системи при підвищенні температури ґрунтового субстрату має величину: $n_{16} - 1$; $n_{20} - 6,15$; $n_{26} - 17 \div 15$; $n_{35} - 37$ (теоретично).

Тобто при температурі ґрунтового субстрату 26°C всисна енергія кореневої системи, порівняно з цим же процесом при 16°C зростає в 17,5 рази, а при 20°C в 6 разів. Реальна картина така, що рослина з приростом температури до 26°C підвищує свої потреби по відношенню до води і всисає її в 6-17,5 разів більше ніж при 16°C. Подібне споживання води з поживного розчину різко підвищує його концентрацію, яка починає вже шкодочинну дію на кореневі волоски (аналогічно ефекту дії засолення).

Вода поступає в рослину за рахунок дифузії, а йони мінеральних солей поглинаються кореневими волосками рослин вибірково. Для цього використовуються спеціалізовані йонні насоси мембран корневих волосків. За довготривалий інтервал стрімко зростаючої температури (висока денна температура влітку утримується протягом 10-15 год) мембрани всисної зони не можуть адаптуватись до підвищеного осмотичного тиску розчинених солей мінеральних добрив і значно пошкоджуються, а потім руйнуються і відмирають. Як наслідок, коренева система різко зменшує свою ефективну дію. На корінні чітко видно морфологічні зміни (некрози, пустоти, почорніння, висихання, загивання тощо). Ми коротко розглянули найхарактернішу реакцію з боку кореневої системи на сезонне підвищення температури ґрунтового субстрату.

Тепер проаналізуємо вплив підвищеної температури на поживний розчин. Осмотичний тиск іонів солей - елементів живлення - розчинених у поживному розчині, згідно з законом Вант-Гоффа Я.Г. [10], прямо пропорційний їх концентрації та температурі за рівнянням (4)

$$p_{16} = iC_{16}RT_{16} \quad (4)$$

де p - осмотичний тиск іонів солей мінеральних добрив у поживному розчині при температурі 16°C, атм.; i - коефіцієнт дисоціації молекул солей, що використовуються як мінеральні добрива (у нашому випадку i=1-3); C_{16} - концентрація солей в поживному розчині при температурі 16°C, моль; R - константа Рідберга (0,082 (л.атм.))/(градус.моль); T_{16} - оптимальна температура ґрунтового субстрату, 16°C.

За розрахунками, проведеними з використанням формули 4, показано, якщо прийняти осмотичний тиск йонів солей поживної суміші при 16°C за 1, то при 20°C він буде 1,07, при 26°C він буде 2,03, при 35°C він буде 2,74 (теоретично, приблизно).

Для розрахунків величини коефіцієнту приросту осмотичного тиску йонів солей мінеральних добрив (k_{16+1}),

в умовах зростаючої весняно-літньої температури, використовують формулу 5

$$k_{16+1} = p_{16+1}/p_{16} \quad (5)$$

Коефіцієнт приросту осмотичного тиску має таку величину (реально він значно більший):

$k_{16} = 1$; $k_{20} = 1,37$; $k_{26} = 2,03$; $k_{35} = 2,74$ (теоретично).

Приведена величина коефіцієнту k_{16+1} значно (приблизно в 2-3 рази) більша у реальних умовах, оскільки нами не врахована дисоціація молекул солей.

Таким чином осмотичний тиск (навіть без врахування його приросту під час зменшення водної компоненти за рахунок транспірації рослин) поживного розчину, зростає більше як у 2 рази під час нагрівання ґрунтового субстрату від 16 до 26°C.

Не важко розрахувати вплив на рослин злучної взаємодії і підвищення енергії метаболізму кореневої системи та осмотичного тиску елементів поживного розчину під час зростання температури ґрунтового субстрату від 16 до 26°C. Для цього використовують формулу 6, що визначає економічну ефективність ($E_{\text{еф.16+1}}$) вирощування овочів при використанні поживних розчинів певної концентрації

$$E_{\text{еф.16+1}} = (k_{16+1}/p_{16+1})100. \quad (6)$$

Таким чином, згідно до розрахунків за формулою 6 економічної ефективності вирощування овочів з використанням відомого способу, впливає, що $E_{\text{еф.16}}=100\%$; $E_{\text{еф.20}} = 22\%$; $E_{\text{еф.26}}=12\%$; $E_{\text{еф.35}} =$ менше 1%.

Приклад. Під час здійснення запропонованого як винахід способу, виконують наступний маршрут технологічних операцій: створюють оптимальні мікрокліматичні умови для вирощування овочів, проводять комплекс штатних агротехнічних операцій для одержання врожаю, роблять позакореневе підживлення мінеральними добривами, контролюють поточну концентрацію та електропровідність поживного розчину, до розчину метасилікату калію додають необхідні компоненти мінеральних добрив, додаванням до розчину метасилікату калію фосфорної кислоти формують водоутримуючий прошарок гелю, вимірюють температуру ґрунтового субстрату на глибині основної маси ефективно діючого коріння, оптимізують концентрацію поживних речовин в гелі, додаючи мінеральні добрива з поживним розчином або поливають рослини водою, контролюють транспірацію рослин, збирають врожай та контролюють його якість, проводять штатні заходи по захисту рослин від хвороб та шкідників, пасинкують, додатково запилюють рослини, формують оптимальну за обсягом фотосинтезну зону габітусу рослин, регулюють висоту рослин.

Помідори гібриду Верліока F1 (варіанти 1-8) вирощують за технологією, описаною в [1], а гібриду Росенто F1 (варіант 9) - за спеціальною голландською технологією з комп'ютерною автоматизацією мікроклімату, крапельним поливом тощо. Щотижня проводять позакореневе [3] та кореневе підживлення мінеральними добривами [1, 2, 4, 5], поточну концентрацію яких вимірюють [4] щоденно. В ґрунтовому субстраті на рівні кореневої системи формують шар гелю мета-кремнієвої кислоти [6]. Щоденно вимірюють температуру субстрату (вручну або дані беруть з розпечаток на принтері за результатами роботи автоматичної метеостанції та датчиків всередині теплиці).

Щоб уніфікувати вплив на рослин різних рецептів поживних розчинів (які найефективніше використовуються при температурі ґрунтового субстрату 16°C і мають однакові поживні якості, але відрізняються за складом компонентів мінеральних добрив), ми всю масу названих компонентів у будь-якому розчині, та незалежно від їх співвідношення умовно приймаємо за 1. Поживні розчини готують таким чином, щоб їх концентрація була в межах 0.15-0,20% 6 рН 6.8-7,5, електропровідність $E = 2-2,5$.

Досліди ставлять у таких варіантах:

Варіант 1. Пригнічення активності кореневої системи (Верліока F1, ґрунт, ґрунтовий субстрат); температурний еквівалент на рівні кореневої системи 14°C; концентрація поживного розчину менше 1.

Варіант 2. Вихідна концентрація елементів живлення у поживному розчині 0,95; (Верліока F1, ґрунт, ґрунтовий субстрат); температурний еквівалент 16°C.

Варіант 3. Вихідна концентрація елементів живлення у поживному розчині 1; (Верліока F1, ґрунт); температурний еквівалент 16 (ЕТАЛОН).

Варіант 4. Підвищена концентрація елементів живлення у поживному розчині 1,05; (Верліока F1, ґрунт); температурний еквівалент 20°C.

Варіант 5. Підвищена концентрація елементів живлення у поживному розчині 1,05; (Верліока F1, ґрунтовий субстрат); температурний еквівалент 20°C.

Варіант 6. Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині на фоні температурного еквіваленту 26°C (КОНТРОЛЬ-1) (Верліока F1, ґрунт).

Варіант 7. Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині на фоні температурного еквіваленту 26°C (КОНТРОЛЬ-2) (Верліока F1, ґрунтовий субстрат).

Варіант 8. Штатна концентрація елементів живлення у пасивному розчині на фоні температурного еквіваленту 35°C (КОНТРОЛЬ-3) (Верліока F1, ґрунтовий субстрат).

Варіант 9. Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині на фоні температурного еквіваленту 35°C (КОНТРОЛЬ-4) (Росенто F1, ґрунтовий субстрат).

За ЕТАЛОН (варіант 1) беруть відомий спосіб [1]. Новий спосіб, представлений варіантом 2, та ЕТАЛОН порівнюють з аналогами. Дані порівняльного аналізу, результати обліків та розрахункові значення коефіцієнтів корегування зведені в таблицю.

Як видно по врожайності (з даних таблиці), у новому способі (варіант 2) подовжується термін та посилюється величина фізіологічно активної дії, у вегетуючих рослин, системи кореневого живлення (і це в період літньої спеки). При відомій технології, в цей період спостерігають різкий спад. Зростання врожайності - за новим способом відбувається, як експериментально доказано, за рахунок спеціальних гідроаеротермічних умов, в яких коренева система рослин функціонує в оптимальному метаболічному режимі без перевитрати температурозалежної активності елемент-поглинальної енергії кореневої системи. Описаний режим живлення створюють відповідною зміною концентрації поживного розчину у залежності від добових коливань

температури ґрунтового субстрату, особливо в літню спеку. Запропонований нами як винахід спосіб характерний також тим, що поточне корегування концентрації всіх розчинних компонентів поживного розчину проводять обернено пропорційно зміні температури ґрунтового субстрату вище 15-16°C, з таким розрахунком, щоб коефіцієнт експоненціального приросту температури (формула 7) у зоні кореневої системи був у межах 0,0062-0,00811 визначав величину коефіцієнту корегування приросту концентрації компонентів поживного розчину в межах (-0,01)-(-0,02) (формула 8). Істотним досягненням способу є те, що вміст функціонально ефективної водної компоненти калій мета-силікатного гелю ґрунтового субстрату в зоні кореневої системи рослин регулюють частотою та тривалістю сеансів додаткового поливу рослин чистою водою у залежності від величини експоненціального коефіцієнту приросту температури вище 16°C. На основі автоматизованого комп'ютерного аналізу мікрокліматичних та трофічних вимог рослин визначають частоту та тривалість позакореневого підживлення рослин. Таке проводять з врахуванням коефіцієнту експоненціального приросту температури вище 16°C.

Таким чином, при оцінці підсумкового результату вирощування овочів - врожайності показано (розрахунки виконують за формулою 9 - таблиця), якщо добуток дії абіотичних факторів менше 15 відносних одиниць, наприклад, 14, то спостерігають різке зниження врожайності вирощуваної культури (варіант 1).

Якщо добуток дії абіотичних факторів більше 16, наприклад, 32-42, то спостерігають зниження врожайності (варіанти 6-9).

У результаті, з даних таблиці випливає, що оптимальним для функціонування кореневої системи рослин тепличних культур є добуток дії абіотичних факторів в межах 15-31 відносних одиниць, що еквівалентно коефіцієнту корегування концентрації поживного розчину (колонка 5 таблиці).

При здійсненні способу використовують вітчизняне обладнання та технічні засоби згідно з типовим проектом [5].

Використання запропонованого винаходу як способу вирощування тепличних овочів дає можливість на 20-60% підвищити їх врожайність і відповідно зменшити затрати енергоносіїв, що в результаті значно знизить собівартість продукції.

Порівняльна таблиця результатів експериментальних досліджень (приведені середні дані 4-5-и

№ п/п	Варіанти (гібрид:ґрунт:ґрунтовий субстрат)	Показники					До- аб- факт
		Температурний еквівалент варіанту		Еквівалент концентрації поживного розчину, (С)			
		Т, °С	*гг	С, відносні одиниці	**гс		
					Нового способу	Відомого способу	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Пригнічення активності кореневої системи (Верлюка F1)	14°C	—	менше 1	—	—	
2	Вихідна концентрація елементів живлення у поживному розчині 0,95 (Верлюка F1)	16°C	0	0,95	0	—	
3	Вихідна концентрація елементів живлення у поживному розчині 1 (Верлюка F1, ґрунт) (ЕТАЛОН)	16°C	0	1	—	0	
4	Підвищена концентрація елементів живлення у поживному розчині (Верлюка F1, ґрунт)	20°C	0,0062	1,05***	—0,01	—	
5	Підвищена концентрація елементів живлення у поживному розчині (Верлюка F1, ґрунтовий субстрат)	23°C	0,0062	1,05***	—0,01	—	
6 ^{5*}	Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині (КОНТРОЛЬ-1) (Верлюка F1, ґрунт)	26°C	0,0075	1,20***	—0,02	—	
7 ^{5*}	Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині (КОНТРОЛЬ-2) (Верлюка F1, ґрунтовий субстрат)	26°C	0,0075	1,20***	—0,02	—	

1	2	3	4	5	6	7	
8 ^{5*}	Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині (КОНТРОЛЬ-3) (Верлюка F1, ґрунтовий субстрат)	35°C	0,0082	1,20***	-0,022	-	
9 ^{5*}	Штатна концентрація елементів живлення у поживному розчині (КОНТРОЛЬ-4) (Росенто F1, ґрунтовий субстрат)	35°C	0,0082	1,20***	-0,022	-	
Дисперсійний аналіз $NIPO_{0,05}$ більше 5%							

* γ – Коефіцієнт експоненціального приросту температури ґрунтового субстрату в зоні кореневої системи розраховується за формулою: $\gamma = \ln(T_{16}/T_{16+i})/t$ (формула 7);

** γ_c – Коефіцієнт корегування – приріст концентрації компонентів поживного розчину розраховують за формулою 8: $\gamma_c = (C_{16} - C_{16+i})/C_{16}$; C_{16} – температурний еквівалент варіанту при 16°C; C_{16+i} – температурний еквівалент варіанту вище 16°C; \exp – число e за допомогою таблиці;

t – час, дні (вік рослини від появи сходів).

***Можливе корегування технології мінерального живлення відомого способу з врахуванням коефіцієнту (колонка 6).

^{4*} Врахований приріст біомаси бадилля, $kg/m^2/доба$ (загальний максимально можливий приріст).

^{5*} Дані по врожайності та концентрації компонентів у поживному розчині отримані при обстеженні діючої технології.

^{6*} Добуток двох абіотичних факторів (відносні одиниці) розраховують за формулою 9: $D = T \cdot C$ (колонка 3 * колонку 5 =