

КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ МІКРОЕЛЕМЕНТА ФЕРУМУ В СУБСТРАТІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ТОМАТІВ В УМОВАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

Л.П. Морозова

кандидат хімічних наук, старший викладач

Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)

e-mail: lubovmoroza1982@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>

Овочівництво є однією з важливих галузей сільськогосподарства України. Численні наукові дослідження та використання їх результатів на практиці засвідчили, що застосування добрив і зрошення в теплицях можуть у кілька разів підвищити врожайність овочевих культур. Сприяти збільшенню економічної ефективності овочівництва може впровадження промислових технологій вирощування, які базуються на повній механізації головних виробничих процесів, скороченні витрат води, створенні сортів культурних рослин із високою потенційною продуктивністю. Проблема розробки та впровадження промислових технологій потребує вирішення цілої низки складних завдань, до яких належать: створення й повсюдне поширення сортів овочевих культур, придатних для механізованого збирання; розробка комплексу агротехнічних заходів, який охоплює норми, строки та засоби внесення добрив, режими зрошення, заходи боротьби з бур'янами, шкідниками та хворобами; вивчення впливу погодних умов на зростання культур, формування врожайів, зіставлення агрокліматичних ресурсів території вирощування з вимогами культур тощо. Характерною рисою сучасного овочівництва є його інтенсифікація шляхом збільшення частки ранніх овочів у захищеному ґрунті, внесення добрив та ін. Однією з основних овочевих культур, що вирощуються в Україні, є томати. Відомо, що їх урожаї на території України дуже мінливі та визначаються забезпеченістю території світлом, теплом, вологою, елементами живлення, а також біологічними особливостями культури. Підвищенню врожайності томатів сприяє багато чинників, зокрема впровадження у виробництво нових, продуктивніших сортів, сортове районування, яке передбачає розміщення різних за скоростиглістю сортів відповідно до агрокліматичних ресурсів території та біологічних особливостей цієї культури. Виявлення причин коливання продуктивності овочевих культур у часі та на території, розробка на цій основі кількісних показників, які давали б змогу з достатньою точністю характеризувати величину врожайів залежно від погодних умов, що складаються в окремі роки в різних регіонах — досить складна проблема, яка вирішується в сучасних дослідженнях з агрометеорології. Через часту зміну сортового складу та велику кількість сортів різних термінів дозрівання овочеві культури є складним об'єктом для досліджень. Хоча більшість томатів вирощують у відкритому ґрунті, їх культивування в скляних теплицях або теплицях тунельного типу, вкритих пласковою плівкою, стає все більш поширеним для забезпечення місцевих ринків свіжими плодами. У закритому ґрунті вирощують переважно високорослі сорти томатів. Вони дозволяють максимально ефективно використовувати площу теплиць та отримувати багаті врожаї. У теплицях підтримують високі концентрації вуглекислого газу (600–1000 ppm) для покращення процесу фотосинтезу, швидкості росту та врожайності. Подібна практика часто використовується в регіонах із низькою врожайністю та системах інтенсивного сільськогосподарського виробництва. Хоча висаджування томатів у ґрунт у теплицях тунельного типу все ще досить поширене, більшість тепличних сортів томатів інтенсивного типу вирощують на субстратах, таких як мінеральна вата. Фертигація забезпечує достатнє надходження поживних речовин та усуває більшість чинників, пов'язаних із важкими характеристиками ґрунту, які важко контролювати. Вирощування томатів у теплицях потребує використання значної кількості води. Для підживлення томатів виробникам потрібно також враховувати масу та ступінь розчинності мінеральних добрив у воді. Деякі елементи або сполуки, наявні в зрошувальній воді, можуть впливати на ріст рослин, саме тому існує необхідність контролю їх рівня. У роботі досліджено вплив концентрації мікроелемента феруму в субстраті з мінеральної вати на ріст і розвиток культури томата сорту Біоранж (жовті плоди) у період масового плодоношення в умовах захищеного ґрунту. Встановлено, що фотоелектроколориметричний метод визначення вмісту мікроелемента феруму в мінераловатних витяжках є досить чутливим, простим і рекомендованим для використання в серійних аналізах. Визначене середнє значення вмісту мікроелемента феруму (1,23 мг/л) виявилось достатнім для вирощування томатів у період масового плодоношення. Контроль вмісту феруму дозволяє значною мірою попередити хвороби томатів на хлороз листя та отримувати високоякісні врожаї.

Ключові слова: хімічний склад, теплиця, гідропоніка, елементи живлення, поживний розчин, фотоелектроколориметрія.

ВСТУП

На сьогодні томати (*Lycopersicon esculentum*) є одними з найпопулярніших свіжих овочів на світовому ринку, виробництво яких у світі перевищує 163,9 млн т. Їх вважають функціональною їжею, оскільки вони мають високий рівень вітамінів, мінералів і, зокрема, лікопіну — каротиноїдного пігменту, що має антиоксидантні властивості. На якість томатів, яку прийнято оцінювати за такими ознаками, як зовнішній вигляд, текстура, безпека, смак і харчова цінність, впливають генетична основа, умови вирощування, використовувані ресурси та умови зберігання. Але основною характеристикою є зовнішній вигляд, оскільки саме він визначає вартість комерціалізації продукту [1; 2]. Враховуючи зростання споживчого попиту на овочеві продукти в усьому світі, томати, вирощені в теплиці, є чудовою перспективою для продажу на місцевих ринках. Однак для вирощування томатів як органічного продукту необхідно використовувати ресурси та методи, які покращують екологічну рівновагу природних систем [3].

Томат — теплолюбна, посухостійка, вимоглива до родючості ґрунту рослина. Потреба у волозі залежить від фази розвитку рослин: сходи — зав'язування плодів — 70–80%, масове плодоутворення — 80–85%, завершення плодоутворення — 70% [4].

Культура томата має широке практичне застосування, зокрема в кулінарії. Помідори використовують у закусках, перших і других стравах, салатах — як у сирому, так і в обробленому вигляді. З них готують салати, супи, соуси, піцу та пасту.

Томати успішно використовують для приготування різних видів консервів. Плоди містять значну кількість кислоти, що дає можливість при виготовленні консервів обмежитися їхньою стерилізацією в киплячій воді. Залежно від того, якого смаку хоче досягти господаря, помідори можна маринувати, солити, варити солодкий соус, сік або компот. Як правило, у будь-якому вигляді консервування використовують цукор, сіль, оцет, лимонну кислоту та різноманітні спеції. За правильної заготівлі продукт можна зберігати в темному та прохолодному місці протягом кількох років. Ці консерви завжди є відмінним доповненням до гарнірів, м'яса, риби, салатів і самостійною закускою. Найвідомішим продуктом із томатів є кетчуп — солодкий помідорний соус із додаванням приправ [5; 6].

Томати вирощують практично на всій території України, але найбільші їхні площі зосереджені в областях Північного та Південного Степу. В усіх районах практикують вирощування різних за швидкостиглістю сортів, щоб

якомога довше забезпечувати населення свіжими плодами. Ранньостиглі сорти дозрівають через 90–95 діб після сходів, середньостиглі — через 110–120, пізньостиглі — через 125–150 діб. Строк дозрівання томатів залежить також від природної кліматичної зони вирощування. Одні й ті самі сорти в південних районах України дозрівають на 15–20 днів раніше, ніж у центральних, і на 25–30 днів раніше, ніж у північних [7; 8].

Настання зрілості томатів залежить від способу їх вирощування. За розсадного способу збір плодів починається з другої декади липня в південних районах і з третьої декади липня в центральних і північних районах. Урожай томатів, вирощених безрозсадним способом, нижчий, ніж вирощених розсадним. Крім того, величина врожаю томатів залежить від способу його збирання. За багаторазового збирання врожай вищий, ніж за одноразового. Строки плодоношення різних за швидкостиглістю томатів відрізняються на 15–20 днів.

Мінливість урожаїв томатів відображає особливості термічного режиму та режиму забезпечення вологою кожного конкретного року в усіх районах. Як і для інших овочевих культур, урожай томатів залежить від багатьох чинників, насамперед від забезпеченості вологою, теплом, поживними речовинами, особливо в критичний період розвитку — від масового утворення бруньок до першого масового збору плодів. Серед овочевих культур томати вирізняються більшою посухостійкістю, але оптимальне зволоження забезпечує формування високого врожаю. Воно має бути не нижче 70% вологоємності. Найбільше води томати потребують після зав'язування плодів. У більшості районів томати вирощують розсадним способом [9; 10].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сьогодні в тепличних господарствах дедалі ширше застосовується метод малооб'ємної гідропоніки з використанням крапельного поливу [11]. Як субстрат використовують спеціальні матеріали — мінеральну вату, кокос, торф тощо. Обраний субстрат виконує функцію середовища для коренів, підживлення здійснюється завдяки подачі розчину добрив. При вирощуванні на субстраті необхідно дуже точно дозувати добрива та забезпечувати рослини достатньою кількістю поживних речовин.

Останніми роками змінилися підходи до технології вирощування рослин. Щоб отримати максимальну продуктивність, треба навчитися керувати їхнім ростом і розвитком. При цьому найважливішим резервом зростання врожайності є найбільш повна реалізація потенційної

продуктивності гібридів, що обробляються, ефективне використання умов вирощування, а також підбір гібридів, адаптованих до сучасних умов вирощування [12].

У роботах [13–16] досліджено роль макроелементів калію, кальцію, магнію та фосфору для росту й розвитку томатів при вирощуванні їх в умовах захищеного ґрунту, що спонукало до подальшого вивчення ролі інших хімічних елементів, зокрема мікроелементів, у різних фізіологічних процесах у рослинному організмі.

Мета статті — визначити вміст мікроелемента феруму у витяжках з мінеральної вати, на якій зростають рослини томата в теплицях, та охарактеризувати вплив концентрації цього елемента живлення на ріст і розвиток томатів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом дослідження були обрані томати сорту Біоранж (жовті плоди) у період масового плодоношення (після 12-ї китиці). Підживлення томатів здійснювали згідно з рецептом, наведеним у таблиці 1.

Таблиця 1

Маточний розчин для поливу томатів сорту Біоранж у період масового плодоношення

Бак А (кг/м³)	Бак Б (кг/м³)
Ca(NO ₃) ₂ — 95,0 KNO ₃ — 20,3 HNO ₃ — 1 л Хелат Fe (13%) — 0,85	HNO ₃ (57%) — 40,1 л pH=5,5 KNO ₃ — 10,0 KH ₂ PO ₄ — 20,4 K ₂ SO ₄ — 34,8 MgSO ₄ — 52,9 Мікроелементи: г/м³ MnSO ₄ (32%) — 130 ZnSO ₄ (23%) — 123 Бура (15%) — 187 CuSO ₄ (25%) — 19 Молибдат Na (40%) — 12

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

Відбір проб на вміст поживних елементів здійснювався протягом тижня (щодня, шість днів поспіль).

Кількісний уміст феруму визначали у витяжках із мінеральної вати за допомогою методу фотоелектроколориметрії відповідно до методики, наведеної в [17].

Ферум (III) утворює з сульфосаліциловою кислотою, залежно від кислотності розчину, низку забарвлених комплексів. У лужних середовищах ($9 < \text{pH} < 11,5$) утворюється комплекс жовтого кольору зі смугою поглинання $\lambda_{\text{max}} = 416$ нм.

Раніше вважалося, що комплекс, який утворюється в лужних середовищах, є трисульфосаліцилатом Fe (III). Однак у пізніших дослідженнях висловлено іншу точку зору щодо природи цього комплексу. Вважається, що його утворення пов'язане не з приєднанням третьої молекули реагенту, а з депротонуванням біс-комплексу. Внаслідок зміцнення зв'язку атома феруму з фенольним киснем відбувається зсув смуги поглинання біс-комплексу в короткохвилову область спектру.

Інтенсивність забарвлення розчину пропорційна концентрації феруму, який знаходиться за градувальним графіком, побудованим на основі стандартного розчину феруму (III).

Для проведення експерименту були використані наступні необхідні реактиви та прилади:

1. Фотоелектроколориметр КФК-3.
2. 25%-й розчин сульфосаліцилової кислоти. Приготування реактиву: 125 г сульфосаліцилової кислоти розчиняють у дистильованій воді в мірній колбі об'ємом 500,00 мл.
3. 25%-й розчин аміаку.
4. Приготування стандартного розчину 0,1 мг/мл Fe³⁺: 0,8634 г перекристалізованого залізоамонійного галузу FeNH₄(SO₄)₂ · 12H₂O кількісно розчиняють у дистильованій воді в мірній колбі об'ємом 1,00 л, додають кілька крапель концентрованої HNO₃ і доводять об'єм розчину водою до мітки.
5. Побудова калібрувального графіка. У мірні колби об'ємом 50,00 мл вводять наступну кількість стандартного розчину:

C (Fe ³⁺), мг	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Об'єм стандартного розчину (0,1 мг/мл Fe ³⁺), мл	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Сюди ж додають невелику кількість дистильованої води, по 2 мл 25%-го розчину сульфосаліцилової кислоти та по 5 мл 25%-го аміаку. Розчин ретельно перемішують і доводять до мітки водою.

6. Приготування розчину порівняння (“нульового” розчину): у мірну колбу об'ємом 50,00 мл вводять невелику кількість води, 2 мл 25%-го розчину сульфосаліцилової кислоти та 5 мл 25%-го аміаку.

7. Вимірювання проводять при довжині хвилі 400 нм, чутливості “3” за чорною шкалою, товщині кювети 10 мм.

8. За отриманими даними будують графік залежності коефіцієнта пропускання (%) від вмісту феруму (мг) в розчині.

9. Для проведення аналізу вмісту феруму в досліджуваних зразках 5 мл досліджуваного розчину поміщають у мірну колбу об'ємом 50,00 мл, додають невелику кількість дистильованої води, 2 мл 25%-го розчину сульфосаліцилової кислоти та 5 мл 25%-го аміаку, об'єм розчину доводять до мітки водою. Вимірювання проводять при довжині хвилі 400 нм, чутливості "3" за чорною шкалою, товщині кювети 10 мм.

10. Розрахунок вмісту Fe^{3+} (мг/мл) в розчині проводять за формулою:

$$C(\text{Fe}^{3+}) = a \cdot 1000 / V, \quad (1)$$

де: a — вміст Fe^{3+} (мг), знайдений за калібрувальним графіком; V — об'єм досліджуваного розчину, взятого на аналіз, мл; 1000 — перевідний коефіцієнт.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Томати досить вимогливі до наявності поживних речовин. Для нормального росту та розвитку рослини мають бути забезпечені не тільки азотом, фосфором і калієм, а й кальцієм, магнієм, сіркою та мікроелементами в достатній кількості. Мікроелементи в рослинах — це переважно метали, які вони отримують із ґрунту.

До мікроелементів належать цинк, бор, мідь, молібден, кобальт, магній, марганець, барій, йод, кремній, алюміній, хлор, титан, натрій, срібло, ферум, ванадій, нікель, селен, літій.

Усі вони відіграють важливу роль у процесі вегетації рослини, а саме впливають на:

- процес фотосинтезу;
- показники цукристості;
- стійкість до морозів і посухостійкість;
- синтез білків;
- стійкість до хвороб і шкідників;
- розмір та якість урожаю [18].

Там їх накопичується багато, але переважно у вигляді нерозчинних сполук, а рослини засвоюють мікроелементи лише в розчинній формі. Крім того, кислотність ґрунту має значення для засвоєння мікроелементів рослинами. У кислих ґрунтах їх засвоєння ускладнене або майже не відбувається. Тому вміст мікроелементів у ґрунті коригують, застосовуючи комплексне мінеральне живлення рослин. Мікроелементи краще вносити через систему краплинного зрошення або шляхом позакоренових підживлень, які не тільки доповнюють кореневе живлення, але й коригують надходження поживних речовин у випадках, коли ґрунтово-кліматичні умови заважають їх достатньому поглинанню кореневою системою рослин або коли потрібна швидка дія добрив [19].

Наприклад, у холодному ґрунті знижується засвоєння азоту, фосфору, сірки, марганцю, цинку, а в перегрітому та недостатньо зволоженому — калію, кальцію, міді. Неоптимальний полив (посуха або надмірна вологість) робить недоступними сполуки бору, а рясний полив і неоптимальна температура викликають дефіцит феруму. Не лише фактори навколишнього середовища, а й самі елементи часто блокують один одного [4; 7; 20].

Зокрема, високі дози макроелементів і навіть деяких мікроелементів майже завжди блокують надходження інших елементів живлення. Тобто, застосовуючи комплексне добриво, далеко не завжди можна сподіватися, що воно повністю задовольнить потреби рослини, а іноді — навіть порушить баланс між елементами живлення.

З іншого боку, в ґрунті, а особливо в торфоґрунті, не часто зустрічається надлишок елемента живлення, а дефіцит, принаймні половини з них, — практично повсюдно. Отже, застосування професійних комплексних добрив, де всі складові сумісні між собою, не знижують розчинність і засвоюваність один одного, є необхідною умовою, яку можна доповнити простішими добривами, залежно від потреб культури. Лише в сукупності ці добрива можуть забезпечити стратегію оптимального живлення в кожному окремому випадку [21].

Поглинання і рух феруму в рослинних органах значно залежать від низки факторів та умов навколишнього середовища, серед яких найбільше значення мають рН, вміст кальцію і фосфору, водний і повітряний режими. Конкуренція катіонів інших мікроелементів із ферумом за місця приєднання хелатованих сполук зумовлює невисокі темпи поглинання цього елемента та викликає порушення в його перенесенні в рослинах [18].

Біохімічні функції феруму. Ферум заслужено вважається одним із найважливіших елементів метаболізму. Він бере участь у перетворенні енергії, необхідної для синтезу та інших життєвих процесів у клітинах. У біохімії рослин феруму відводиться одна з ключових ролей, оскільки:

- процеси утворення хлорофілу здійснюються за його участю;
- при фотосинтезі його органічні комплекси беруть участь у перенесенні електронів;
- негемові ферумовмісні білки беруть участь у відновленні нітритів і сульфатів;
- він безпосередньо бере участь у метаболізмі нуклеїнових кислот [22].

Брак феруму впливає на різні фізіологічні процеси, що проявляється ослабленим ростом рослин і зниженням їхньої врожайності.

Дефіцит феруму є проблемою для багатьох сільськогосподарських культур, оскільки більша частина ґрунтів характеризується низьким умістом доступних для рослин форм Fe [23].

Симптоми недостатності феруму можуть проявлятися при різному вмісті феруму в рослинах, а їхній характер значною мірою залежить від ґрунтових, рослинних, поживних і кліматичних факторів. Найтиповішим симптомом є міжжилковий хлороз молодого листя (рис. 1).

Антагоністична взаємодія між ферумом та іншими елементами для різних сільськогосподарських культур може бути як корисною, так і шкідливою. Перешкоджає засвоєнню феруму висока вологість ґрунту та високий уміст іонів-антагоністів: P, Ca, Cu, Zn. Взаємодія заліза й цинку призводить до осадження франклініту $ZnFe_2O_4$, а це різко знижує доступність обох елементів для рослин. Взаємодія феруму та фосфору зазвичай відбувається за участі рослин. У ґрунтах, через спорідненість іонів Fe^{3+} і $H_2PO_4^-$, при сприятливих умовах може утворитися $FePO_4 \cdot 2H_2O$. Більше того, аніони фосфору конкурують із рослинами за ферум, тому фосфор заважає поглинанню та руху феруму в рослинах. Пропорційне співвідношення фосфору та феруму в рослинах є основою для їхнього нормального розвитку [19].

Думка про те, що ферумодефіцитний хлороз у рослин, що ростуть на карбонатних ґрунтах, може бути пов'язаний з впливом кальцію, а не з низькою доступністю феруму, є хибною, оскільки антагонізм Fe і Ca чітко не доведений. Взаємодія феруму та сірки носить випадковий характер. Так, низький уміст сірки в ґрунтах може пригнічувати поглинання феруму, тоді як високий уміст сірки, залежно від ґрунтових умов, може призводити до зниження доступності феруму для рослин [22].

Для розсади необхідні листкові підживлення з перевагою фосфору (наприклад, 1:2:0,8), що містять бор, ферум і цинк. 10–15% добрива вносять у фазі сім'ядоль, а решту 85–90% — у фазі першої пари справжніх листків.

Після пікіровки та висадки розсади проводять позакореневе підживлення зі співвідношенням NPK 2:1,3:1, а також вносять бор, ферум, марганець, мідь, молібден і цинк.

Під час формування першої китиці листка томата проводять підживлення макроелементами (1:3:6), а також вносять кальцій, ферум, бор, молібден, марганець, мідь і цинк.

В активні фази росту рослини або плодів вагоме значення мають азот, фосфор, кальцій, магній, ферум, бор, молібден, марганець, мідь і цинк.

Під час наливання плодів віддають перевагу калію, фосфору, кальцію, сірці, магнію,



Рис. 1. Хлороз, викликаний дефіцитом феруму
Джерело: фото автора.

феруму, марганцю та цинку, а при дозріванні — калію, фосфору, сірці, магнію і молібдену [8].

Ферум бере участь в утворенні хлорофілу, оскільки входить до складу ферментів, необхідних для синтезу зеленого пігменту, регулює процеси окислення та відновлення основних органічних сполук у рослинах, відіграє важливу роль у диханні. Коли цього елемента не вистачає, у рослинах затримується синтез ростових речовин (ауксинів), забарвлення листя змінюється на світло-жовте чи майже біле [24].

У разі незначної нестачі феруму колір листя такий самий, як при дефіциті азоту чи інших елементів, а з її посиленням спостерігається типовий міжжилковий хлороз. Гострий дефіцит Fe призводить до сильного хлорозу молодого листя. Спочатку на ньому з'являється сітка зелених жилок на жовтувато-зеленому тлі, а згодом воно стає солом'яно-жовтим із невеликою кількістю зелених жилок або зовсім білим з обпаленими краями й кінчиками. Тканини відмирають, листя опадає. Посиленню ферумового голодування сприяє високий уміст у ґрунті фосфору і малий — доступного для рослин калію, а послабленню — внесення органічних і фізіологічно кислих добрив, позакореневі підживлення [18; 19].

Коли закінчується цвітіння п'ятої китиці, часто проявляється дефіцит феруму. Особливо це помітно при підвищеному вмісті натрію в поливній воді. Кальцієві добрива також є антагоністами феруму. Навіть позакореневі підживлення хелатами мають ефективність лише 7–8%. Двовалентна форма засвоюється краще, але в ґрунті вона окислюється до тривалентної. Отже, при цвітінні п'ятої китиці по листку потрібно вносити Fe^{2+} , під корінь — Fe^{3+} . При дефіциті марганцю зав'язь п'ятої китиці може зовсім опадати, а висока температура та низька освітленість значно збільшують втрати.

Перестають зав'язуватися інші китиці, проте виробники зазвичай пояснюють це поганим запиленням або нерегулярним поливом. Звичайно ж, неправильно поставлений діагноз у результаті призводить до неефективних спроб виправити ситуацію. Ферум у поєднанні зі специфічними білками утворює ферум-протеїди, які є основою ферментів цитохромної системи та відіграють важливу роль у процесах дихання. Ферумовмісний білок феродоксин бере участь у фотосинтезі та перетворенні азотних речовин [17; 19; 22].

Найбільш придатною формою феруму є хелатна — з'єднання феруму з гуматами. Дефіцит феруму в рослин гальмує синтез ростових речовин (ауксинів) і спричиняє зміну забарвлення листя — від світло-жовтого до майже білого. Нестача феруму найчастіше спостерігається на карбонатних ґрунтах із високим умістом засвоюваних фосфатів, тоді як дерново-підзолистим характерний його надлишок. Слабоаеровані кислі ґрунти часто містять значну кількість закисних сполук феруму, що негативно впливають на ріст рослин [25].

Оптимальний рівень рН субстрату для томатів становить 5,5–6,0. Оптимальний рівень рН води для позакореневого підживлення — 5,0–5,5, що підвищує ефективність добрив, інсектицидів і фунгіцидів. У лужному середовищі виникають проблеми з міддю та ферумом. Доступність феруму для томатів значною мірою залежить від рівня рН ґрунту. За нейтрального або кислого рН рослина успішно використовує резерви ґрунту, проте в лужних ґрунтах він переходить у малорозчинні сполуки та стає недоступним для рослин. Тому в таких умовах необхідно додатково вносити добрива з ферумом для забезпечення правильного росту [18].

Щоб уникнути дефіциту чи передозування окремих елементів живлення, необхідно точно розраховувати дози та строки їх внесення.

Для цього на підставі ґрунтових картограм або результатів агрохімічного аналізу проводяться розрахунки наявності запасів поживних речовин у субстраті. Далі їх слід порівняти з сумарною потребою рослин у поживних речовинах, що визначається на підставі даних їх виносу із запланованим урожаєм з урахуванням коефіцієнтів використання елементів живлення з добрив [19; 22].

Розраховану кількість мінеральних добрив вносять двома способами: частину — під час основного внесення, а частину — методом фертигації (разом із поливною водою) [10].

Норми добрив для фертигації розподіляють за періодами вирощування томатів, залежно від потреби рослин в елементах живлення на різних фазах росту та розвитку, і розраховують у кг/га на кожен день вегетаційного періоду. З поливами вносять лише повністю розчинні добрива, вільні від натрію, хлору та інших шкідливих домішок.

Залізо в хелатній формі з ЕДТА — це сухий порошок оранжевого кольору (рис. 2).

Однак часто хелат феруму у вигляді концентрованого розчину додають до рідких мінеральних добрив. За своєю природою хелати є біологічно активними комплексами речовин, що близькі до тих, які існують у природному середовищі. Вони безпечні для рослин, незалежно від фази росту. Щодо засвоєння рослинами, то можна впевнено стверджувати, що хелати після внесення довго перебувають в активній фазі (фазі засвоєння) і засвоюються більш ніж на 90–95%. Крім того, існує багато переваг хелату феруму.

Властивості хелату феруму Fe ЕДТА 13%:

- нетоксичний;
- не містить хлору;
- стійкий у діапазоні робочого розчину до рН 6,5;
- сумісний із мінеральними добривами;



Рис. 2. Ферум у хелатній формі (Fe ЕДТА 13%)

Джерело: виконано автором на основі власних досліджень.

Таблиця 2

Вимоги щодо вмісту феруму в субстраті з мінеральної вати в різні періоди росту томата

№	Показник	Період росту						
		A	B	C	D	E	F	G
1	Ес	2,44	2,38	2,57	2,54	2,55	2,56	2,59
2	pH	5,5	5,3	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
3	Fe, мг/л	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Джерело: сформовано автором на основі [19].

Примітка: А — стандарт; В — просочення матів; С — від 1 до 3 китиці; D — від 3 до 5 китиці; Е — від 5 до 10 китиці; F — від 10 до 12 китиці; G — масове плодоношення.

Таблиця 3

Кількісний уміст феруму для томата у витяжці з мінеральної вати, мг/л

№	Показник	Допустимий рівень		Дата відбору проби						Середнє значення
		низький	високий	07.10	08.10	09.10	10.10	11.10	12.10	
1	pH	5,0	6,5	5,75	5,84	6,10	6,35	5,87	6,17	6,01
2	Ес, мСм/см	2,5	5,0	4,87	5,07	4,73	4,56	4,78	4,99	4,83
3	Fe, мг/л	1,008	1,96	1,11	1,12	1,36	1,23	1,40	1,13	1,23

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень.

- повністю розчинний у воді та легко засвоюється рослинами;
- стійкий до впливу мікроорганізмів;
- у важкорозчинні сполуки ґрунту зв'язується незначно;
- відрізняється високою транспортною активністю і проникністю через листя рослин;
- сумісний із засобами захисту рослин [25].

Оптимальний уміст феруму в субстраті становить від 18,0 до 62,0 мг/л. Згідно з літературними джерелами, дані щодо вмісту феруму в субстраті з мінеральної вати в різні періоди росту томата наведені в таблиці 2.

Під час проведення серії дослідів було визначено вміст феруму у витяжках із мінеральної вати.

Дані щодо вмісту феруму в субстраті з мінеральної вати наведені в таблиці 3.

Згідно з отриманими даними, загальна концентрація солей (Ес) і реакція середовища розчину (pH) в досліджуваних витяжках були в межах норми, що відповідає періоду росту "G" томатів. Визначена середня концентрація феруму у витяжках становила 1,23 мг/л. Протягом проведення експерименту не було виявлено значних відхилень значень pH та Ес від допустимого рівня у витяжках. На момент проведення експерименту не зафіксовано видимих ознак нестачі феруму в рослинах, що було забезпечено належним рівнем добрива хелату Fe ЕДТА 13% у поживному розчині. Таким чином, регулюючи рівень ферумового живлення

томатів, можна значною мірою вплинути на їхню продуктивність та якість отримуваної продукції.

ВИСНОВКИ

Отже, для нормального розвитку рослин необхідний суворий контроль за рівнем забезпечення безперебійного живлення ферумом, що залежить від pH ґрунтового розчину, температурного та водного режимів. З огляду на важливість феруму в процесах дихання, окислення та відновлення складних органічних сполук, а також у синтезі зеленого пігменту, рослини потребують додаткового внесення ферумовмісних добрив.

Фотоелектроколориметричний метод для аналізу витяжок із мінеральної вати є досить чутливим, простим і рекомендується для використання в серійних аналізах.

Контроль умісту феруму дозволяє значною мірою знизити розвиток хвороб томатів, зокрема хлорозу листя, та отримувати високоякісний урожай. Визначений уміст феруму у витяжках із мінеральної вати (1,23 мг/л) виявився достатнім для вирощування томатів у період масового плодоношення.

Шляхом регулярного проведення аналізів необхідно стежити за змінами вмісту елементів живлення. Якщо результати аналізу виявлять дефіцит або надлишок якогось елемента, тоді проводять коригування складу поживного розчину.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sidhu V., Nandwani D., Wang L., Wu Y. A study on organic tomatoes: effect of a biostimulator on phytochemical and antioxidant activities. *Journal of food and quality*. 2017. Vol. 3. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/5020742>
2. Oliveira A.B., Moura C.F.H., Gomes-Filho E., Marco C.A., Urban L., Miranda M.R.A. The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. e56354. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056354>
3. Araujo J.C., Telhado S.F.P. Organic food: a comparative study of the effect of tomato cultivars and cultivation conditions on the physico-chemical properties. *Foods*. 2015. Vol. 4 (3). P. 263–270. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods4030263>
4. Божко Л.Ю. Клімат і продуктивність овочевих культур в Україні. Одеса: Вид-во Одеського державного екологічного університету, 2010. 365 с.
5. Pieper J.R., Barret D.M. Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009. Vol. 89. P. 177–194. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3437>
6. Bourn D., Prescott J. Comparison of the nutritional value, sensory qualities and food safety of organically and conventionally produced foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2002. Vol. 42. P. 1–34. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690290825439>
7. Божко Л.Ю. Оцінка впливу екстремальних явищ на продуктивність сільськогосподарських культур. Одеса: Екологія, 2013. 237 с.
8. Божко Л.Ю., Ярмольська О.Є., Барсукова О.А. Динамічна модель формування кількості та якості врожаю овочевих культур. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. № 6. С. 138–147.
9. Brauer M., Barney D.L., Robbins J.A. Growing tomatoes in cool, shortseason locations. Bulletin 864. University of Idaho Extension, 2009. URL: <http://www.cals.uidaho.edu> (accessed: 30.12.2024).
10. Nilsen E.T., Freeman J., Grene R., Tokuhsa J. Rootstock provides water conservation for a grafted commercial tomato (*Solanum lycopersicum* L.) line in response to mild-drought conditions. *PLoS One*. 2014. Vol. 9 (12). e115380. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115380>
11. Чайка Т.О., Бараболя О.В., Перепадченко Т.О., Шаповал Т.І. Вирощування помідорів методами органічного землеробства у приватному секторі в умовах Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 3. С. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.09>
12. Vinha A.F., Barreira S.V.P., Costa A.S., Alves R.C., Oliveira M.B.P.P. Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food and Chemical Toxicology*. 2014. Vol. 67. P. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.02.018>
13. Morozova L. Control of potassium concentration in fertilizing tomatoes in protected soil. *Sciences of Europe*. 2021. Vol. 3. No. 64. P. 21–26. URL: <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2021/02/VOL-3-No-64-2021.pdf> (accessed: 20.12.2024).
14. Morozova L. The role of calcium ions in the prevention of riding mold of tomatoes in protected soil. *Sciences of Europe*. 2021. Vol. 2. No. 66. P. 12–17. URL: <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2021/03/VOL-2-No-66-2021.pdf> (accessed: 20.12.2024).
15. Морозова Л.П. Роль іонів магнію для росту і розвитку томатів при вирощуванні в умовах захищеного ґрунту. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 4. С. 112–118. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275039>
16. Морозова Л.П. Контроль концентрації макроелемента фосфору в субстраті при вирощуванні томатів в умовах захищеного ґрунту. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 2. С. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.282753>
17. Лісовал А.П., Давиденко У.М., Мойсеєнко Б.М. Агрохімія. Лабораторний практикум. Київ: Вища школа, 1994. 335 с.
18. Криницький Г.Т., Заїка В.К., Гут Р.Т. та ін. Фізіологія рослин. Практикум: підручник. Львів, 2011. 328 с.
19. Шевчук М.Й., Веремеєнко С.І., Лопушняк В.І. Агрохімія: підручник. Частина 2. Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту. Луцьк: Надстир'я, 2012. 440 с.
20. Rocha M.C., Deliza R., Corrêa F.M., Carmo M.G.F., Abboud A.C.S. A study to guide breeding of new cultivars of organic cherry tomato following a consumer-driven approach. *Food Research International*. 2013. Vol. 51. P. 265–273.
21. Jensen C.R., Battilani A., Plauborg F. et al. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. *Agricultural Water Management*. 2010. Vol. 98. P. 403–413.
22. Карасюк І.М., Геркіял О.М., Господаренко Г.М. та ін. Агрохімія: підручник. Київ: Вища школа, 1995. 471 с.
23. Vallverdú-Queralt A., Jáuregui O., Medina-Remón A., Lamuela-Raventós R. M. Evaluation of a method to characterize the phenolic profile of organic and conventional tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012. Vol. 60. P. 3373–3380. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf204702f>
24. Ishida B.K., Chapman M.H. A comparison of carotenoid content and total antioxidant activity in catsup from several commercial sources in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004. Vol. 52. P. 8017–8020. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf040154o>
25. Хацевич О.М., Джус Р.Р. Мінеральні добрива: класифікація, властивості, застосування: навчально-методичний посібник. Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2018. 80 с.

CONTROL OF THE CONCENTRATION OF THE MICROELEMENT OF FERRUM IN THE SUBSTRATE WHEN GROWING TOMATOES IN PROTECTED SOIL CONDITIONS

Morozova L.

Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer

Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)

e-mail: lubovmorozova1982@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>

Vegetable growing is one of the important branches of agriculture in Ukraine. Numerous scientific studies and the use of their results on practice proved that the use of fertilizers and irrigation in greenhouses can increase the yield of vegetable crops several times. The introduction of industrial cultivation technologies, which are based on full mechanization of the main production processes, reduction of water consumption, and the creation of varieties of cultivated plants with high potential productivity, can contribute to increasing the economic efficiency of vegetable growing. The problem of development and implementation of industrial technologies requires the solution of a whole series of complex tasks, which include: the creation and widespread distribution of varieties of vegetable crops suitable for mechanized harvesting; development of a set of agrotechnical measures, which includes norms, terms and means of applying fertilizers, irrigation regimes, measures to combat weeds, pests and diseases; studying the influence of weather conditions on the growth of crops, the formation of crops, comparison of agroclimatic resources of growing areas with crop requirements, etc. A characteristic feature of modern vegetable growing is its intensification by increasing the proportion of early vegetables in protected soil, application of fertilizers, etc. Tomatoes are one of the main vegetable crops grown in Ukraine. It is known that their harvests on the territory of Ukraine are very high variable and determined by the provision of the territory with light, heat, moisture, nutrients, as well as biological features of the culture. Many factors contribute to the increase in tomato yields, in particular introduction into the production of new, more productive varieties, varietal zoning, which provides for the placement of different prematurity varieties according to the agro-climatic resources of the territory and biological resources features of this culture. Identifying the reasons for fluctuations in the productivity of vegetable crops over time and across the territory, development on this basis quantitative indicators that would make it possible to characterize with sufficient accuracy the amount of crops depending on the weather conditions that occur in certain years in different regions — a rather complex problem that is solved in modern research on agrometeorology. Due to the frequent change in the varietal composition and the large number of varieties with different ripening periods, vegetable crops are a complex object for research. Although most tomatoes are grown in open ground, their cultivation in glass greenhouses or tunnel-type greenhouses covered with plastic film is becoming more common to supply local markets with fresh fruit. Mostly tall varieties of tomatoes are grown in closed soil. They make it possible to use the area of greenhouses as efficiently as possible and obtain rich harvests. High concentrations of carbon dioxide (600–1000 ppm) are maintained in greenhouses to improve photosynthesis, growth rate, and yield. This practice is very common in low yield regions and intensive agricultural production systems. Although planting tomatoes in soil in tunnel-type greenhouses is still quite common, most intensive-type greenhouse tomato varieties are grown on substrates such as mineral wool. Fertigation provides adequate nutrient supply and eliminates most of the factors associated with heavy soil characteristics that are difficult to control. Growing tomatoes in greenhouses requires the use of a significant amount of water. To feed tomatoes, their producers also need to take into account the mass and degree of solubility of mineral fertilizers in water. Some elements or compounds present in irrigation water can affect the growth of plants, which is why there is a need to control their level. The paper investigates the effect of the concentration of the trace element ferrum in mineral wool substrate on the growth and development of the tomato variety Biorange (yellow fruits) during the period of mass fruiting in protected soil conditions. It was established that the photoelectrocolorimetric method for determining the content of the trace element ferrum in mineral wool hoods is quite sensitive, simple and recommended for use in serial analyses. The determined average value of the content of the trace element ferrum (1.23 mg/l) was found to be sufficient for growing tomatoes in the period of mass fruiting. Controlling the iron content allows you to significantly prevent tomato diseases such as leaf chlorosis and obtain high-quality crops.

Keywords: chemical composition, greenhouse, hydroponics, nutrients, nutrient solution, photoelectrocolorimetry.

REFERENCES

1. Sidhu, V., Nandwani, D., Wang, L., & Wu, Y. (2017). A study on organic tomatoes: effect of a biostimulator on phytochemical and antioxidant activities. *Journal of food and quality*, 3, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5020742>
2. Oliveira, A.B., Moura, C.F.H., Gomes-Filho, E., Marco, C.A., Urban, L., & Miranda, M.R.A. (2013). The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development. *PLoS ONE*, 8, e56354. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056354>

3. Araujo, J.C., & Telhado, S.F.P. (2015). Organic food: a comparative study of the effect of tomato cultivars and cultivation conditions on the physico-chemical properties. *Foods*, 4 (3), 263–270. doi: <https://doi.org/10.3390/foods4030263>
4. Bozhko, L.Yu. (2010). Climate and productivity of vegetable crops in Ukraine. Odesa: Odesa State Environmental University Publishing House.
5. Pieper, J.R., & Barret, D.M. (2009). Effects of organic and conventional production systems on quality and nutritional parameters of processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 177–194. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3437>
6. Bourn, D., & Prescott, J. (2002). Comparison of the nutritional value, sensory qualities and food safety of organically and conventionally produced foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 1–34. doi: <https://doi.org/10.1080/10408690290825439>
7. Bozhko, L.Yu. (2013). Assessment of the impact of extreme events on the productivity of agricultural crops. Odesa: Ecology.
8. Bozhko, L.Yu., Yarmolska, O.Ye., & Barsukova, O.A. (2010). Dynamic model of forming of amount and quality of harvest of vegetable cultures. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 6, 138–147.
9. Brauer, M., Barney, D.L., & Robbins, J.A. (2009). Growing tomatoes in cool, shortseason locations. Bulletin 864. University of Idaho Extension. Retrieved from <http://www.cals.uidaho.edu>
10. Nilsen, E.T., Freeman, J., Grene, R., & Tokuhisa, J. (2014). Rootstock provides water conservation for a grafted commercial tomato (*Solanum lycopersicum* L.) line in response to mild-drought conditions. *PLoS One*, 9 (12), e115380. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115380>
11. Chaika, T.O., Barabolia, O.V., Perepadchenko, T.O., & Shapoval, T.I. (2021). Growing tomatoes by using organic farming methods in private sector of the Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 3, 74–81. doi: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.09>
12. Vinha, A.F., Barreira, S.V.P., Costa, A.S., Alves, R.C., & Oliveira, M.B.P.P. (2014). Organic versus conventional tomatoes: Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food and Chemical Toxicology*, 67, 139–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.02.018>
13. Morozova, L. (2021). Control of potassium concentration in fertilizing tomatoes in protected soil. *Sciences of Europe*, 64 (3), 21–26. Retrieved from <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2021/02/VOL-3-No-64-2021.pdf>
14. Morozova, L. (2021). The role of calcium ions in the prevention of riding mold of tomatoes in protected soil. *Sciences of Europe*, 66 (2), 12–17. Retrieved from <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2021/03/VOL-2-No-66-2021.pdf>
15. Morozova, L.P. (2022). The role of magnesium ions for the growth and development of tomatoes when growing in protected soil conditions. *Balanced nature using*, 4, 112–118. doi: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275039>
16. Morozova, L.P. (2023). Control of the concentration of the macroelement phosphorus in the substrate when growing tomatoes in protected soil conditions. *Balanced nature using*, 2, 115–122. doi: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2023.282753>
17. Lisoval, A.P., Davydenko, U.M., & Moiseienko, B.M. (1994). Agrochemistry. Laboratory workshop. Kyiv: Vyshcha shkola.
18. Krynytskyi, H.T., Zaika, V.K., Hut, R.T., et al. (2011). Plant Physiology. Workshop: textbook. Lviv.
19. Shevchuk, M.Yo., Veremeienko, S.I., & Lopushniak, V.I. (2012). Agrochemistry: textbook. Part 2. Fertilizers and their influence on soil bioproductivity. Lutsk: Nadstyria.
20. Rocha, M.C., Deliza, R., Corrêa, F.M., Carmo, M.G.F., & Abboud, A.C.S. (2013). A study to guide breeding of new cultivars of organic cherry tomato following a consumer-driven approach. *Food Research International*, 51, 265–273.
21. Jensen, C.R., Battilani, A., & Plauborg, F. (2010). Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. *Agricultural Water Management*, 98, 403–413.
22. Karasiuk, I.M., Herkiial, O.M., Hospodarenko, H.M., et al. (1995). Agrochemistry: textbook. Kyiv: Vyshcha shkola.
23. Vallverdú-Queralt, A., Jáuregui, O., Medina-Remón, A., & Lamuela-Raventós, R.M. (2012). Evaluation of a method to characterize the phenolic profile of organic and conventional tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 3373–3380. doi: <https://doi.org/10.1021/jf204702f>
24. Ishida, B.K., & Chapman, M.H. (2004). A comparison of carotenoid content and total antioxidant activity in catsup from several commercial sources in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 8017–8020. doi: <https://doi.org/10.1021/jf040154o>
25. Khatsevyich, O.M., & Dzhus, R.R. (2018). Mineral fertilizers: classification, properties, application: teaching and methodological manual. Ivano-Frankivsk: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

МОРОЗОВА Любов Петрівна, кандидат хімічних наук, старший викладач, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: lubovmorozova1982@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>).