

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

Затверджено
рішенням вченої ради
агрономічного факультету
(протокол № 1 від 30.08. 2019)

**ДІАГНОСТИКА І ОПТИМІЗАЦІЯ МІНЕРАЛЬНОГО
ЖИВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**
(Методичні вказівки)

Харкаів - 2019

Доктор с.-г. наук, професор Філон В.І.

Рецензенти: доктор с.-г., професор **С.І. Веремєнко** (Національний університет водного господарства та природокористування; канд. с.-г. наук, професор **К.Б Новосад** (Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва).

Д 82

Викладено матеріал пов'язаний із діагностикою мінерального живлення сільськогосподарських культур. Зокрема, висвітлено основи теорії мінерального живлення рослин, у тому числі сучасні уяви про механізми надходження елементів живлення у рослини, вплив зовнішніх факторів на поглинання елементів живлення рослинами, фізіологічну роль елементів живлення, зовнішні ознаки нестачі того чи іншого елемента. Детально розглянуто методи рослинної і ґрунтової діагностики живлення рослин. Викладено технологію позакореневого підживлення рослин, внесення мікродобрив із КАС і РКД, а також внесення добрив у режимі on-line і off-line.

© ХНАУ ім. В. В.
Докучаєва, 2019 р.

© В.І.Філон, 2019р.

Зміст

	Стор.
ВСТУП	
	4
ОСНОВИ ТЕОРІЇ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН	5
Хімічний склад рослин	7
Сучасні уяви про механізм надходження елементів живлення у рослини	10
Вплив зовнішніх факторів на надходження елементів живлення у рослини	21
 ФІЗІОЛОГІЧНА РОЛЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ	 28
 ЗОВНІШНІ ОЗНАКИ НЕСТАЧІ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ	 38
 КАРТОГРАМИ ВМІСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ГРУНТАХ УКРАЇНИ	 45
 ДІАГНОСТИКА МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН	 53
Класифікація видів діагностики живлення рослин	53
ОПТИМІЗАЦІЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН	77
 Оптимізація мінерального живлення рослин шляхом проведення позакоренових підживлень	 77
Приготування бакових сумішей	82
Внесення мікродобрів із КАС і РКД	93
Внесення добрив у режимі on-line і off-line	101
 ЛІТЕРАТУРА	

ВСТУП

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур потребують проведення оперативної діагностики та коригування мінерального живлення рослин. Така постановка проблеми має як теоретичне, так і практичне підґрунтя. По-перше, всі інтенсивні сорти виведені на високих агрохімічних фонах, а тому реалізація їх генетичного потенціалу можлива за умов забезпечення відповідних параметрів ґрунту. По-друге, просторова варіабельність поживного режиму ґрунтів, особливості кліматичних умов року та відхилення від прийнятої системи застосування добрив теж вимагають проведення заходів щодо оптимізації мінерального живлення рослин.

Теоретичні розробки з діагностики та оптимізації живлення рослин проводяться починаючи з часів Ю. Лібіха і Ж. Б. Буссенго. Зокрема розроблено чимало методів діагностики живлення рослин: ґрунтова, рослинна, комплексна, дистанційна та ін., яким присвячено наступні розділи.

Робоча програма з дисципліни передбачає **компетентності, якими повинен оволодіти здобувач:**

1. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі аграрних наук та продовольства, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних наукових знань та / або професійної практики.

2. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

3. Здатність до співпраці в рамках міжрегіональних, республіканських та міжнародних проектів.

4. Здатність працювати в міжнародному контексті.
5. Здатність генерувати нові науково-теоретичні та практично спрямовані ідеї (креативність).
6. Здатність розробляти проекти та управляти ними.
7. Комплексність у розробці та реалізації наукових проектів та програм.
8. Здатність до ретроспективного аналізу наукового доробку в напрямі розробки теорії мінерального живлення рослин.
9. Комплексність у володінні інформацією щодо сучасного стану і тенденцій розвитку науки стосовно живлення рослин.

Програмні результати навчання

Здобувач ступеня доктора філософії повинен:

1. Володіти інформацією щодо сучасного стану і тенденцій розвитку діагностики і оптимізації мінерального живлення рослин.
2. Створювати нові знання через оригінальні дослідження з оптимізації живлення сільськогосподарських культур, якість яких може бути визнана на національному та міжнародному рівнях.
3. Вільно презентувати та обговорювати результати досліджень у наукових дискусіях на міжнародному рівні, відстоювати власну позицію на конференціях, семінарах та форумах щодо оцінки забезпеченості рослин поживними елементами, брати участь у критичному діалозі та зацікавити результатами визначення рухомих форм макро- і мікроелементів у різних типах ґрунтів.
4. Формулювати і перевіряти гіпотези, проводити критичний аналіз різних інформаційних джерел, конкретних освітніх,

наукових та професійних текстів, що стосуються сучасних уявлень про механізми надходження поживних елементів до рослин при кореневому і фоліарному їх підживленні.

1.ОСНОВИ ТЕОРІЇ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Гумусова теорія живлення рослин, незважаючи на свою помилковість, панувала у науці понад 2000 років. Існування її постійно підкріплювалось результатами спостережень за ростом рослин на удобрених перегноєм ґрунтах. Разом з тим вже Арістотель (384 р. до н.е.) дійшов висновку щодо розгадки живлення рослин. Він писав, що останнє суттєво відрізняється від живлення тварин, оскільки рослини не залишають після себе екскрементів. Незважаючи на це, гумусову теорію живлення рослин продовжували інтенсивно розвивати аж до 1761 р. (шведський хімік Валеріус). Паралельно розвивалася й теорія мінерального живлення рослин. Так, у 1563 р. французький природознавець Паліссі писав: «Соль есть основа жизни и роста всех посевов и что навоз, который вносят на поля, не имел бы никакого значения если бы не содержал соли, которые остаются от разложения сена и соломы». Той факт, що рослини живляться не перегнійними речовинами, знаходимо і у працях М.В. Ломоносова (1753 р.), де він зазначав, що «преизобильное ращение тучных дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъясляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают». Згодом російський вчений А.Т. Болотов (1738 - 1833)

у статті «О навозных солях» відмічає, що доступні рослинам поживні речовини утворюються із органічних добрив. На важливу роль мінеральних речовин для живлення рослин вказував і А.П. Пошман (1792-1852) у книзі «Наставление о приготовлении сухих и влажных туков, служащих к удобрению пашен».

Спростування гумусової теорії живлення рослин пов'язано з виходом у світ (1840 р.) книги німецького вченого Юстуса фон Лібіха «Органічна хімія на додаток до землеробства і фізіології рослин», у якій він піддав різкій критиці гумусову теорію живлення рослин і сформулював теорію мінерального живлення рослин. Ю. Лібіха по праву вважають духовним батьком агрохімії як науки. Його заслуга полягає і у тому, що він відкрив два закони землеробства: «закон фактора, що знаходиться у мінімумі» і «закон повернення у ґрунт винесених елементів живлення». К.А. Тимірязєв неодноразово вказував на те, що «вчення про необхідність повернення – одно із величезних надбань науки. Досить яскраво з цього приводу висловився К. Маркс: «Выяснение отрицательной стороны современного земледелия с точки зрения естествознания, представляет собой одну из бессмертных заслуг Либиха». ¹

Ю. Лібіх виготовив і перші два штучні мінеральні добрива: вуглекислий натрій і вуглекислий калій, які до речі не мали позитивного ефекту. На нашу думку, K_2CO_3 за різних обставин повинен був дати хоч і невеликий, але все-таки приріст урожаю.

¹ Маркс К. Капитал т.1 1973 с. 515

Достатньо згадати «подсечно-огневую систему земледелия» і роль поташу після спалювання лісу.

Не слід приховувати і те, що у дечому помилявся і Ю. Лібіх. Так, він вважав, що рослини достатньо отримують азоту із атмосфери і що азотні добрива можна не вносити. Цей «недолік» повністю виправив другий за ієрархією агрохімік Жан Батист Буссенго, який розвив азотну теорію живлення рослин. Дуже важливе значення для становлення теорії мінерального живлення рослин мали дослідження німецьких вчених Кнопа і Сакса (1858 р.), які на інертних субстратах (вода, пісок) зуміли довести рослини до повного дозрівання. На сьогодні вже ні у кого немає сумніву, що рослини поглинають поживні елементи у вигляді катіонів і аніонів. Саме на цьому побудована технологія вирощування рослин в умовах гідропоніки, аеропоніки, вирощування овочів за малооб'ємною технологією на мінеральній ваті тощо.

1.1 Хімічний склад рослин

Вегетативна частина рослин складається на 95 % із води і на 5 % із сухої речовини. Вміст води залежить від виду і органу рослин, умов вологозабезпечення та інших факторів. Наприклад, вміст води у насінні культур коливається від 5 до 15%. Суха речовина рослин на 95% представлена органічними сполуками і на 5% – мінеральними солями. У табл.1 наведено хімічний склад урожаю сільськогосподарських культур.

1. Середній хімічний склад урожаю сільськогосподарських культур,% (за Б.П. Плешковим)

Культура	Вода	Білки	Сирий протеїн	Жири	Вуглеводи	Клітковина	Зола
Пшениця	14	14	15	2,0	65	2,5	1,7
Жито	14	12	13	2,0	68	2,3	1,6
Овес	13	11	12	4,2	55	10,0	3,5
Ячмінь	13	9	10	2,2	65	5,5	3,0
Рис (зерно)	11	7	8	0,8	78	0,6	0,5
Кукурудза	15	9	10	4,7	66	2,0	1,5
Гречка	13	9	11	2,8	62	8,8	2,0
Горох	13	20	23	1,5	53	5,4	2,5
Квасоля	13	18	20	1,2	58	4,0	3,0
Соя	11	29	34	16,0	27	7,0	3,5
(насіння)	8	22	25	50	7	5,0	3,5
Соняшник	8	23	26	35	16	8,0	4,0
Льон	78	1,3	2,0	0,1	17	0,8	1,0
Картопля	75	1,0	1,6	0,2	19	1,4	0,8
Цукрові буряки	87	0,8	1,5	0,1	9	0,9	0,9
Кормові буряки	86	0,7	1,3	0,2	9	1,1	0,9
Морква	85	2,5	3,0	0,1	8	0,8	0,7
Цибуля							

Серед органічних сполук домінують білки, жири, цукри, клітковина, зола тощо.

Різні рослини різняться і за елементним складом (табл. 2).

2. Середній вміст хімічних елементів у рослинах , %
(за А.В.Виноградовим).

Хімічний елемент	Вміст, %	Хімічний елемент	Вміст, %	Хімічний елемент	Вміст, %
Кисень	70	Бор	$1 \cdot 10^{-4}$	Рубідій	$5 \cdot 10^{-4}$
Вуглець	18	Барій	$n \cdot 10^{-4}$	Цинк	$3 \cdot 10^{-4}$
Водень	10	Стронцій	$n \cdot 10^{-4}$	Молібден	$3 \cdot 10^{-4}$
Кальцій	0,3	Цирконій	$n \cdot 10^{-4}$	Фтор	$1 \cdot 10^{-5}$
Калій	0,3	Нікель	$5 \cdot 10^{-5}$	Літій	$1 \cdot 10^{-5}$
Азот	0,3	Миш'як	$3 \cdot 10^{-5}$	Йод	$1 \cdot 10^{-5}$
Кремній	0,15	Кобальт	$2 \cdot 10^{-5}$	Свинець	$n \cdot 10^{-5}$
Магній	0,07	Алюміній	0,02	Кадмій	10^{-6}
Фосфор	0,07	Натрій	0,02	Цезій	$n \cdot 10^{-6}$
Сірка	0,05	Залізо	0,02	Селен	10^{-6}
Мідь	$2 \cdot 10^{-4}$	Хлор	0,01	Ртуть	$n \cdot 10^{-7}$
Тітан	$1 \cdot 10^{-4}$	Манган	$1 \cdot 10^{-3}$	Радій	$n \cdot 10^{-14}$

На сьогодні у рослинах визначено понад 70 хімічних елементів. Двадцять з них відносять до необхідних: О, С, Н, N, S, Р, К, Са, Mg, Na, Fe, В, Mn, Cu, Zn, Мо, Со, J, Cl, V, без яких рослина не може завершити повний цикл розвитку. 12 елементів вважають умовно необхідними [11].

Існують рослини концентратори хімічних елементів. Так золото концентрує кукурудза, срібло – огірки, молібден – бобові рослини, бор – цукрові буряки, сірку концентрують бобові, рапс, часник.

1.2 Сучасні уяви про механізм надходження елементів живлення у рослини

Для рослин характерні два типи живлення: автотрофний (засвоєння води, CO_2 і мінеральних солей) і гетеротрофний (використання готових органічних речовин). У межах автотрофного живлення рослин розрізняють повітряне і кореневе. Головним є повітряне живлення рослин (фотосинтез). На його долю припадає 95-98% синтезованої органічної речовини. Проте найбільш легкому керуванню піддається кореневе живлення рослин, яке здійснюється за допомогою кореня. Останній є спеціалізованою частиною рослин, що виконує п'ять функцій: закріплення, поглинання, виділення, транспорту, первинного засвоєння і синтезу.

Як видно з рис.1 кінчик кореня захищає від пошкоджень кореневий чохлик, далі йде зона поділу клітин, ще вище – зона розтягування, зона диференціації, зона корневих волосків і нарешті провідна зона. Раніше вважалося, що поглинання поживних речовин відбувається за рахунок корневих волосків. Останні являть собою вирости поверхневих клітин кореня довжиною від декількох міліметрів до 1 см. Термін життя корневих волосків становить 10-20 днів.



Рис.1 Будова кореня

На сьогодні доведено, що поглинання поживних елементів коренем відбувається на відстані до 1 м від зони корневих волосків. Головним призначенням корневих волосків є збільшення площі поверхні кореня. Виникає питання: який механізм надходження поживних елементів у рослину? Якщо ми доведемо яким чином потрапляє поживний елемент хоча б в одну із клітин, то далі все стає зрозумілим. Усі клітини пов'язані між собою плазмодесмами (тяжі цитоплазми), по яких переміщуються вода і поживні елементи. Існує ряд гіпотез, що пояснюють надходження елементів живлення у рослини. Так, Дютроше (1837) вважав, що поживні речовини надходять у рослину за рахунок дифузії (дифузійна гіпотеза). Як відомо концентрація поживних елементів у клітині значно вища ніж у навколишньому середовищі. Тоді яким чином поживні елементи надходять у середину клітини проти

електрохімічного градієнта? Якщо вбити клітину рентгенівськими променями, то елементи живлення, навпаки, виходять із клітини у навколишнє середовище. Дещо більш досконалою є дифузійно-осмотична гіпотеза Пфєффера, Де Фриза і Майєра. Згідно з цією гіпотезою, корінь поглинає поживні елементи разом з водою. Листя постійно випаровують воду і таким чином утворюється своєрідний насос, що закачує у рослину воду і поживні елементи. Експериментальні дослідження свідчать, якщо дві однакові рослини вирощувати за різної вологості, то рослина, яка вирощується при менших значеннях останньої «перекачає» із ґрунту значно більше води і при цьому поглине набагато менше поживних елементів. Отже, поглинання води і поживних елементів є два незалежних один від одного процеси.

Вченим відомі факти, коли у середину клітини без руйнації потрапляли досить великі молекули. Яким чином вони пройшли через ліпідну мембрану, яка має двошарову будову і не пропускає речовини, що розчиняються у воді і жирах. У зв'язку з такими фактами Овертоном була висунута ліпоїдна теорія, яка пояснювала це явище розчиненням таких речовин у ліпідних компонентах цитоплазматичних мембран. Згідно з ультрафільтраційною гіпотезою (автори Траубе і Руланд), поживні елементи потрапляють у середину клітини через пори. Не ясно одне, яким чином через пори проходять великі молекули, наприклад, амінокислоти і не проходять катіони металів, що мають незначні розміри?

Нарешті Дево спостерігав швидке зв'язування клітинами катіонів із дуже розбавлених розчинів. Це послужило виникненню адсорбційної гіпотези. Не виключаємо той факт, що за рахунок адсорбції йде концентрація поживних елементів у вільному просторі, а далі надходження їх у клітину відбувається за електрохімічним градієнтом.

Як видно із наведеного жодна із гіпотез не пояснює вибірковість поглинання поживних елементів та їх активне надходження. Досліди вказують, що внесений у поживну суміш радіоактивний фосфор (^{32}P) вже через декілька секунд був включений до складу органічних сполук рослини. Звичайно, що дифузія або «закачування» з водою не може забезпечити таку швидкість поглинання і засвоєння. Отже всі раніше наведені гіпотези, на наш погляд, у тій чи іншій мірі пояснювали пасивне надходження поживних елементів у рослину.

Найбільш правдоподібною є гіпотеза переносників або калійно-натрієвих насосів. Як вже зазначалося, бар'єром на шляху руху поживних елементів виступає плазмалема, яка має подвійну будову і складається із гідрофільних головок і гідрофобних хвостиків (рис.2). Гідрофільні головки пропускають речовини, що розчинюються у жирах. Гідрофобні хвостики, навпаки, не пропускають речовини, що розчиняються у воді але пропускають речовини, які розчиняються у жирах.

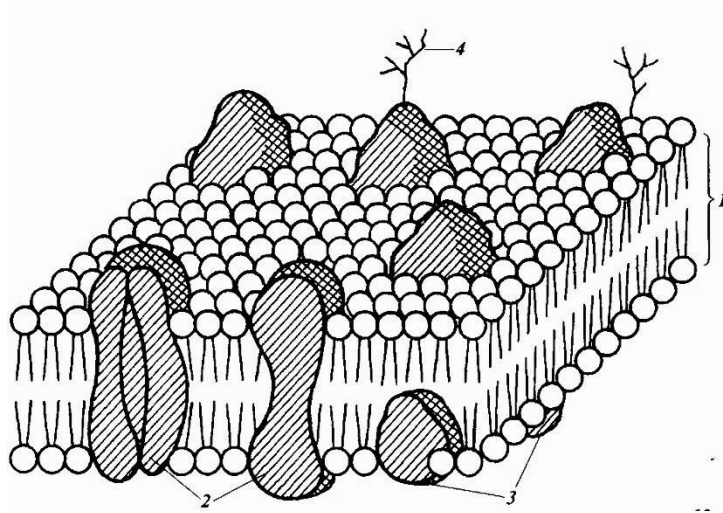


Рис.2 Будова плазмалеми

Таким чином ліпідна мембрана не пропускає речовини, що розчиняються як у воді, так і у жирах. Тоді яким чином через неї проходять поживні елементи?

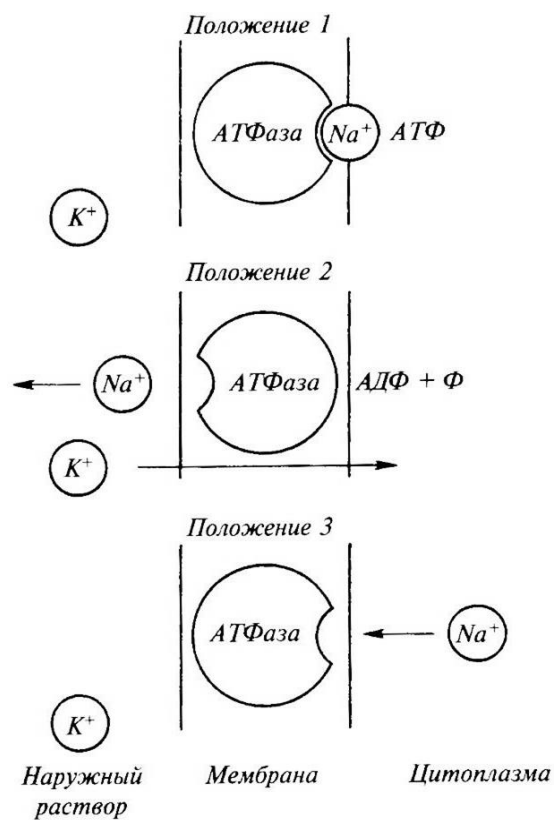


Рис.3 Схема роботи калійно-натрієвих насосів (переносників)

Із рис.3 видно, що у мембрану «вмонтовані» так звані АТФ-ази (білки здатні поглинати енергію АТФ). При поглинанні енергії АТФ-аза притягує до себе метал, переходить у нестійке положення і перекидається з металом у навколишнє середовище. При зміні умов метал випадає із чарунки, а його місце займає поживний елемент. Білок знову приходить у нестійке положення і обертається у внутрішню частину клітини. При цьому енергія АТФ закінчується. Поживний елемент випадає у цитоплазму. Білок знову поглинає енергію АТФ, стає активним, притягує метал, переходить у нестійке положення і обертається у навколишнє середовище. Цикл повторюється.

АТФ-аза постійно викачує із клітини метал в обмін на який закачує поживний елемент. Який метал приймає участь у «закачці» поживних елементів? Таким металом є калій і натрій. Справа в тому, що у навколишньому середовищі досить високий вміст калію (1,5-2,5%). Калій надходить у клітину за електрохімічним градієнтом. Потім рослина в обмін на калій отримує потрібний для неї поживний елемент. Чи існують АТФ-ази і чи обертаються вони? Електронна мікроскопія свідчить про наявність таких білків і про зміну їх конформації. Який механізм обумовлює вибірковість поглинання? Таке поглинання обумовлює специфічність чарунок і їх активність. Таким чином із поглинанням катіонів все зрозуміло. Аніони теж поглинаються подібним чином але за допомогою «протонної помпи». Спочатку «протонна помпа» «викачує» із клітини H^+ , а після підлюговування середовища помпа закачує протони разом із аніонами. Активне закачування у клітину протона

за електрохімічним градієнтом разом із аніоном називають симпортом. Зворотнє явище (викачування із клітини протона) отримало назву антипорт.

Особливим типом живлення є піноцитоз – поглинання клітиною речовин шляхом проникнення у розчинному чи дрібнодисперсному стані в краплині рідини, оточеній клітинною мембраною. Взагалі поглинання поживних елементів листковою поверхнею не є чимось новим. Разом із тим фізіологічні основи та механізми позакореневого живлення рослин до кінця не вивчені оскільки воно не є головним і не може замінити надходження елементів живлення за допомогою кореневої системи. Головним бар'єром на шляху проникнення поживних елементів до транспортної системи листка є кутикула і шар епідермісу. Вважається, що проникнення поживних елементів може відбутися крізь кутикулярні тріщини, дефекти, продихи, канали. Проникнення ліпофільних і неполярних речовин крізь кутикулу супроводжується процесом розчинення - дифузії. (Riederer and Friedmann, 2006), гідрофільні сполуки проходять крізь кутикулу із значно меншою швидкістю. Перенесення поживних елементів крізь продихи є цілком можливим за рахунок дифузії (Eichert and Goldbach, 2008) . Ряд авторів вказують на транскутикулярний перенос електролітів крізь заповнені водою пори (Schreiber and Schonherr, 2009). Що стосується сечовини, то поглинання її шляхом піноцитозу вважається доведеним [11]. Використання методу мічених атомів свідчить, що засвоєння поживних елементів через

листову пластинку відбувається у 6-8 разів швидше ніж через корені (табл.3).

3. Швидкість поглинання поживних речовин нанесених на листя рослин.

(А.М. Гродзинський, 1973)

Елемент	Рослина	Час поглинання 50% нанесеного розчину
азот (із карбаміду)	яблуня	1-4 год
	табак	24-36 год
	огірки, боби, томат, кукурудза	1-6 год
	картопля	12-24 год
фосфор	яблуня	7-11 діб
	квасоля	30 год
калій	квасоля	1-4 доби
кальцій	квасоля	4 доби
магній	яблуня	20% за 1 год
натрій	квасоля	6 год
сірка	квасоля	8 діб
залізо	квасоля	8% за 24 год
манган	квасоля, соя	24-48 діб
цинк	квасоля	24 год
молібден	квасоля	4% за 24 діб

Синтез хелатних форм мікродобрих без перебільшення порівнюють із революцією у рослинництві. Легке засвоєння хелатів крізь листя і наявність широкозахватної, високоефективної техніки для їх внесення дозволяє аграріям управляти живленням рослин під час вегетації. Разом із тим ще раз нагадаємо, що листкове підживлення рослин не є головним і використовується для корегування живленням рослин під час вегетації. Воно враховує особливості кліматичних умов і специфіку технології на тому чи іншому полі. Крім того корегування живлення під час вегетації рослин переслідує ще одну не менш важливу задачу. А саме: цілеспрямоване управління біохімічними процесами формування біологічної якості продукції.

Отже метою проведення листкового підживлення рослин є вирішення таких задач як:

- компенсація частини основного внесення добрив;*
- зняття дефіциту поживних елементів у критичні періоди росту і розвитку рослин;*
- усунення дефіциту поживних елементів виявлених за допомогою оперативної діагностики;*
- покращення живлення рослин, коли кореневе живлення ускладнено (низькі температури ґрунту, пошкодження кореневої системи патогенами наприкінці вегетації рослини);*
- усунення стресових ситуацій (низькі температури, обробка посівів пестицидами);*
- задоволення сортових потреб культур у макро- і мікроелементах;*
- отримання продукції відповідної якості.*

При внесенні мікродобрих по листку слід пам'ятати, що різні культури можуть витримувати різну концентрацію робочого розчину. За даними різних вчених озима пшениця витримує концентрацію карбаміду до 30%, кукурудза 5-6%, огірки 0,3-0,4%. Слід зазначити, що у різних джерелах вказуються різні безпечні дози для листового підживлення. Так, наприклад, на сайті компанії Райз (rise.ua/catalog.html?i=301) вказано наступні безпечні дози для листового підживлення карбамідом: зернові (озима і яра пшениця, озимий і ярий ячмінь) – 3,0-5,0%; кукурудза – 0,4-0,6%; буряки – 1,5-2%; картопля - 0,8-1,6%; огірки – 0,3-0,4%; капуста – 0,8-1,6%; цибуля – 1,6-3%.

Звичайно, що концентрація робочого розчину залежить не тільки від культури та фази її розвитку. Концентрація розчину і ефективність листового підживлення залежить від розміру крапель, погодних умов і вологості ґрунту. При низькій вологозабезпеченості рослин підживлення їх навіть 0,5% розчином, призводило до опіків. Вважається, що чим більш вологий клімат, тим більш «ніжним» є листовий апарат рослин і тим більше він зазнає хімічних опіків.

У посушливих умовах кутикулярний шар є більш повним, що захищає рослину від опіків. Встановлено, що рослини є більш чутливими до лужних розчинів, ніж до слабкокислих. Віддаючи належне позакореному підживленню рослин слід пам'ятати і про деякі його недоліки, наприклад, частковий некроз листової пластинки. Як правило потреба у мікродобривах проявляється на ранніх етапах онтогенезу коли листова поверхня ще слабо

розвинена. Це призводить до того, що значна доля добрива потрапляє на ґрунт і слабо засвоюється. У ряді випадків позакореневі підживлення посівів проводяться при візуальних проявах нестачі мікроелементів, коли у рослинах вже відбулися незворотні зміни.

Проведені дослідження [12] вказують і на той факт, що навіть при науково-обґрунтованому внесенні мікроелементів вони забезпечують відносно незначний приріст урожаю (табл.4).

4. Ефективність застосування мікроелементів при вирощуванні сільськогосподарських культур (І.Р. Вільдфлуш, 2011)

Культури	Приріст урожаю, ц/га				
	Бор	Мідь	Цинк	Молібден	Манган
Озима пшениця	-	3,0-4,0	-	-	2,1
Ячмінь	2,0	2,8	1,8	-	-
Кукурудза на з/к	49	53	58	51	-
Горох	2,8	2,3	-	2,7	-
Картопля	39,0	45,0	-	-	-
Цукрові буряки	37,0	36,0	-	23,0	23,7
Рапс	2,1	-	-	-	-
Люпин	-	-	-	1,4	-

Якщо ж взяти до уваги витрати на внесення основних добрив (14% від усіх витрат у рослинництві), то стає зрозумілою роль мікродобрив, які у значній мірі визначають ефективність основного внесення NPK.

1.3 Вплив зовнішніх факторів на надходження елементів живлення у рослини

Поглинання поживних елементів залежить від ряду факторів: вмісту органічної речовини, механічного і мінералогічного складу ґрунту, температури, вологи, аерації, реакції і концентрації ґрунтового розчину, освітлення тощо.

Оптимальна концентрація ґрунтового розчину сильно варіює залежно від виду, сорту і етапу онтогенезу рослини. Коренева система може засвоювати поживні речовини із сильно розбавлених розчинів (0,01-0,05%). Краще засвоюються поживні елементи із розчинів із підвищеною концентрацією.

На поглинання поживних елементів впливає співвідношення їх у поживному середовищі. Для кожної рослини потрібно властиве їй співвідношення поживних елементів.

У разі надлишку одного із потрібних рослині елементів, можливе підсилене поглинання інших (захисна реакція рослини). Іноколи навіть незначний надлишок одного із елементів призводить до різкого гальмування надходження інших елементів.

Саме на цьому етапі живлення найбільш яскраво проявляється антагонізм і синергізм іонів (рис.4). Надходження елементів живлення залежить від фізіологічної зрівноваженості розчину. Фізіологічно зрівноваженим вважається розчин, у якому окремі елементи живлення знаходяться у таких співвідношеннях при яких відбувається найбільш ефективно їх поглинання. Наявність у поживній суміші азоту, фосфору і калію значно впливає на інтенсивність поглинання інших елементів. Так,

підвищення рівня азотного живлення підвищує надходження P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn. Надлишок фосфору знижує надходження у рослини Cu, Fe, Mn, Zn. Підвищена концентрація калію знижує надходження кальцію, магнію та інших елементів. Дефіцит Fe, Mn, Zn обумовлює зниження надходження азоту. За даними ряду дослідів, поглинання азоту покращувалось у разі внесенні молібдену і кобальту. Поглинання рослинами фосфору зростало за наявності Cu, Zn, Ca, Mo і знижувалось під впливом Mg і Fe. Надходження калію у рослини знижувалось під впливом Cu, Mg, Ni, Zn, Mo, Fe, B.

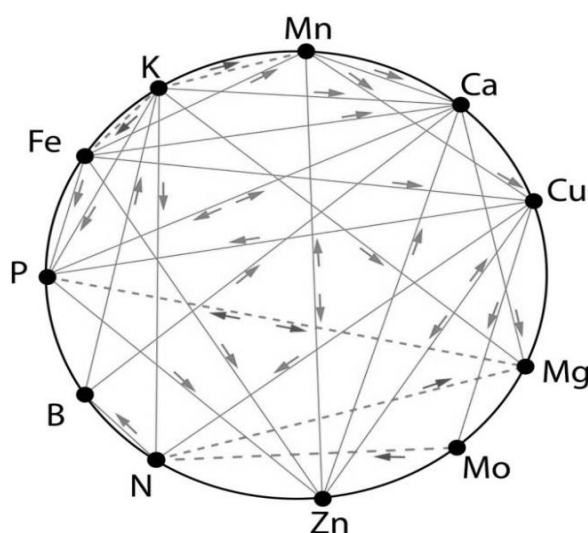


Рис.4 Синергізм і антагонізм іонів

На сьогодні явище антагонізму встановлено між Fe і Ca, Al і Na, Fe і Zn, Mn і Zn, Cu і Zn, Zn і Fe, Mn, Cu, Mo.

Явище синергізму і антагонізму у поглинанні елементів живлення може визначатися реакцією середовища, концентрацією і співвідношенням елементів у ґрунтовому розчині, температурою та іншими факторами. Залежно від вказаних умов, явища синергізму і антагонізму можуть переходити одне в інше. Одним із факторів

нормального росту і розвитку є забезпеченість вологою. Остання покращує фізіологічний стан рослин, підвищує інтенсивність фотосинтезу, біосинтез білків, покращує процеси обміну речовин. У разі нормального вмісту вологи у ґрунті покращується розвиток і розгалуження кореневої системи. Ну і нарешті вода є універсальною речовиною для дифузії поживних елементів і протікання всіх біохімічних процесів. При нестачі вологи посилюються процеси гідролізу і розпаду органічних речовин, знижується інтенсивність фотосинтезу, припиняється ріст і розвиток рослин.

На інтенсивність поглинання поживних елементів важливе значення має аерація ґрунту. Максимальне поглинання поживних елементів спостерігається у разі вмісту кисню 2-3%. Подальше зростання вмісту кисню до 100% суттєво не впливає на поглинання поживних елементів.

Живлення рослин тісно пов'язано із температурою ґрунту і повітря. Оптимальна температура для проростання ячменю – 20°C , для пшениці і жита – 25°C , для табака – 28°C , для кукурудзи і сорго – $32-35^{\circ}\text{C}$, для огірків – 35°C .

У разі достатньої освітленості посівів оптимальна температура повітря становить $15 - 30^{\circ}\text{C}$. Для кожного виду і сорту існують температури, що відповідають інтенсивному поглинанню тих чи інших елементів живлення. Якщо температура знижується до $10 - 11^{\circ}\text{C}$ у рослин ускладнюється поглинання фосфору. Поглинання нітратного азоту гальмується при температурі нижче $5 - 6^{\circ}\text{C}$. Фактично така температура є критичною для поглинання більшості

елементів живлення. Підвищення температури до 40 - 50⁰ С теж гальмує надходження елементів живлення у рослини. Це явище пов'язують у першу чергу із інактивацією ферментних систем.

Що стосується впливу освітлення, то рослини починають інтенсивно поглинати елементи живлення вже при перших променях сонця. Похмура погода призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу і поглинання поживних елементів.

За вимогливістю до інтенсивності освітлення культури поділяють на три групи: дуже вимогливі, помірно вимогливі, слабо вимогливі. Перші добре ростуть і розвиваються за інтенсивності освітлення 30- 40 тис. лк. Оптимальна освітленість для помірно вимогливих – 20-30 тис. лк. Слабовимогливі добре ростуть за рахунок запасу поживних речовин у продуктивних органах і без інтенсивного освітлення. Вони формують товарний урожай за освітлення 1000- 1500 лк.

Протягом року інтенсивність освітлення неоднакова. Так, узимку в широтах помірного клімату вона не перевищує 3-4 тис. лк. Мінімальна освітленість для росту і розвитку рослин гороху становить 1100 лк, квасолі й огірка – 2440, помідора і редьки – 4000 лк. У хмарну погоду взимку інтенсивність освітлення в теплицях знижується до 500- 1000лк, тому для вирощування розсади в спорудах закритого ґрунту застосовують електродосвічування. Без досвічування вирощують лише слабовимогливі до світла культури (вигонкові) – цибулю ріпчасту на перо, зелень петрушки, селери, буряк столовий.

Улітку інтенсивність сонячного освітлення досить висока – 50- 60 тис. лк і більше. У разі такої інтенсивності рослини перегріваються, процеси асиміляції в них сповільнюються, і їх продуктивність та якість продукції знижуються. Неоднакове відношення овочевих культур до інтенсивності освітлення дає можливість на одній площі вирощувати дві культури. Так, посіви огірка ущільнюються кукурудзою.

У період утворення продуктивних органів деяких культур пряме сонячне світло погіршує їх якість. Під час досягання капусти цвітної, селери черешкової, цикорію салатного, спаржі, цибулі-порей, картоплі пряме освітлення погіршує їх товарні, смакові та харчові якості. Тому їх необхідно затінювати. Вплив інтенсивності освітлення на продуктивність рослин залежить і від дії інших факторів – концентрації вуглекислого газу в повітрі, вмісту поживних речовин і вологи в ґрунті.

Вимогливість овочевих рослин до інтенсивності освітлення протягом вегетаційного періоду змінюється. Найбільше світла рослинам потрібно на початку вегетації, під час появи сходів, коли запаси поживних речовин у насінні вичерпані, а подальший ріст відбувається за рахунок асиміляції.

Нестача світла в цей період призводить до витягування сходів, ослаблення і навіть загибелі їх. Досить вимогливі овочеві культури до світла і під час розвитку генеративних органів та плодоношення.

Сонячне освітлення змінюється протягом доби і року. При суцільній хмарності до поверхні ґрунту надходить не більше 20% світлової енергії. Вранці, увечері та взимку, коли сонце низько над

горизонтом, переважають червоні та інфрачервоні промені, в літній період серед дня – ультрафіолетові та сині. Неоднакове воно і в різних географічних широтах. Сонячна радіація на території України найменша з другої половини листопада і до половини січня, а найбільша влітку, особливо в південних областях. Тривалість сонячного освітлення протягом доби змінюється також залежно від зони – у південних районах день влітку триває до 14, а в північних – до 16- 17 год. Значний вплив на ріст і розвиток рослин та їх фізіологічні процеси має спектральний склад світла. Найбільшу участь у фотосинтезі та фізіологічних процесах бере фотосинтетична активна радіація (ФАР) з довжиною хвиль 380-720 нм. На її частку припадає близько 45- 50% усієї радіації. Червоні (довжина хвилі 620-720 нм) й оранжеві (620-595 нм) промені є основним видом енергії для фотосинтезу(у рослинах нагромаджується більше вуглеводів). Сині та фіолетові промені (довжина хвиль 490-380 нм) беруть участь у нагромадженні білка, впливають на морфогенез і регулюють процеси переходу до утворення репродуктивних органів. Довгі ультрафіолетові промені (315-380 нм) запобігають витягуванню рослин і сприяють нагромадженню в них вітамінів, а середні ультрафіолетові промені (280-315 нм) – посилюють холодостійкість і сприяють гартуванню. Жовті і зелені промені (600-490 нм) найменш активні. У сонячні дні розсіяній радіації переважають короткохвильові фіолетові й ультрафіолетові промені, а у хмарні – червоні та інфрачервоні.

ФІЗІОЛОГІЧНА РОЛЬ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ

Вміст мікроелементів у рослинах залежить від ряду факторів, а саме від видових і сортових особливостей, ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки. У табл.5 показано вміст мікроелементів у сільськогосподарських рослинах. Розглянемо фізіологічну роль мікроелементів.

5. Уміст мікроелементів у товарній частині сільськогосподарських культур, мг/кг. (А.І. Фатєєв, 2012)

культура	Mn	Zn	Cu	Ni	Co
Озима пшениця	27,7	23,5	2,34	0,46	0,21
Ячмінь	11,3	27,9	3,55	0,8	0,34
Кукурудза	4,27	18,7	3,21	0,44	0,21
Горох	9,6	34,4	5,6	1,21	0,59
Соняшник	12	34,2	10,3	3,78	0,9

Залізо (ферум) – хімічний елемент з атомним номером 26, атомна вага 55,847. Це сріблясто-сірий, пластичний і ковкий метал. За поширеністю серед металів займає друге місце, за вмістом у земній корі четверте (5,1%).

Fe

Залізо споживається рослинами у найбільшій кількості. Воно відіграє важливу роль у окисно-відновлювальних реакціях, бере участь у синтезі хлорофілу, входить до складу хлоропластів, бере участь у метаболізмі азоту та сірки. Нестача заліза призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу. Зовні нестача заліза

проявляється у вигляді міжжилкового хлорозу. Як правило, нестача заліза проявляється на карбонатних ґрунтах. Захворювання проявляється на молодих пагонах і листках. Останні набувають жовто-білого забарвлення. Досить часто дефіцит заліза проявляється на кукурудзі, бобових, томатах, плодових і овочевих культурах. Перешкоджають надходженню заліза у рослини іони – антагоністи: P, Ca, Cu, Zn.

В Бор – хімічний елемент третьої групи, порядковий номер 5, атомна вага 10,811. Неметал. Темно-сірі кристали. Відкритий французькими хіміками Л.Ж. Гей-Люссаком і Тенаром та англійським хіміком Деві. Останній дав назву елементу Вогон, що позначилось на назві мікродобрив (Вуксал борон). Найважливіші мінерали – бура та керніт.

Під час обробки природних боратів сірчаною кислотою отримують H_3BO_3 . У подальшому із борної кислоти прожаренням отримують оксид B_2O_3 . Кристалічний бор за твердістю поступається лише алмазу та деяким сплавам. Як хімічна речовина бор є досить інертним. Використовується у металургії, медицині, електроніці, а у вигляді сполук, як мікродобриво, у сільському господарстві.

Вміст бору у рослинах становить 7 мг/кг маси. Найбільшу потребу у борі відчують дводольні рослини. Розподіл бору у межах рослини нерівномірний. Значна частка його концентрується у квітках, особливо у рильцях маточок. У межах вегетативних

органів локалізація бору спостерігається у клітинних стінках. Визнано, що бор підвищує інтенсивність фотосинтезу, покращує вуглеводневий і білковий обміни, регулює діяльність ряду важливих ферментів, позитивно впливає на процеси поділу клітин. У разі нестачі бору порушується проростання пилку, дозрівання плодів, синтез і переміщення цукрів, знижується активність окислювальних ферментів. Існують дані про позитивний вплив бору на синтез і транспорт регуляторів росту. За даними М.Я. Школьника при нестачі бору накопичуються феноли, фенольні інгібітори ауксиноксидази, ауксини. Під впливом фенолів зростає проникність тонопласту, порушується структура клітинних стінок, поділ клітин. Поліфеноли, що потрапляють у цитоплазму призводять до побуріння тканин і їх загибелі. Вважається, що головна функція бору – це регуляція вмісту фенолів і ауксинів.

Потребу у борі рослини відчують протягом усього періоду вегетації. Винос бору сільськогосподарськими культурами становить близько 300 г/га. Бор не здатний до реутилізації. У разі його нестачі страждають молоді органи, що ростуть. Перш за все відмирають точки росту. Рослини вражаються сухою гниллю (коренеплоди), усиханням верхівок, дуплистістю (турнепс), захворюванням бактеріозом, відмиранням точок росту у соняшнику. Загальною ознакою нестачі бору для всіх культур є припинення росту коренів і стебел, з часом спостерігається хлороз верхівки стебел, а потім і повне відмирання. Рослини засвоюють бор у вигляді BO_3^{3-} . Приблизно 10-20 % бору знаходиться у ґрунті в органічній формі і 80-90% — у мінеральній. Агрозаходи, що

сприяють підвищенню мікробіологічної активності ґрунту, позитивно впливають на вміст у ґрунтовому розчині BO_3 . У разі вмісту бору у ґрунті $0,3 \text{ мг/кг}$ – забезпеченість низька; $0,3-0,5 \text{ мг/кг}$ – середня; більше $0,5 \text{ мг/кг}$ – висока. Уміст рухомого бору у ґрунтах України зменшується з півдня на північ, та зі сходу на захід. Відомо, що забезпеченість рослин бором залежить від погодних умов. У посушливі періоди року доступність бору рослинам зменшується. В умовах інтенсивних атмосферних опадів і зрошень BO_3^{3-} легко вимивається за межі кореневмісного шару. Гострий дефіцит бору відчувають сільськогосподарські рослини на провапнованих ґрунтах. Позитивно реагують на борні добрива буряки, конюшина, соняшник, овочеві, льон, ефіроолійні та зернові культури.

Mn

Манган – хімічний елемент сьомої групи періодичної системи елементів Д.І. Менделєєва, порядковий номер 25, за хімічними властивостями твердий світло-сірий метал. Атомна маса $54,938 \text{ а.о.м.}$ Манган повільно реагує з водою, розчиняється в кислотах,