Agrinos®

ДОВІДНИК
ІЗ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Елементи живлення та їх значення для рослин

В залежності від кількості елементу, необхідного для формування урожаю сільськогосподарських культур їх прийнято розділяти на 3 групи:

- Макроелементи – N, P, K
- Мезоелементи – Ca, Mg, S
- Мікроелементи – Cu, Mn, Fe, Zn, B, Mo

N Азот – один із ключових елементів продуктивності сільськогосподарських культур. Він входить до складу хлорофілу. Впливає на ефективність фотосинтезу та забезпечує вегетативний ріст рослин.

Рослини здатні споживати азот у трьох формах:

No_3^- Нітратний азот (NO_3^-) – поглинається пасивно із потоком води, тому при надлишковому внесенні у грунт може відбуватися не контрольований ріст рослин, що особливо небезпечно для озимини у осінній період. Засвоєння нітрату – це енергозатратний процес. Перш ніж стати частиною білку він повинен пройти шлях трансформації у амонійну форму. Даний процес двох етапний. Спочатку утворюється нітрит ($No_3 \rightarrow No_2$), який в подальшому переходить у амонійну форму ($No_2 \rightarrow NH_4$). Трансформація здійснюється під впливом двох специфічних ферментів, що містять Cu та Mo;

NH_4^+ Амонійний азот (NH_4^+) – поглинається активно або шляхом дифузії (тобто дозовано, за потреби). Дана форма є безпечною для рослин та одразу придатна для побудови амінокислот і білків. Амоній стабільний у грунті та не промивається;

NH_2 Амідний азот (NH_2) – поглинається листовою поверхнею рослин одразу. У грунті амідна форма взаємодіє із ферментом уреаза та переходить у амонійну, після чого споживається і кореневою системою.

Джерелами азоту для рослин слугують органічна речовина грунту, повітря та мінеральні добрива. Валові запаси азоту у орному шарі грунту в залежності від гранулометричного складу варіюють від 2 до 8 т/га. У метровий шарі - до 30 т/га азоту. Грунтове повітря містить 86 % молекулярного азоту (N_2), що приблизно рівно 70 т/га азоту.

Незважаючи на значні обсяги доступність азоту обмежена і залежить від активності корисних мікроорганізмів (амоніфікатори та азотфіксатори), що трансформують його у доступні для рослин форми. У рік із малою кількістю опадів (400-450 мм) із природних джерел рослини можуть отримати всього 40-80 кг/га азоту. У вологий рік (понад 600 мм) – 100-140 кг/га.

Фосфор входить до складу молекул АТФ, що є переносниками енергії рослин. Цей хімічний елемент відповідає за стартовий розвиток рослин, забезпечує ріст кореневої системи та запилення квіток при цвітінні.

Рослини здатні споживати фосфор у трьох формах:

- Водорозчинний фосфор ($H_2PO_4^-$) – найбільш доступна для рослин форма. Однак, якщо грунт має кислу або лужну реакцію, то саме ця форма блокується із утворенням нерозчинних у воду молекул;
- Цитраторозчинний фосфор (HPO_4^{2-}) – більшість рослин здатні його споживати, хоч даний процес і триваліший. Дана форма не блокується у грунті;
- Кислоторозчинний фосфор (Po_4^{3-}) – це валова форма. Його у грунті найбільше. Майже не доступний для більшості рослин без попередньої трансформації.

Загальні запаси фосфору у метровому шарі грунту складають від 2 до 5 т/га. Основна проблема фосфору у тому, що понад 99% перебуває у не доступній для рослин формі. За підрахункам, ГВК може одночасно містити всього 1 кг/га водорозчинного фосфору на кожні 1000 кг/га його валового вмісту у грунті. Протягом вегетації с.г. культур трансформацію фосфору у доступну форму здійснюють фосфатмобілізуючі мікроорганізми.

Калій бере на себе логістичні функції та забезпечує транспорт цукрів від листків до плодів. Також, відповідає за міцність клітинної стінки і посухостійкість рослин.

Рослини споживають калій у формі катіону K^+.

Валові запаси калію у грунті у 10-15 разів вищі, ніж азоту і фосфору разом узяті. Більшість регіонів України мають високий або підвищений вміст калію у грунті. Винятком є північно-західні області, де зосереджені площі із легким гранулометричним складом і спостерігається низький або середній вміст калію у грунті.

Переважна більшість гранульованих добрив містить хлористий калій, рідко – сульфат калію. А от до складу рідких формуляцій можуть входити різні форми калійних солей. Найкращими за показниками безпечності та ефективності вважаються цитрат калію та монокалій фосфат. Прийнятні характеристики мають нітрат, сульфат та карбонат калію. Зазвичай виробники не декларують тип сировини, але подібну інформацію завжди можна отримати за запитом.

Особливо чутливі до нестачі калій овочеві та садово-ягідні культури, а також технічні та просапні: ріпак, соняшник, соя, цукровий буряк та інші.

Кальцій в першу чергу слід розглядати, як елемент родючості грунту. Він є зв'язковим елементом між глинистою фракцією і органікою грунту та відповідає за його структуру і пористість.

Нестача кальцію зустрічається переважно на кислих грунтах. По цій причині грунт вапнують (внесення $CaCO_3$), що вирішує питання, як кислотності, так і дефіциту самого елементу.

Кальцій відповідає за міцність клітинної стінки рослин. Він запобігає передчасному старінню, покращує стійкість до патогенів та механічних пошкоджень.

Особливо добре відгукуються на внесення кальцію у грунт картопля та цукрові буряки. Позакореневе підживлення кальцієм томатів та перцю попереджує розвиток верхівкової гнилі. У капусти даний прийом зупинить некротизацію внутрішніх листків.

Магній входить до складу молекули хлорофілу - понад 30% від його загальної кількості у рослині зосереджено у хлоропластах. Через це магній чинить прямий вплив на ефективність фотосинтезу. Також покращує транспорт і засвоєння фосфору.

При його дефіциті можна спостерігати характерний хлороз – висвітлення тканини листка між судинами. Перші ознаки нестачі проявляються біля основи листка, рідше – із середини. Молодий приріст демонструє ознаки дефіциту в останню чергу.

Магній відповідає за структуру грунту. На легких грунтах часто можна спостерігати його дефіцит. В цьому випадку внесення магнійвмісних добрив сприятиме зменшенню надлишкової пористості грунту та покращить його водоутримуючу здатність. На рівні із кальцієм магній використовується для розкислення грунту.

Сірка входить до складу специфічних амінокислот (цистин, цистеїн та метионін), що відповідають за олійність культур. Також, впливає на якість клейковини пшениці та бере участь у процесах іонної рівноваги.

У живленні рослин важлива не стільки кількість сірки, а її відношення до азоту. Ріпак краще засвоює азот при співвідношенні S:N, як 1:5. Тобто, на 150 кг д. р. азоту варто внести 30 кг д. р. сульфату. У пшениці співвідношення дещо інше – 1:10 або 1:15. Тобто, на 150 кг д. р. азоту потрібно 10-15 кг сульфату.

При дефіциті сірки виникає хлороз. Але, на відміну від азоту, в першу чергу страждають молоді листки. Стебла ж стають тоншими та більш крихкими.

Cu **Мідь** підвищує інтенсивність дихання і фотосинтезу. Також, входить до складу ферменту, що сприяє засвоєнню азоту. Мідь покращує посухостійкість та холодостійкість рослин, посилює опірність до грибкових інвазій. При нестачі міді спостерігається скручування кінчиків листків та деформація колосу зернових, що є найбільш чутливими до її дефіциту. Затримується перехід від вегетативної до генеративної фази.

Mn **Марганець** бере участь у синтезі хлорофілу, вітаміну С та прискорює накопичення цукру. При підвищенні pH, особливо на легких грунтах, доступність цього елементу знижується. При дефіциті марганцю проявляються блідо-блакитні плями (цятки) між судинами листка. Особливо чутливі до його нестачі зернові культури. Перші ознаки дефіциту проявляються на молодих листках.

Fe **Залізо** входить до складу молекул хлорофілу, тому впливає та ефективність фотосинтезу. Залізо майже не реутилізується від старих листків до молодих, тому при дефіциті перші ознаки виникають на свіжому прирості. Більшість грунтів містять велику кількість заліза, тим не менше його доступність суттєво знижується при лужній реакції грунтового розчину.

Zn **Цинк** приймає участь у синтезі ауксинів і відповідає за проростання насінин. Також він входить до складу крохмалю, тому особливо цінний для кукурудзи та картоплі. При підвищенні pH цинк зв'язується, а на кислих піщаних грунтах із великою кількість опадів цинк вимивається. При дефіциті уповільнюється ріст рослин. В першу чергу страждають молоді листки.

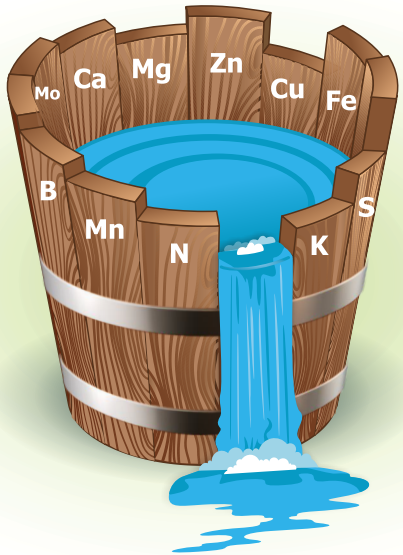
B **Бор** відповідає за транспорт вуглеводів від листків до коренів та плодів. Також елемент важливий для утворення пилку, розвитку квіток та плодів. При нестачі бору спостерігається відмирання точок росту, розтріскування стебел ріпаку, коренеплодів цукрового буряку із послідуючим некрозом. Більш чутливі до бору дводольні рослини (соняшник, соя, ріпак, цукровий буряк, садово-ягідні культури та овочі).

Mo **Молібден** входить до складу ферменту, що відповідає за трансформацію нітрату в рослині та бере участь у фіксації атмосферного азоту бульбочковими бактеріями. На кислих грунтах доступність молібдену суттєво скорочується. При його нестачі листки набувають блідо-зеленого забарвлення. Перші ознаки проявляється на старих листках. Дефіцит молібдену частіше спостерігається у бобових культур, ніж у зернових.

При формуванні технологічної карти для вирощування будь-якої культури важливо знати та враховувати їхню потребу у ключових елементах живлення.

Потреби культур для формування 1 т урожаю (кг)

Культура	N	P_2O_5	K_2O	MgO	CaO	Zn (г)	B (г)	Cu (г)	Mo (г)
Пшениця	30	12	18	5	7	40-120	3-8	10-40	0,4-1
Ріпак	70	25	100	25	50	60	106	5	4
Кукурудза	21	8	28	3	3	38	5	8	0,4
Соняшник	42	22	104	20	60	42	130	15	1,5
Картопля	4	1,8	7	1	1	2	3,5	1,8-3	0,11
Буряк	3,4	1,6	5	4,5	2,3	2,8	10	9,2	4
Соя	86	15	40	24	12	–	40	–	7



Згідно закону мінімуму, який сформулював ще в середині XIX століття німецький агрохімік Ю. Лібіх, величина врожаю визначається фактором, що знаходиться в мінімумі, і замінити його надлишком іншого фактору неможливо.

Тобто, при дефіциті цинку на кукурудзі чи бору на соняшнику максимальний урожай цих культур буде визначатися саме цими елементами, навіть при надлишковому внесенні азоту.

Чутливість с.г. культур до нестачі елементів живлення

	K	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn	B	Mo
Пшениця	середня	висока	висока	висока	низька	низька	низька	низька
Ячмінь	середня	висока	висока	середня	низька	низька	низька	низька
Ріпак	середня	висока	низька	висока	низька	низька	висока	висока
Кукурудза	середня	висока	середня	середня	середня	висока	середня	низька
Соняшник	висока	середня	середня	середня	низька	середня	висока	низька
Соя	середня	висока	низька	висока	висока	середня	низька	висока
Цукровий буряк	висока	висока	середня	висока	середня	середня	висока	середня
Картопля	висока	середня	середня	середня	низька	середня	середня	середня
Перець	висока	середня	низька	висока	висока	висока	низька	низька
Томати	висока	середня	середня	висока	висока	висока	середня	низька
Цибуля	висока	середня	середня	середня	висока	середня	висока	висока
Часник	висока	середня	середня	середня	висока	середня	висока	висока

– низька чутливість – середня чутливість – висока чутливість

Вимоги до якості робочого розчину

Задача листових обробок полягає у тому, щоб провести корекцію живлення культур у ключові періоди їхнього росту, а також щоб захистити рослини від патогенів та шкідників. Ефективність та безпечність бакової суміші залежить від значень жорсткості та кислотності води, а також від сольового індексу добрив та електропровідності самого робочого розчину.

Жорсткість – це природна властивість води, зумовлена наявністю в ній солей Кальцію і Магнію. При помірному вмісті вони служать джерелом живлення для рослин. При надлишку - знижують розчинність мікродобрив та сухих формуляцій пестицидів і можуть призводити до випадіння у осад деяких діючих речовин (клопіралід, гліфосат, 2,4-Д амінна сіль, МЦПА) та забивання форсунок обприскувача. Також, у жорсткій воді швидше руйнуються амінокислотні комплекси та хелатні зв'язки.

Класифікація води за жорсткістю

Значення, ммоль/л	Характеристика
0 – 1,14	м'яка
1,14 – 3,42	помірно жорстка
3,42 – 8	жорстка
>8	дуже жорстка

Одиниці виміру жорсткості

Одиниці виміру	Мг-екв/л	Ммоль/л	Мг/л	ppm
Мг-екв/л	1	0,5	50	50
Ммоль/л	2	1	100	100
Мг/л	0,02	0,01	0,01	0,01
ppm	0,02	0,01	0,01	0,01

Джерело: World Health Organization

Розрізняють тимчасову та постійну жорсткість води.

Тимчасова жорсткість зумовлена наявністю розчинених гідрокарбонатів Магнію і Кальцію ($Mg(HCO_3)_2$ і $Ca(HCO_3)_2$). Пом'якшити таку воду можна шляхом додавання ортофосфорної кислоти або добрив на її основі. Це призведе до утворення безпечного суперфосфату, що служить одночасно і джерелом фосфору для рослин. Слід бути обачним при використанні лимонної кислоти, оскільки результатом її взаємодії з іонами кальцію є сіль цитрат кальцію, яка складно розчиняється у воді, випадає у осад та осідає на стінках патрубків і форсунок обприскувачів. Інша крайність – використання сульфату амонію. При досягненні концентрації 2-3% відбувається незначне зниження pH робочого розчину і критично зростає електропровідність, що знижує ефективність позакореневого живлення та може призвести до опіків.

Постійна жорсткість обумовлюється сульфатами та хлоридами ($MgCl_2$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$). Для пом'якшення такої води найкращим рішенням буде її відстоювання, завдяки чому сульфати випадуть в осад, а хлор вивітриться. Якщо ж немає можливості відстояти воду, важливо використовувати добрива з кислою реакцією та низькою електропровідністю (EC).

Кислотність води. Рівень pH показує міру активності іонів водню (H+) в розчині, тобто ступінь кислотності або лужності цього розчину. При цьому pH нейтрального розчину становить 7, розчини із більшим значенням водневого показника є лужними, із меншими – кислими. Показник рівня pH води у природному середовищі коливається в межах від 6,5 до 8.

Встановлено, що значення pH розчину впливає на те, як довго молекула пестициду залишатиметься неушкодженою. Більшість пестицидів негативно реагують на лужне середовище. Оптимум знаходиться в межах pH від 3,5 до 6,5. Винятком є гербіциди на основі сульфонілсечовин, які для ефективної дії потребують нейтральної або слаболужної реакції робочого розчину (pH 6,5–7,5).

Період напіврозпаду деяких пестицидів

Діюча речовина	Період напіврозпаду	
	pH 7	pH 9
Фенмедіфам	12 – 24 год	7 – 10 хв
Десмедіфам	24 год	7 – 12 хв
Ізоксафлютол	19 год	3,2 год
Пропаквізафоп	32 доби	13 год
Клодинафоп-пропаргіл	5 діб	1,7 год
Римсульфурон	7 діб	4,2 год
Піноксаден	15 діб	7,2 год
Флуміоксазин	1 доба	14 – 23 хв
Феноксапроп-П-етил	23 доби	17 год
Циперметрин	179 діб	30 хв (pH 11)
Біфеназат	12 год.	58 хв
Цимоксаніл	26 год.	29 хв
Манкоцеб	5,5 – 55 год.	15 год
Крезоксим-метил	35 діб	9 год
Тіофанат-метил	36 діб	17 год
Каптан	14,4 год	6 хв
Тирам	3,5 доби	6,9 год

Джерело: Університет Хартфордшир, Велика Британія (http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm)

Для безпечного підкислення робочого розчину слід використовувати спеціалізовані pH-коректори або мікродобрива із кислою реакцією та низькою електропровідністю (EC).

Сольовий індекс – це таблична величина. При його розрахунку добрива порівнюють із натрієвою селітрою, чий показник прийняли за 100. Сольовий індекс дає можливість виявити ступінь безпечності добрив для рослин. Чим вищий сольовий індекс, тим сильніший вплив добрива на осмотичний потенціал водного розчину від якого залежить здатність рослин поглинати розчинені у воді мінеральні елементи.

Склад та градація мінеральних добрив за сольовим індексом

Формула	Назва	N	K_2O	P_2O_5	SO_4	Сольовий індекс
KCl	Хлорид калію		60			116
NH_4NO_3	Селітра аміачна	34				104
$NaNO_3$	Селітра натрієва	16				100
$(NH_4)_2SO_4$	Сульфат амонію	21			24	88
$CO(NH_2)_2$	Карбамід	46				74
$NH_4NO_3 + CO(NH_2)_2$	КАС 32	32				71
KNO_3	Нітрат калію	13	44			69
$MgSO_4$	Сульфат магнію				14	44
K_2SO_4	Сульфат калію		50		17	42
$NH_4H_2PO_4$	Диамоній фосфат	18		46		29
$(NH_4)_2HPO_4$	**Монофосфат амонію**	**12**		**52**		**27**
$(NH_4)_2(HPO_4)_n$	**Поліфосфат амонію**	**10**		**34**		**20**
K_2HPO_4	**Монофосфат калію**		**52**	**35**		**8,4**
$K_3C_6H_5O_7$	**Цитрат калію**		**38**			**>10**

Джерело: Salt Index of Fertilizers, 1986, Iowa State University

Комплексні добрива зазвичай містять декілька простих солей, змішаних у певній пропорції. Їхні сольові індекси є сумою значень окремих компонентів. Якщо доводиться проводити листову обробку рослин добривом із високим сольовим індексом, то слід або зменшити його кількість або збільшити норму водовиливу до 400-500 л/га. Це вбереже рослини від опіків.

Добрива із низьким сольовим індексом значно безпечніші для рослин. При дотриманні рекомендацій по нормуванню деякі із них ефективно працюють навіть при низькому водовиливі 100 л/га. До таких добрив можна віднести ті, що містять у своєму складі цитрат калію, монофосфат калію, моно- та поліфосфат амонію, а також деякі інші прості солі.

Електропровідність є одним із найбільш інформативних показників солоності водного розчину. Його величина залежить як від кількості солі так і від її сольового індексу. Визначити ЕС можна у агрохімічній лабораторії або за допомогою портативного ЕС-метра. Високий показник ЕС свідчить про значну концентрацію солей у розчині або про наявність добрив із великим сольовим індексом.

Одиниці вимірювання електропровідності

Децісіменс на метр, dS/m	Мілісіменс на сантиметр, mS/cm	Мікросіменс на сантиметр, µS/cm
1	1	1000

Джерело: NSW Agriculture (2003).

Чутливість культур до електропровідності робочого розчину

Електропровідність, mS/cm	Рівень чутливості культур	Перелік культур
15-20	дуже високий	
8-10	високий	ананаси
5	**оптимальний**	ячмінь, шпинат
3		**сорго, кукурудза, пшениця**
2		**люцерна, полуниця, капуста, томат**
1		картопля морква, цибуля, абрикос, малина

Джерело: Au. Department of Primary Industries, 2005

Орієнтовні рівні електропровідності деяких рідин:

Дистильована вода – 0 mS/cm

Вода із Дніпра – 0,7-0,8 mS/cm

Вода зі свердловини – 2-3 mS/cm

Оптимальний показник електропровідності розчину для більшості сільськогосподарських культур знаходиться в межах 2-3 mS/cm, робочий діапазон 1-5 mS/cm. При високому ЕС зростає вірогідність фітотоксичного впливу на рослини та утворення опіків.

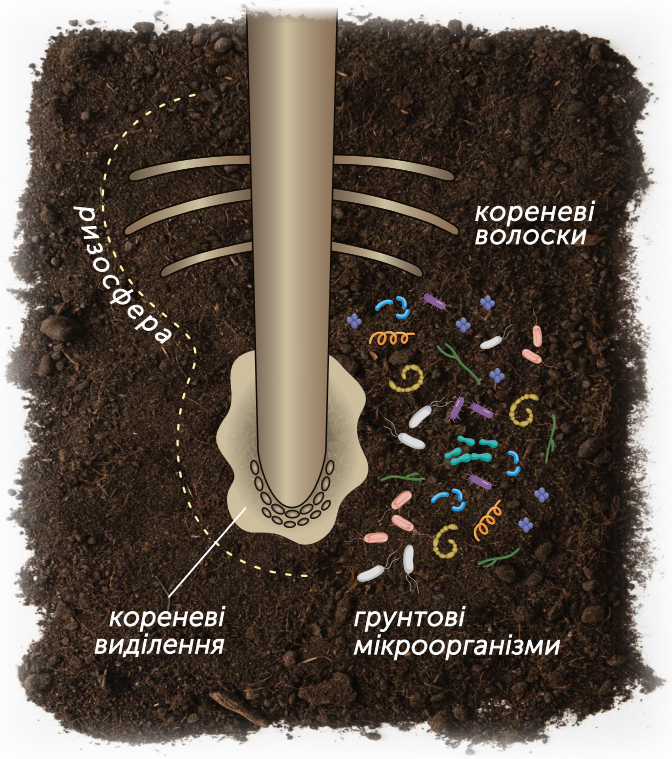
Грунт містить велику кількість поживних речовин, які рослини використовують для свого росту та розвитку. Переважна більшість елементів живлення перебуває у зв'язаному стані, будь-то нерозчинні у воді мінеральні солі, пожнивні залишки чи гумус.

У природньому середовищі доступність поживних речовин не перевищує 1% від загальної їх кількості у грунті і обумовлена активністю мікроорганізмів. Це необхідний зв'язуючий елемент між рослинами та неживою складовою грунту.

Задача біоінженерії полягає у тому, щоб провести селекцію найбільш продуктивних видів корисних мікроорганізмів, що здатні співіснувати та забезпечувати рослини необхідними ресурсами.

Механізм взаємодії рослини та корисних мікроорганізмів

Фізіологія рослин побудована таким чином, що понад 30% продуктів фотосинтезу вони виділяють у грунт у вигляді ексудатів. Ці речовини слугують джерелом живлення для мікроорганізмів грунту та активують розвиток їхніх популяцій. По цій причині близько 80% грунтової мікробіоти зосереджено у ризосфері рослин на відстані 1–2 мм від кореневого волоска.



В свою чергу корисна мікрофлора грунту продукує власні метаболіти. Речовини гормонального походження активізують ріст кореневої системи. Органічні кислоти – розчиняють мінеральні солі та вивільняють азот, фосфор, калій та інші елементи, що у природньому стані зв'язані. Деякі корисні види синтезують антибіотики та захищають рослини від патогенів.

Таким чином, між рослинами та мікробіомом грунту реалізується взаємовигідна співпраця, де у виграші обидві сторони.

Важливо розуміти, що грунт може бути по справжньому здоровим та продуктивним лише тоді, коли у ньому гармонійно розвиваються різні види мікроорганізмів, що утворюють **консорціум** – повноцінну спільноту із високим ступенем інтеграції власного метаболізму.

Характеристика основних функціональних груп мікроорганізмів грунту

Азотфіксатори синтезують специфічний фермент нітрогеназу, завдяки чому трансформують молекулярний азот повітря (N_2) у доступну для рослин форму (NH_4^+). Розрізняють декілька типів аеробних та анаеробних азотфіксаторів: симбіотичні (Rhizobiaceae), вільноіснуючі (Azotobacter, Clostridium), ендофітні (Acetobacter) та асоціативні (Azospirillum).

Амоніфікатори – розкладають органічні азотовмісні речовин рослинного і тваринного походження, органічні добрива та хітин із утворенням аміаку, що в подальшому гідролізується до амонію (NH_4^+). До амоніфікаторів належать аеробні та анаеробні мікроорганізми, які продукують ферменти протеази. Амоніфікатори забезпечують синтез нових гумусових речовин, які є основою родючості ґрунту.

Амілолітики – здійснюють процес розкладання безазотистих сполук грунту. При цьому вони засвоюють нітрати (NO_3^-) та іммобілізують їх, включаючи до складу власного білку. Кількість амілолітиків зростає при збільшенні кількості нітратів у грунті. Подібну тенденцію можна спостерігати після внесення мінеральних азотних добрив у весняний та осінній періоди.

Фосфатмобілізатори – вивільняють фосфор із важкорозчинних сполук. Це обумовлено їхньою здатністю синтезувати органічні кислоти та ферменти (фосфатаза, фітаза та ін.), що розщеплюють фосфоровмісні речовини. Найбільш активні фосфатмобілізатори: Pseudomonas, Azotobacter, Enterobacter, Bacillus, Penicillium, Glomus, Trichoderma та інші.

Педотрофи – найбільш поширена група ґрунтових мікроорганізмів, яка відображає загальний стан корисної мікробіоти у ґрунті. Вони засвоюють водорозчинні фракції грунту та відіграють суттєву роль у формуванні його родючості.

Оліготрофи – завершають мінералізацію органічних сполук ґрунту. Вони розвиваються при дуже низькому вмісті поживних речовин за умов, коли решті мікроорганізмів бракує ресурсів. Зазвичай їх висока кількість свідчить про несприятливі умови у грунті для розвитку корисної мікрофлори.

Целюлозолітики здатні утворювати комплекс ферментів, що розкладають целюлозу, яка міститься у пожнивних залишках рослин. Целюлозолітиками можуть бути, як окремі види аеробних та анаеробних бактерій, так і гриби та актиноміцети. Їхня діяльність є важливим етапом трансформації рослинних решток у ґрунті.

Нотатки

050-381-55-21
Фісюк Валерій, керівник комерційного відділу

050-741-89-79
Породзинський Дмитро, менеджер із розвитку технологій

www.agrinos.com.ua