

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

Затверджено
рішенням вченої ради
агрономічного факультету
(протокол № 7 від 19.02 2020)

УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ АГРОЦЕНОЗІВ
шляхом застосування добрив і біопрепаратів
(Методичні вказівки)

Харків 2020

Доктор с.-г. наук, проф. В. І. Філон

Рецензенти: доктор с.-г. наук, 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).

Управління продуктивністю агроценозів шляхом застосування добрив і біопрепаратів: Методичні вказівки до вивчення курсу. – Вид. 2-ге, допов. і переробл. Харків, 2020. – 72с

Розглянуто агрохімічні ресурси підвищення продуктивності агроценозів. Наведено головні тенденції на ринку мінеральних добрив. Подальше підвищення урожайності культур висвітлено у контексті застосування спеціальних добрив: фертигаторів, халатних форм мікродобрив, нанодобрив. Особливу увагу приділено фізіологічно активним компонентам мікродобрив (хелатоутворюючим агентам синтетичного і природного походження, фітогормонам, карбоновим і гуміновим кислотам). Детально розглянуто фізіологію стресу рослин і заходи по усуненню негативного впливу на урожай абіотичних факторів. Викладено перспективи використання бактеріальних добрив, як часткову альтернативу хімізації землеробства і можливість оздоровлення ґрунтів за відсутністю гною.

© Харківський національний аграрний
університет ім. В.В. Докучаєва

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
1. АГРОХІМІЧНІ РЕСУРСИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЦЕНОЗІВ	5
2. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ НА РИНКУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ	9
3. ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ДОБРИВ (ФЕРТИГАТОРІВ, ХЕЛАТНИХ МІКРОДОБРИВ, НАНОДОБРИВ)	19
4. АСОРТИМЕНТ І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БАКТЕРІАЛЬНИХ ДОБРИВ	24
5. ФІЗІОЛОГІЧНО АКТИВНІ КОМПОНЕНТИ МІКРОДОБРИВ (ХЕЛАТОУТВОРЮЮЧІ АГЕНТИ СИНТЕТИЧНОГО І ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ, ФІТОГОРМОНИ, КАРБОНОВІ КИСЛОТИ, ГУМІНОВІ КИСЛОТИ, АНТИСТРЕСАНТИ)	33
6. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗ ДОБРИВ ЇХ ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ	37
7. ФІЗІОЛОГІЯ СТРЕСУ РОСЛИН І ПРАКТИЧНІ ЗАХОДИ ПО УСУНЕННЮ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА УРОЖАЙ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ	55
ЛІТЕРАТУРА	74

ВСТУП

Суттєві капіталовкладення на нові технології вирощування сільськогосподарських культур нерідко не дають бажаних результатів. Все це спонукає аграріїв на пошук подальших резервів підвищення продуктивності агроценозів шляхом залучення добрив і біопрепаратів. Не секрет, що на сьогодні головним важелем підвищення урожайності сільськогосподарських культур залишаються добрива. В останні роки асортимент їх значно розширився, з'явилися принципово нові формуляції. Все це надає можливість цілеспрямованого управління продуктивністю агроценозів і особливо в умовах негативного впливу абіотичних і біотичних стресорів.

У методичних вказівках розглянуто агрохімічні ресурси підвищення продуктивності агроценозів. Висвітлено головні тенденції на ринку мінеральних добрив. Особливу увагу приділено застосуванню спеціальних добрив (фертигаторів, халатних мікродобрив, нанодобрив, мінеральних руд дозволених до використання у органічному землеробстві, добрив із програмованим звільненням поживних елементів).

Висвітлено асортимент і перспективи використання бактеріальних добрив. Коротко викладено роль фізіологічно активних компонентів мікродобрив, методи визначення доз добрив, а також фізіологію стресу рослин і заходи по усуненню негативного впливу на урожай абіотичних факторів.

1. АГРОХІМІЧНІ РЕСУРСИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЦЕНОЗІВ

Мінеральні добрива є одним із швидкодіючих і ефективних засобів підвищення урожайності сільськогосподарських культур. Так, застосування їх наприкінці XVIII-XIX ст. практично за двадцять років підвищило урожайність зернових культур з 16 до 30 ц/га. У той же час як на попереднє підвищення урожайності з 7 до 16 ц/га знадобилося майже два століття. Не секрет, що кожний четвертий мешканець планети на сьогодні вживає продукти харчування, отримані за рахунок застосування добрив. Недарма академік Д.М. Прянишников порівнював винайдення мінеральних добрив з відкриттям нових континентів. У світовому землеробстві відмічається пряма залежність між урожайністю сільськогосподарських культур і кількістю внесених добрив. Так, у Голландії вносять приблизно 800 кг діючої речовини NPK на гектар і отримують близько 100 ц/га озимої пшениці. У Японії під пшеницю вносять 600 кг діючої речовини NPK і урожайність при цьому становить 70 ц/га. У Німеччині застосовують 430 кг діючої речовини NPK і середня урожайність при цьому становить 45 ц/га [1].

Значні дози добрив застосовують також у таких країнах як Ірландія, Бельгія, Англія, Колумбія, Франція. Найбільше виробляють і купують добрив Китай і США. До речі, до десятки найбільших виробників мінеральних добрив у світі входять Україна, Росія і Білорусь. Однак слід зауважити, що з України також і вивозяться значні обсяги добрив, які при внесенні у наші ґрунти забезпечили б досить високий економічний ефект, адже 1 кг діючої речовини NPK дає 4-8 кг зерна [2].

Кількість добрив, яка вноситься на одиницю площі, змінюється у досить широких межах залежно від регіону. До 1999 р. для таких країни як Німеччина, Голландія, Японія, Франція і Великобританія норми внесення добрив складала 300-800 кг діючої речовини на гектар. У 1998 р. у Німеччині в середньому на ферму витрачалося на добрива 10007,5 марок, а на хімічні

засоби захисту рослин лише 5725 марок. Безумовно, ті країни, які вносять низькі дози добрив, отримують і низьку врожайність сільськогосподарських культур.

Узагалі застосування добрив у світовій практиці землеробства відчутно зросло з 1950 р., коли світове населення збільшилося з 2,5 до 6 млрд. чоловік. Зменшення їх застосування на початку 90-х років минулого століття у країнах Центральної Європи і на терені колишнього Радянського Союзу зумовлене структурними перетвореннями та економічними проблемами.

У 1960 р. на розвинені країни припадало близько 88 % світового використання добрив, а за їх виробництвом колишній СРСР у 1971 р. вийшов на перше місце у світі [3]. До 1999 р. цей показник для розвинених країн знизився до 39 %, а для країн, що розвиваються, зріс до 61 %.

1. Використання добрив у світі, млн. т поживних речовин

Роки	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Всього NPK
1920-1921	–	1,73	–	1,73
1930-1931	1,30	2,77	1,39	5,46
1960-1961	10,83	10,73	8,48	30,04
1970-1971	31,75	21,11	16,29	69,15
1980-1981	60,78	32,04	24,39	117,21
1990-1991	77,56	36,07	24,61	138,24
1998-1999	82,18	32,88	21,87	136,93
1999-2010	100,00	28,00	20,10	148,10
2030 прогноз	110,00	20,00	21,00	179,00

За офіційними даними [1] світове застосування добрив у 1999-2000 рр. складало 136,9 млн. т поживних речовин. При цьому в країнах Азії було використано 48 %, у країнах Північної Америки – 16 %, країнах Латинської

Америци – 8 %, країнах Західної Європи – 13 %, країнах Центральної Європи – 6 %, у інших країнах – 9 %. У цілому в світі і на сьогодні спостерігається тенденція до нарощування обсягів застосування добрив (табл. 1).

Споживання добрив у розрізі країн світу показано у таблиці 2.

2. Використання добрив країнами світу у 1988-1999 рр., млн. т

Країни	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Всього NPK
Азії, що розвиваються	42,77	15,66	6,87	65,30
Північної Америки	12,87	4,52	4,81	22,20
Латинської Америки	4,71	3,47	3,08	11,26
Західної Європи	9,96	3,50	4,11	17,57
Центральної Європи і СНД	4,71	1,29	1,50	7,50
Інші	7,16	4,44	1,50	13,10
Всього	–	–	–	136,93

3. Внесення мінеральних добрив на гектар ріллі (у розрахунку на 100 % поживних речовин)

Країна	Кількість добрив, кг	Країна	Кількість добрив, кг
Україна	48	Єгипет	416
Малайзія	836	Бельгія	367
Коста-Ріка	768	Ізраїль	356
Ірландія	651	Великобританія	346
Корея	513	В'єтнам	336
Словенія	460	Колумбія	286
Нова Зеландія	430	Білорусь	280

За даними ФАО у деяких світових країнах у 2000 р., Білорусі у 2008 р. і Україні у 2009 р. під зернові культури вносили таку кількість мінеральних добрив (у розрахунку на 100 % поживних речовин) на гектар ріллі (табл. 3).

4. Окупність 1 кг поживної речовини мінеральних добрив приростом врожаю, кг зернових одиниць

Культура	Роки		
	сприятливі	посушливі	перезволожені й холодні
Полісся			
Озима пшениця	4,7	4,5	4,3
Ячмінь ярий	11,2	6,2	7,8
Кукурудза на зерно	10,0	7,0	8,6
Цукрові буряки	–	–	–
Картопля	7,1	6,4	11,6
Лістостеп			
Озима пшениця	4,2	3,2	4,5
Ячмінь ярий	5,6	4,9	6,9
Кукурудза	7,9	11,5	11,5
Цукрові буряки	8,2	5,2	5,6
Степ			
Озима пшениця	4,7	3,4	–
Ячмінь ярий	6,6	2,2	–
Кукурудза	13,7	11,5	–

Отже у 2009 р. в Україні вносили у 5,8 разів менше, ніж у 2008 р. у Білорусії і у 17,4 рази менше, ніж у Малайзії у 2000 р.

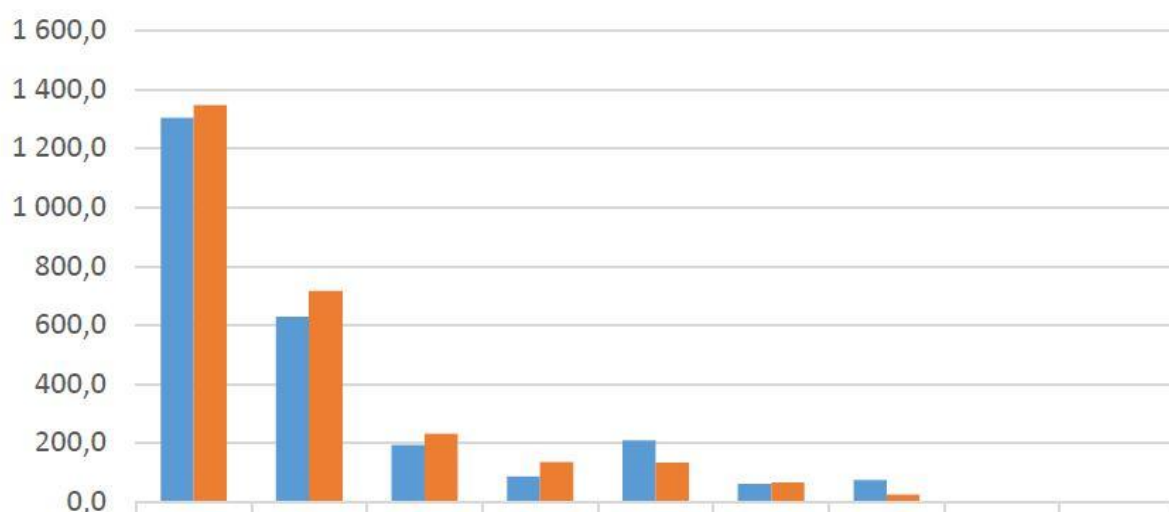
У структурі основних витрат на виробництво сільськогосподарської продукції мінеральні добрива складають від 6 % у США до 20 % у Франції. На Україні ця цифра становить близько 14 %. У середньому в зоні багарного землеробства 1 грн. витрат на застосування добрив окупується приростом продукції 3-3,5 грн. З розрахунку на 1 га вносячи 1 кг поживної речовини NPK, у науково-дослідних установах додатково отримують 7-10 кг зерна, тоді як у господарствах лише 3-5 кг. Зауважимо, що на сьогоднішній день ще не досягнуто достатньої окупності добрив. Так, при внесенні їх під цукрові буряки вона не перевищує 85 %, під картоплю – 68 %, під овочеві культури – 90 % нормативної. І це при тому, що нормативна окупність добрив є заниженою і не відповідає рівню, який давно став нормою для багатьох розвинених країн.

2. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ НА РИНКУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Асортимент мінеральних добрив, дозволених до використання в Україні, нараховує понад 400 найменувань. При цьому одні добрива, що пройшли реєстрацію вже не застосовуються, інші впроваджуються у виробництво. Аналіз ринку мінеральних добрив свідчить про те, що на сьогодні, як і у часи з плановою економікою, головну роль у підвищенні родючості ґрунтів і урожайності сільськогосподарських культур відіграє обмежена група добрив [3]. На наш погляд, це пов'язано у першу чергу із відсутністю власної сировинної бази для виробництва фосфорних і калійних добрив.

На рис. 1 показано обсяг виробництва основних добрив в Україні у 2015 - 2016 рр. Лідуючі позиції займає виробництво карбаміду (1346,7 тис. т). Друге місце посідає аміачна селітра (715 тис. т), третє – КАС (232,5 тис. т). Досить вагомим є також виробництво сульфату амонію. На частку нітроамофоски і амофосу припадає 65,5 і 24,7 тис. т, що явно не задовольняє потреби сільгоспвиробників.

Високі ціни на природний газ обумовили різке зростання цін на мінеральні добрива (рис. 2). Тільки за період з 2013 по 2015 рр. ціни на аміачну селітру зросли з 3500 до 10000 грн/т, вартість нітроамофоски у 2015 р. збільшилась до 13000 грн. Це позначилося на попиті добрив, особливо з боку малих і середніх за розміром господарств. З отриманням «реверсного» газу дещо покращила свою роботу власна промисловість. Починаючи з лютого 2015 р. спостерігається явно виражений тренд на зниження вартості добрив.





	Карбамід								
	Аміачна селітра								
	КАС								
	Сульфат амонію								
	Вапн. селітра								
	НРК								
	Азот і фосфор								
	Фосфор і калій								
	Калій (калійні)								
2015	1303,2	627,9	193,3	87,1	209,2	60,5	74,6	0,3	0,0
2016	1346,7	715,7	232,5	126,1	132,5	65,5	24,7	2,0	0,0

Рис. 1 Виробництво мінеральних добрив (за 7 міс.) 2015 – 2016 рр.

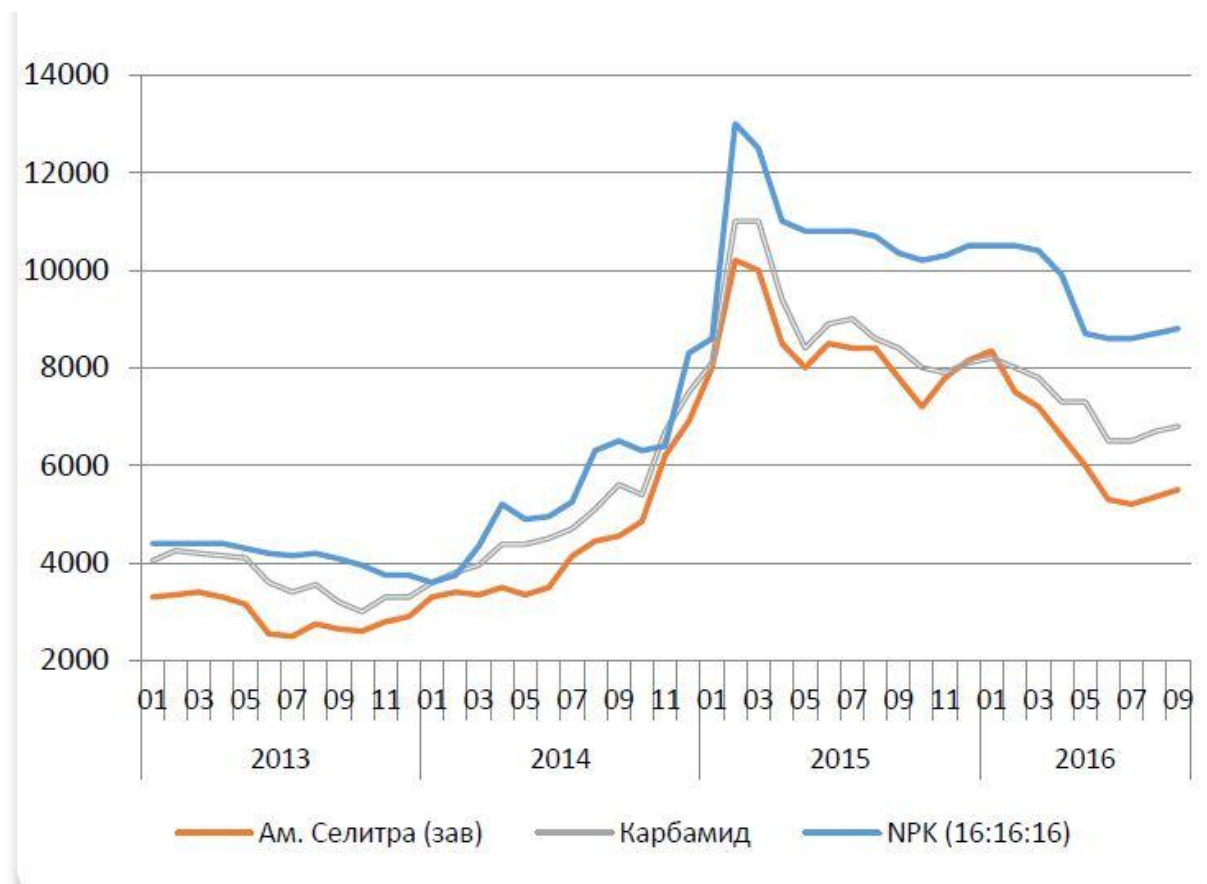


Рис. 2 Ціни на добрива в Україні, грн/т добрив

Станом на серпень - вересень 2016 року аміачна селітра вже коштувала близько 6000 грн./т.

На сьогодні потреби сільського господарства у мінеральних добривах частково задовільняються за рахунок імпорту (табл. 5). Головними постачальниками добрив залишається Російська Федерація (понад 1,2 млн. т) де ми закупаємо переважно азотні і комплексні добрива. Постачальником калійних добрив є Білорусь (42529 т).

Третю позицію за імпортом азотних і азотно-фосфорних добрив посідає Казахстан. Україна імпортує значні обсяги мінеральних добрив також із Узбекистану, Польщі, Бельгії, Норвегії, Турції. Імпорт за видами і формами

добрив (табл. 6) виглядає наступним чином. Із азотних добрив у структурі імпорту переважає аміачна селітра, далі йде карбамід, КАС і рідкий аміак. Група азотно-фосфатних добрив представлена амофосом, сульфоамофосом і РКД. Серед калійних добрив на хлористий калій припадає 42716 т, на калімаг– 1386 т, сульфат калію –760 т, і калімагнезію – 20 т.

Структура імпорту мінеральних добрив за компаніями, що їх постачають представлена на рис. 3. Приблизно третя частина від імпортованих добрив (28,9 %) припадає на ТД «Агропромінпорт ЛТД», 20,1 % - на «Фос Агро Україна», 10,4% на НФ «Трейдінг», 9,6% на «Агроцентр Єврохім Україна». Дольова участь кожного з решти постачальників становить близько 2 %.

5. Імпорт мінеральних добрив, т

(2016р.)

Країна	N	NP	K	NPK	Загальний
РФ	545893	131386	1593	562613	1245197
Білорусь	60215	20944	42529	183280	306968
Казахстан	45141	1887			47028
Литва	15		40	15276	15331
Фінляндія	13	4	5	13820	13842
Узбекістан	12821				12821
Польща	3318	1099		5421	10015
Бельгія	325	51	303	1346	2025
Норвегія	1775			67	1842
Турція	248		22	1330	1700

(Джерело: Д. Гордейчук, 2016)

б. Імпорт за формами добрив, т
(2016р.)

Добриво	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Загальний
К	1947	5726	13935	3621	1294	6808	11550	44881
КСІ мілкий	1820	2798	12399	2945	534	1120	328	21944
КСІ гранул.		2759	1466	269	210	4885	11183	20772
Калімаг	126	133		265	332	530		1386
Сульфат калію	1	37	70	142	218	273	19	760
Калімагнезія							20	20
N	96607	181256	139060	66539	31326	45676	70835	631297
Карбамід	22684	45110	44076	25231	7535	3770	8996	157403
КАС-32	4180	19147	22937	27706	16858	10940	19466	121233
SAM cristal	19474	30350	14689	4721	6744	16000	21272	113249
CAN-33,5	20650	33754	24858	2380		10183	19558	111383
Ам. селітра	28013	40423	8393	268	189	2069	552	79907
Аміак	1606	12472	24107	6233		2714	991	48122
NP	15479	22832	20497	18493	8226	29017	37259	151803
Амофос 12:52	970	7889	8456	12174	5240	15302	24806	74837
Сульфоамофос 20:20	14509	12962	6849	2890		5583	8339	51132
NP 9:30		1547	3902	1365	2462	8132	3083	20490
PKД 11:37		434	1291	2064	524		1031	5344

(Джерело: Д. Гордейчук, 2016)

У цілому український ринок є віддзеркаленням світових тенденцій використання мінеральних добрив. Щорічне споживання їх зростає на 1,8% і на 2014 р. воно становило 186,7 млрд т д. р. Головними споживачами добрив (70%) на сьогодні є країни Південної Азії та Китай. Близько 50% добрив застосовують під зернові культури і тільки 17% – під овочі і плодові насадження.

Із представлених в Україні добрив найбільшим є азотний сегмент ринку. Азотні добрива на сьогодні виробляють у 60 країнах світу. Приблизно третя частина від вироблених азотних добрив припадає на Китай. Досить серйозними гравцями на ринку азотних добрив є також Індія, Пакистан, Бразилія. Суттєві зміни в останні роки відбулися на ринку фосфорних добрив. Частка суперфосфату щороку знижується, а попит на амофос і діамфос постійно зростають. Виробництво фосфорних добрив «прив'язано» до родовищ фосфатних руд. Найбільші запаси їх розташовані у Марокко, США, РФ. Вони становлять 5800, 4800 і 4000 млн т відповідно. Із інших країн з великими запасами фосфатних руд слід відмітити Австралію (2000 млн т), Іспанію (1600 млн т), Туніс, Іорданію, Монголію, Саудівську Аравію – по 1000 млн т [4]. Головними постачальниками на ринку калійних добрив є Канада, Росія, Білорусь. На їх частку припадає 2/3 світового виробництва калійних добрив. Для українського ринку добрив, як і для світового, характерною закономірністю є різке зниження частки калійних і фосфорних добрив у порівнянні з азотними. Головною причиною вказаного явища є те, що саме азотні добрива забезпечують

найвищий приріст урожайності сільськогосподарських культур.

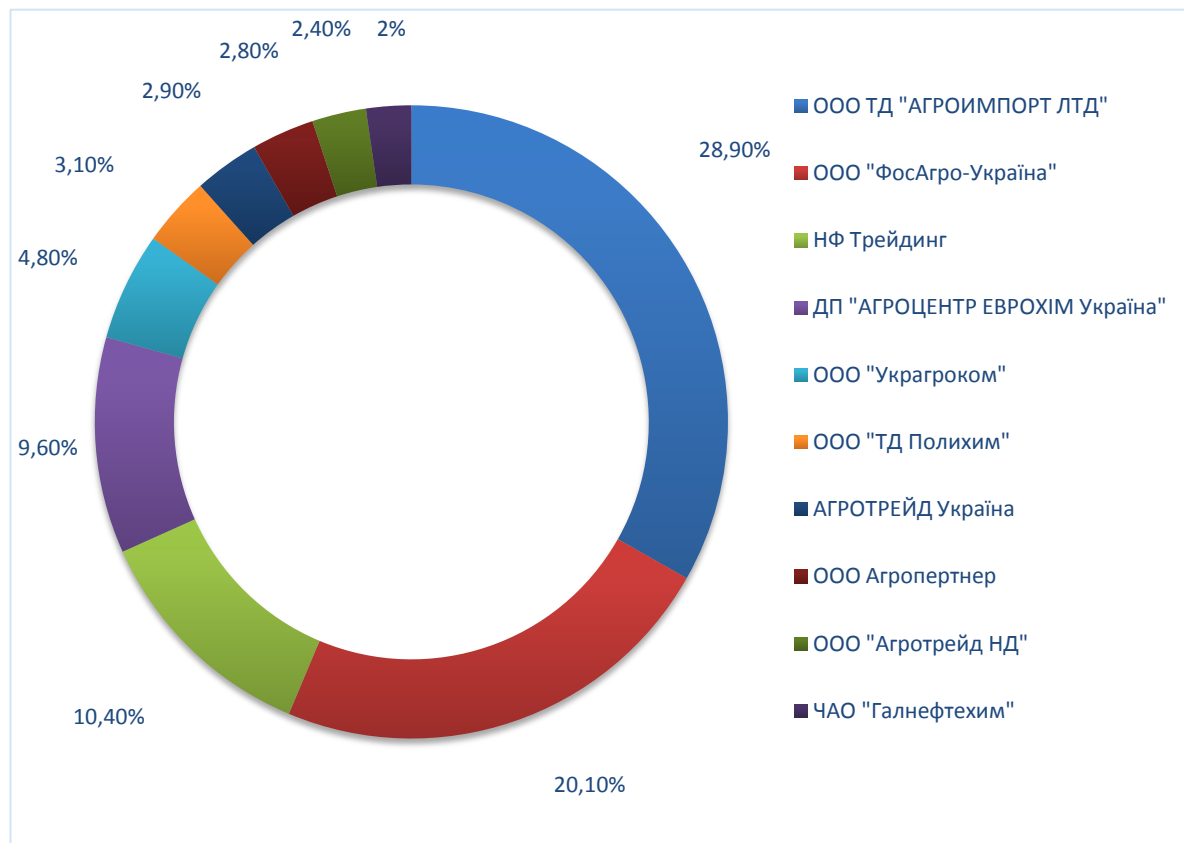


Рис. 3 Структура імпорту мінеральних добрив за постачальниками, %

(Джерело: Д. Гордейчук, 2016)

Якщо окупність 1ц д. р. азотних добрив становить 10-17 ц зерна, то фосфорних і калійних – близько 3 ц. Інша немаловажна причина – це забезпеченість ґрунтів рухомими формами фосфору і калію. Інтенсивне внесення фосфорних і калійних добрив у 80-ті роки призвело до накопичення рухомих фосфатів і калію у ґрунтах. Темпи зростання вмісту рухомого калію у ґрунтах Лісостепу за п'ять років становили 5-9%. Реальна забезпеченість ґрунтів України фосфором і калієм є досить оптимістичною. Серед орних ґрунтів переважають такі, що мають середній і підвищений вміст рухомих фосфатів за Чириковим. Що стосується забезпеченості ґрунтів рухомим калієм, то у Лісостепу і Степу України, переважають ґрунти з підвищеним і високим його

вмістом. Для прикладу наведемо досить типові агрохімічні картограми (рис. 4,5) забезпеченості ґрунтів $P_2 O_5$ і $K_2 O$ ДПАФ «Вікторія» Сахновщинського району Харківської області.

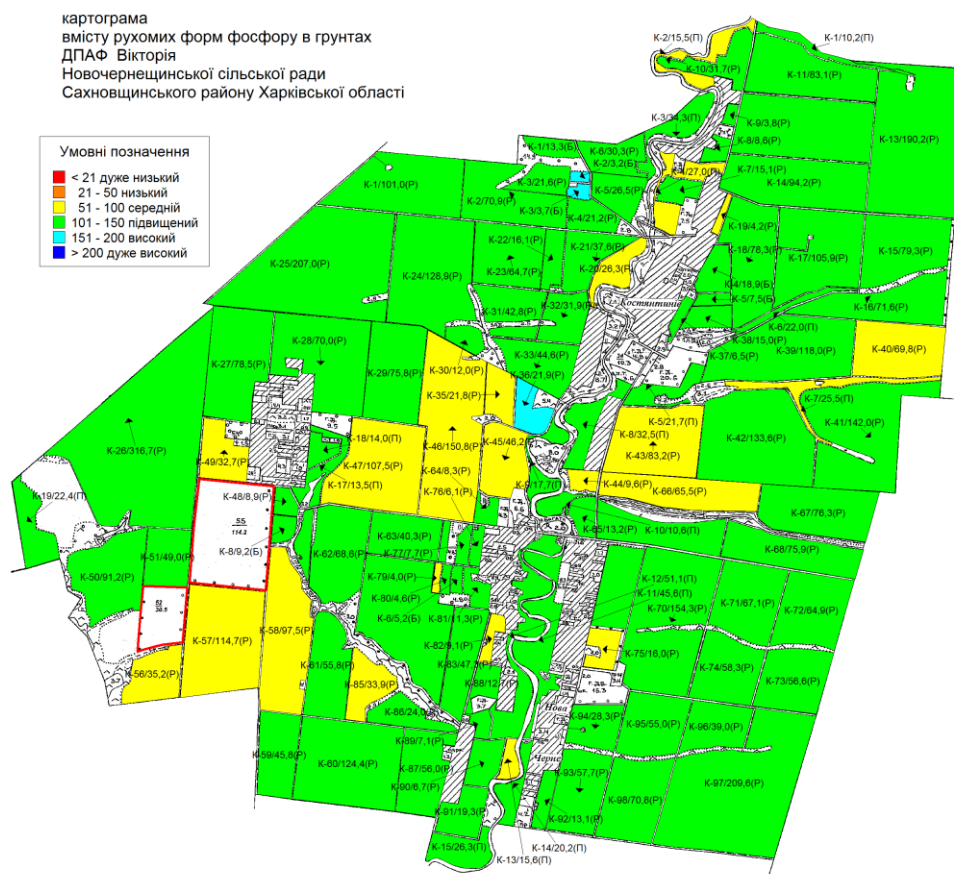


Рис.4. Картограма вмісту рухомих форм фосфору у ґрунтах ДПАФ «Вікторія» Сахновщинського району Харківської області

Нарешті відсутність в Україні потужної сировинної бази для виробництва фосфорних і калійних добрив вплинула на співвідношення між азотними, фосфорними і калійними добривами. На початку 90- х років це можливо була одна із головних причин переходу господарств на одностороннє внесення азотних добрив.

Скорочення виробництва і застосування фосфорних і калійних добрив обумовило зменшення надходження у ґрунти сірки і мікроелементів. Разом із основними добривами у ґрунт надходила значна частка мікроелементів.

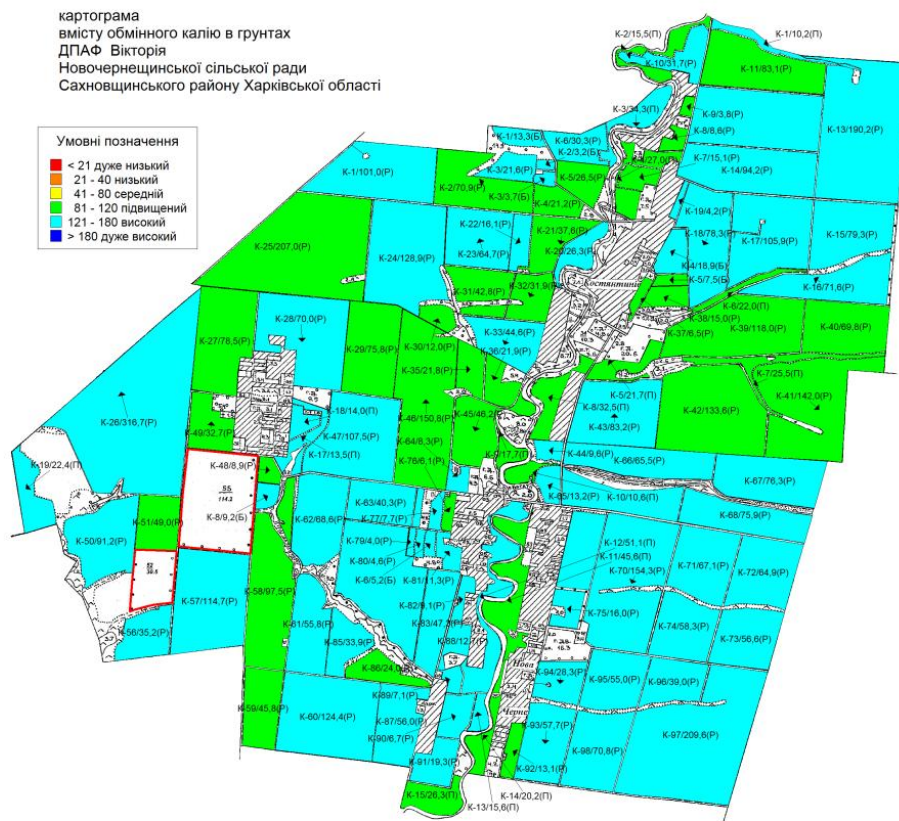


Рис.5. Картограма вмісту рухомих форм калію у ґрунтах ДПАФ «Вікторія» Сахновщинського району Харківської області

Звичайно, що ринок мінеральних добрив у сучасних умовах господарювання є досить динамічним і потребує проведення постійних досліджень. Коротко наведено огляд ринку добрив за два останніх роки. Основна маса імпорту-експорту добрив проходить через порти Чорного і Балтійського моря. Станом на серпень 2019 року ціни на карбамід у Чорноморсько-Балтійському регіоні знизилися до 250-256 дол. США 1 т, FOB Чорне море і 258-263 дол.США 1т,FOB Балтика. Пропозиції на поставки рідкого аміаку у цей час були обмежені (внаслідок планових ремонтів на заводах). Разом із тим і попит на нього був низьким , це обумовило відносну стабілізацію на ціни аміака. Вона залишилася на рівні 210 \$ за 1т. FOB. Аналітик ІА «Інфоіндустрія» Костянтин Кінжалов зазначає, що ситуація з цінами на аміак найближчим часом навряд чи зміниться.

Основними споживачами аміачної селітри на цей час виступає Латинська Америка і Бразилія. Поставщиком виступають російські компанії. Продаж селітри в Латинську Америку відбувається по ціні 192-198 \$ за 1 т, FOB Чорне море і 197-200 \$ за 1т, FOB Балтійське море.

Вартість на КАС не змінилася. Її продають по 137-143\$ за 1т. FOB Балтійське море.

Що стосується імпорту в Україну спеціальних добрив (Ірина Терещенко, 2019) , то протягом вересня 2019р було завезено 1102т сульфату магнію. Найбільші партії сульфату магнію були завезені з Китаю (79%). Доля поставок вказаного добрива із Польщі становила 16%. Серед інших спеціальних добрив в Україну завозилися кальцієва селітра, моно- амонійфосфат. Загальний обсяг імпорту водорозчинних добрив в Україну у 2019 році зріс і становив 1520т. Слід зазначити, що серед водорозчинних добрив переважають тверді форми (73%) над рідкими формуляціями.

В останні роки популярністю в Україні користується сульфат амонію. Виробництво вказаного добрива у країнах СНГ знизилося внаслідок скорочення синтезу капролактама. Вартість на вказане добриво у портах Чорного моря піднялась до 125-130\$ за 1т.FOB у портах Балтійського моря.

3. ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ДОБРИВ (ФЕРТИГАТОРІВ, ХЕЛАТНИХ МІКРОДОБРИВ, НАНОДОБРИВ)

Термін спеціальні добрива почали використовувати у 2000-ні роки. До вказаної групи добрив відносять фертигатори, халатні форми мікродобрив і нанодобрива. Іноді до спеціальних добрив відносять сульфат магнію, природні поклади мінеральних руд, що дозволені до використання у органічному землеробстві, кремнієві добрива, екстракти бурих водоростей, добрива із контрольованим звільненням поживних елементів.

При підготовці докторів філософії за напрямом агрономія дуже важливим та актуальним є ознайомлення їх з таким агрозаходом як фертигація.

Фертигація – це внесення поживних елементів з водою за допомогою спеціальних іригаційних систем. Досить перспективним агрозаходом на сьогодні є краплинне зрошення. Саме завдяки останньому поживні елементи подаються безпосередньо у зону розгалуження кореневої системи, причому в ті періоди розвитку рослин, коли виникає у них потреба. Широкого використання фертигація набула у середині ХХ сторіччя, хоча відомою була ще до н.е. На сьогодні число господарств, які переходить на фертигацію (краплинне зрошення) зростає високими темпами. Одна із причин – глобальне потепління клімату. Лідером по використанню фертигації виступає Ізраїль, який застосовує її на 75% усіх зрошуваних земель. Разом із водою там вносять до 50% усього азота і фосфора і близько 70% калію. Немає сумніву в тому, що така технологія внесення добрив є перспективною і екологічнобезпечною.

Із азотних і комплексних добрив для фертигації використовують:

аміачну селітру NH_4NO_3 ;

кальцієву селітру $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$;

калійну селітру KNO_3 ;

карбамід $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$;

фосфат амонія $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

У якості фосфорних добрив для фертигації рекомендують використовувати:

фосфорну кислоту H_3PO_4 ;
монокалійфосфат KH_2PO_4 ;
моноамонійфосфат $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$;
поліфосфати.

Кращими формами калієвмісних добрив при фертигації є:
монокалійфосфат KH_2PO_4 ;
калійна селітра KNO_3 ;
сульфат калія.

Із магнієвих добрив для фертигації підходять сульфат і нітрат магнію.

У якості сірчаних добрив використовують сульфати калію, магнію і амонію.

До числа спеціальних відносять також кремнієві добрива. Останні використовують для підвищення стійкості рослин до абіотичних стресорів. Історія дослідження кремнієвих добрив нараховує понад 150 років. Перший патент на кремнієве добриво був наданий у США ще у XIX ст. Сьогодні кремнієві добрива використовують у США, Китаї, Індії, Бразилії, Японії, Мексиці, Австралії.

У класичній агрохімії кремній віднесено до умовно необхідних елементів. У зв'язку з цим визначення доступного кремнію у ґрунтах не проводять. Вміст кремнію у рослинах залежить від їх виду і вмісту у ґрунті. Існують культури, що накопичують кремній у значній кількості. Це осока, кропива, хвощ. Слід пам'ятати, що кремній виступає антагоністом В, Мп, Fe. Внесення кремнієвих добрив підвищувало його вміст у стеблах кукурудзи з 1300 до 3300 мг/кг, у прапорцевих листах пшениці з 1530 до 11750 мг/кг. Сільськогосподарські рослини щороку виносять від 20 до 700 кг/га кремнію.

Зовнішні ознаки нестачі кремнію відсутні. Опосередкованими симптомами виступають враження рослин шкідниками і хворобами, «полягання» зернових культур.

Позитивний вплив кремнію проявляється у:

Підвищені стійкості до полягання;

Підвищенні стійкості до грибних і бактеріальних захворювань;

Підвищенні стійкості до шкідників;

Зменшенні впливу стрес-факторів (посуха, низькі температури, підвищений вміст солей, висока інтенсивність освітлення, важкі метали)

При розгляді питань пов'язаних з фертигацією особливу увагу приділити технологічним аспектам.

Мікродобрива. На сьогодні на українському ринку представлено широкий асортимент хелатних форм мікродобрив. Серед них лінійка добрив Басфоліар (BASF, Німеччина), АДОБ, Еколист, Інтермаг (Польща), Кеміра (Фінляндія), Брексил (Valagro, Італія), Вуксал (Німеччина), Нутривант (Ізраїль), Мікрокат, Райкати (Іспанія), Новалон (Турція). Детально про хелатні форми мікродобрив див В.І. Філон Мікродобрива –Харків, 2018.– 242с. [11]

Нанодобрива. Нанотехнології і нанопродукція сьогодні використовуються майже у всіх галузях народного господарства у тому числі й виробництві добрив. Разом із тим приставка «нано» все ще викликає сумнів і недовіру аграрієв. Своє походження вона бере від назви часточок, що мають розмір 10^{-9} метра (нанометр). Для оцінки таких розмірів зазначимо, що відстань між атомами кисню і водню у молекулі води дорівнює 0,1нм, діаметр атому золота становить 0,3 нм, розмір вірусу грипа – 70 - 100 нм. Виходячи з наведеного, хелати металів теж можуть бути віднесеними до нанопрепаратів. До вказаної групи препаратів можуть бути віднесені також фізіологічно-активні домішки до мікродобрив. Проте власне нанопрепаратами є наноспівмірні часточки металів (мікроелементів). Взагалі це можуть бути і неметали, скажімо люмінесцентний барвник для спостереження за проникненням мікродобрив через кутикулу листка. Такі часточки металів мають характерну для останніх структуру, однак внаслідок малих розмірів набувають ряд нових властивостей (реакційна здатність, фізична стійкість, проникнення крізь біологічні мембрани). Як стверджують виробники нанодобрив вони швидко проникають у клітини рослин, добре засвоюються, суттєво підвищують урожайність культур. До числа таких добрив відносять : Аватар 1, Наномікс, Наногрин, NANO GRO, Нано-

Мінераліс та ін.. Виробником мікродобрива Наногрин є ООО «НаноСоюз» (Україна, м. Київ). За даними виробника добриво являє собою наномодифіковані комплекси металів з природними кислотами, тобто нанокарбоксилати металів. На рис.6 представлена схематична будова карбоксилата срібла.

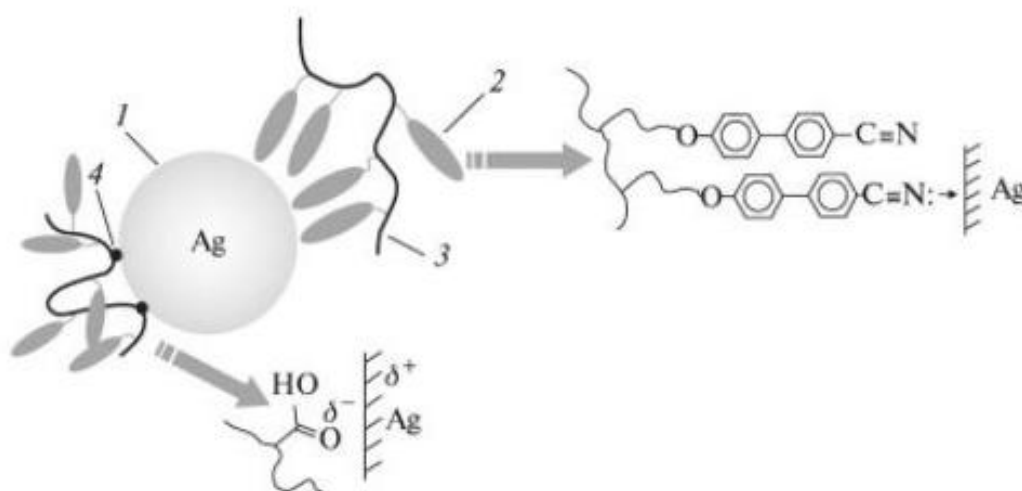


Рис.6 Схема взаємодії карбонових кислот з наночасточкою срібла: 1 – наночастка срібла; 2 - мезогенні групи; 3 – полімерний ланцюжок; 4 – карбоксильні групи

До карбоксилатів металів відносять і мікродобриво Аватар19 (табл.7.).

7. Хімічний склад добрива

Діюча речовина	Концентрація, %
Co	0,0001 – 0,0025
Cu	0,1– 0,08
Fe	0,0015 – 0,008
Mg	0,01– 0,8
Mn	0,0005 – 0,005
Mo	0,00001 – 0,0025
Zn	0,001 – 0,002
Карбонові кислоти	0,5 – 10%

ООО «Мінераліс Україна» у 2012 році впровадила плазмово-імпульсну технологію отримання карбоксилатів біогенних металів: цинка, магнія, мангана, заліза, кобальта, молібдена. До нанодобрих цієї компанії можна віднести Нано-Мінераліс (табл.8).

8. Хімічний склад добрива

Діюча речовина	Концентрація, мг/л
Mo	50
Mg	1600
Mn	120
Cu	120
Co	100
Fe	160
Zn	220
Ge	50
Se	40

Мікродобрива «Наномікс» отримують шляхом використання ефекту кавітації. Вірогідно, що воно містить як хелати, так і наночасточки металів із карбоновими кислотами. Отже, поява на ринку навіть обмеженого асортименту нанодобрих є об'єктивною реальністю. Простота технології їх виробництва і відносно низька вартість можуть стати вагомим важелем просування їх на ринку мікродобрих.

4. АСОРТИМЕНТ І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БАКТЕРІАЛЬНИХ ДОБРИВ

Виробництво, постачання і застосування бактеріальних добрив здавалося б не входить до задач агрохімсервісу. Воно є своєрідною реакцією на масове використання агрохімікатів і на наш погляд має право на існування. Слід визнати той факт, що курс на тотальну хімізацію землеробства на фоні падіння обсягів виробництва і внесення гною негативно позначився на фізичних властивостях ґрунтів і особливо на їх мікрофлорі. Остання приймає безпосередню участь майже у всіх процесах трансформації органічних і мінеральних сполук здатна продукувати речовини фітогормональної дії, проявляє фітонцидні властивості. Можливо, що все це обумовило появу на українському ринку ряду нових бактеріальних добрив. Основою таких добрив є культури мікроорганізмів, які здатні мобілізувати елемент живлення і тим самим покращувати ріст і розвиток рослин.

З метою покращення азотного живлення рослин використовують вільно існуючі, асоціативні та симбіотичні азотфіксатори. Покращення фосфатного живлення рослин, пов'язують із діяльністю фосфат мобілізуючих бактерій. Існує мікрофлора, що здатна посилювати мобілізацію ґрунтового калію. Існують бактеріальні добрива, які містять одну (споріднену групу) мікроорганізмів і їх асоціацію (консорціум). До числа останніх відноситься таке відоме бактеріальне добриво, як «Байкал» і яке, до речі, не підтвердило своєї ефективності на чорноземах.

До бактеріальних добрив, що широко використовуються в Україні можна віднести ризоторфін, нітрагін, ризобофіт на основі *Vas. Rhizobium* (симбіотичні азот фіксатори). Друга, не менш поширена група бактеріальних добрив побудована на використанні вільноживучих і асоціативних азот фіксаторів. Це такі бактеріальні добрива як азотобактерін, діазофіт, азоризин, діазобактерін, флавобактерин і ризоентерин. Діазофіт використовують для бактеризації пшениці й рису, діазобактерін – для бактеризації жита, гречки, злакових трав; азотобактерін і агрофіл для бактеризації овочевих культур. Асортимент

бактеріальних добрив на основі фосфатмобілізуючих мікроорганізмів значно менший. В Україні зареєстровано такі мікробні препарати на основі фосфатмобілізуючих мікроорганізмів як поліміксобактерін та альбобактерин. Фосфатмобілізуюча мікрофлора здатна гідролізувати органічні форми фосфатів, переміщати (за допомогою корневих систем) фосфор із нижніх шарів ґрунту у верхній орний горизонт ґрунту.

В останні роки на ринку добрив з'являються нові мікробіологічні препарати, принцип дії яких дещо відрізняється від попередників. Прикладом останніх можуть бути філазоніт, Фіокомплекс – БТУ, граундфікс, Міпромік, Екорост. У складі вказаних препаратів є дещо спільного. Так, до складу Філозоніту входить: *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chromococcum*, *Bacillus Circulans*, *Bacillus megaterium*. До складу препарату Граундфікс – *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* var. *phospaticum*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Paenibacillus polymyxa*. До складу Екороста – *Bacillus subtilis*, *Bacillus stearothermophilus*. Коротко наведемо характеристику біопрепарату ЕКОРОСТ. На рис.6 показано склад препарату.

Розробники стверджують, що застосування препарату «ЕКОРОСТ» дозволяє відновити корисну мікрофлору ґрунту, повернути ґрунт до притаманного природі стану, відмовитися від синтетичних фунгіцидів, підвищити імунний статус рослин, усунути вплив абіотичних стресорів (високі та низькі температури, післядія гербіцидів, сольові стреси тощо)

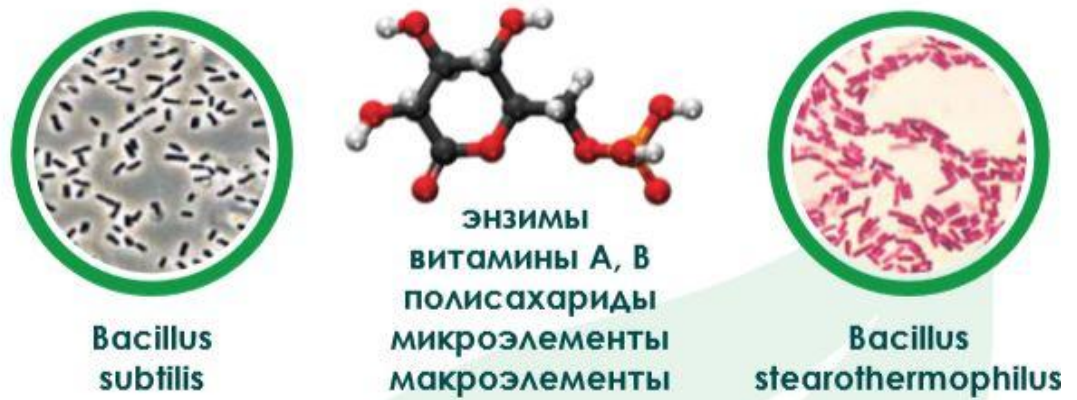


Рис 6. Состав препарата «ЕКОРОСТ»

Препарат виготовляють із сухих спор за добу перед його застосуванням. Виробництво препарату проводять у спеціально відведених місцях.



Рис. 7 Приготування препарату «ЕКОРОСТ»

Безпосередньо технологія застосування біопрепарату наведена на рис.8-10



Рис. 8 Технологія застосування препарату «Екорост» для озимих і ярих зернових

СОЯ И ГОРОХ



КУКУРУЗА



Рис. 9 Технология застосування препарату «Екорост» для сої, гороху, кукурудзи



ПОДСОЛНЕЧНИК



Рис. 10 Технология застосування препарату «Екорост» для соняшнику

На рис. 11-16 показані результати застосування препарату «ЕКОРОСТ» на чорноземах типових дослідного поля ХНАУ ім. В.В. Докучаєва.



Рис.11 Коренева система озимої пшениці на контролі



Рис.12 Коренева система озимої пшениці на варіанті «Екорост»

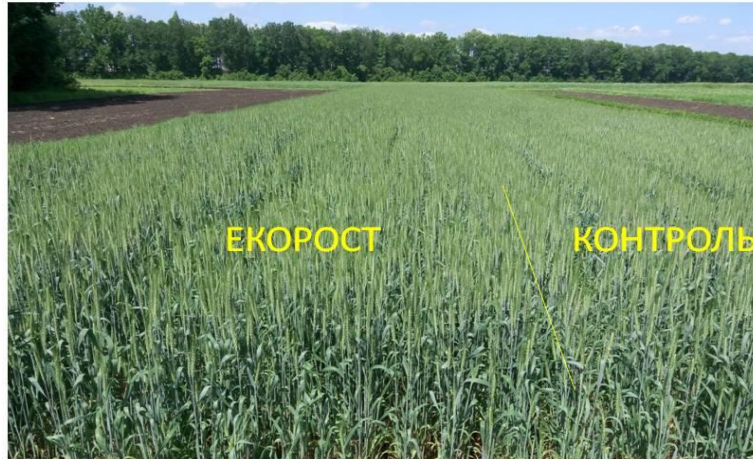


Рис.13 Посіви озимої пшениці на варіанті «Екорост»



Рис.14 Рослини озимої пшениці на варіантах: Контроль і Екорост



Рис. 15 Загальний вигляд посівів озимої пшениці у фазу колосіння



Рис. 16 Загальний вигляд посівів озимої пшениці у фазу наливу зерна

9. Емісія CO₂ із ґрунту у посівах сільськогосподарських культур,
ррм

Технологія	Пшениця озима	Соя
Традиційна	437	530
«ЕКОРОСТ»	651	671

10. Ефективність технології «ЕКОРОСТ» при вирощуванні пшениці озимої
на дослідному полі ХНАУ ім. В. В. Докучаєва

Технологія	Урожайність, т/га	Приріст урожаю, т/га
Традиційна	4,84	
«ЕКОРОСТ»	5,23	0,39

У таблиці 10 наведено дані з емісії CO₂ із ґрунту. Так, на варіанті із традиційною технологією вирощування озимої пшениці вміст CO₂ у приземному шарі ґрунту становив 437 ррм, на варіанті із технологією «ЕКОРОСТ» –651ррм. Аналогічні закономірності спостерігалися і у посівах сої.

Що стосується урожайності озимої пшениці, то у 2019 р. при традиційній технології отримано 4,84 т/га, при застосуванні технології «ЕКОРОСТ» – 5,23 т/га. Приріст урожаю становив 0,39т/га.

5. ФІЗІОЛОГІЧНО АКТИВНІ КОМПОНЕНТИ МІКРОДОБРІВ (ХЕЛАТОУТВОРЮЮЧІ АГЕНТИ СИНТЕТИЧНОГО І ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ, ФІТОГОРМОНИ, КАРБОНОВІ КИСЛОТИ, ГУМІНОВІ КИСЛОТИ, АНТИСТРЕСАНТИ)

Стосовно бакових сумішей, що використовують у посівах сільськогосподарських культур нерідко використовують термін фізіологічно активні домішки. Проте питання, що є головним компонентом, а що домішкою у баковій суміші мікродобриво – фунгіцид залишається відкритим. Не завжди домішки до мікродобрив проявляють фізіологічну активність, наприклад, ПАР, стабілізатори, піногасники. У зв'язку з цим по відношенню до бакових сумішей замість «домішки» нами використано термін «компоненти».

Розгляд фізіологічно активних компонентів розчинів мікродобрив розпочнемо із **хелатоутворюючих агентів** оскільки при виробництві мікродобрив повної хелатизації мікроелементів досягти не вдається і певна частка їх може бути присутньою у баковій суміші.

Нагадаємо, що використання комплексоутворювачів дозволило значно підвищити ефективність використання мікроелементів. При взаємодії останніх з комплексонатами утворюються хелатні сполуки, які легко проходять через кутикулу і клітинні мембрани, не утворюють важкорозчинних сполук у ґрунті (у випадках обробки насіння), не втрачають рухомість у широкому інтервалі рН і не призводить до опіків рослин. Серед комплексоутворювачів найпоширенішими є етилендіамінтетраацетатна (ЕДТА), диетилентріамінпентаацетатна (ДТПА), імінодіацетатна (ІДА), імінодибурштинова (ІДБ), оксиетилендендифосфонова (ОЕДФ), нітрилтриметиленфосфонова (НТФ), лігнінполікарбоксилова (ЛПК), етилендіаміндигідрокситетраметилфенілацетатна (ЕДДГМА) та інші органічні кислоти. На сьогодні хімічні компанії використовують різні хелатуючі агенти, що впливає на ступінь засвоєння мікроелементів рослиною і вартість мікродобрив. Вітчизняні виробники виробляють хелати Fe, Mn, Zn, Cu, Co на основі ЕДТА, які стійкі за умов рН менше 8. З подальшим підвищенням рН вони піддаються гідролізу та мікробіологічному розкладу. При цьому вказані

хелати мають відносно невелику вартість. ДТПА широко використовується у якості комплексоутворювача для Fe, але ефективно діє лише в інтервалі рН 2-7. Універсальним комплексоутворювачем (у тому числі для Mo і B) є оксиетилендендифосфонова кислота, яка дозволяє одержувати стабільні індивідуальні хелати металів та їх композиції за рН 4,5-11. До речі хелати на основі ОЕДФ є стійкими до дії мікроорганізмів ґрунту. Одним із недоліків вказаних комплексонатів є чутливість їх до дії солей кальцію, який легко заміщує катіони заліза, міді та цинку. До недоліків хелатної форми мікроелементів можна віднести:

- ✓ високу їх вартість;
- ✓ використання у посівах сільськогосподарських культур з метою коригування мінерального живлення рослин, що не забезпечує бездефіцитного балансу мікроелементів у ґрунті;
- ✓ обмежений інтервал рН для окремих хелатів, що знижує їх ефективність у ґрунтах із слаболужною реакцією.

Серед переваг слід виділити:

- ✓ високу ефективність;
- ✓ менші витрати мікроелементів порівняно з мінеральними солями;
- ✓ практично відсутнє поглинання ґрунтом;
- ✓ можливість змішування із засобами захисту рослин.

Фітогормони. До останніх відносять ауксини, цитокініни, гіберелову і абсцизову кислоту та етилен.

Ауксини це речовини, що синтезуються у рослинах у малих кількостях і мають високу фізіологічну активність. Перш за все вони впливають на процеси обміну речовин, що лежать в основі росту й розвитку. Найбільш вивченим ауксином є гетероауксин (β - індолилоцтова кислота). Синтетичний гетероауксин використовують для посилення коренеутворення у деревних порід, запобіганню опаданню зав'язей і плодів.

Дослідженню фізіологічної дії ауксинів присвячені праці українського ботаніка М.Г. Холодного. Вважається, що ауксини регулюють клітинний поділ, забезпечують апікальне домінування, сприяють утворенню бульбочок на коренях бобових культур. За низького вмісту ауксину ріст рослин призупиняється, спостерігається опадання плодів і зав'язів.

Цитокініни разом з ауксинами є ключовим чинником поділу і диференціації клітин. Цитокініни сприяють синтезу нової ДНК і контролюють S- стадію клітинного поділу. Вони виступають складовою частиною сигнальної системи. Низький вміст цитокініну в рослині призводить до підвищення рівня абсцизової кислоти. Багато у чому цитокініни є схожими з ауксинами. Проте ауксини синтезуються в апексі пагонів, цитокініни виступають біохімічним маркером кінчика кореня. Ауксини транспортуються по рослині зверху вниз, цитокініни, навпаки, знизу догори.

Гібереліни являють собою клас речовин подібних до органічних кислот. Вони стимулюють ріст і розвиток рослин, сприяють проростанню насіння, подавляють дію абсцизової кислоти. За своєю хімічною природою гібереліни широко використовують у сільському господарстві. Так дія багатьох ретардантів базується на блокуванні тих чи інших стадій біосинтезу гіберелінів у рослинах. Обробка гіберелінами сприяє отриманню партенокарпічних плодів. Гібереліни використовують для підвищення виходу волокна із льону і конопель, а також для збільшення вегетативної маси кормових культур.

Абсцизова кислота зупиняє ріст рослин і відповідає за старіння. За стресових умов вона швидко переміщується від коренів до пагонів, закриває продихи, знижує рівень ауксину, вповільнює клітинний поділ, викликає період спокою.

Етилен - газ, що виробляється у клітинах для регуляції руху гормонів. У рослинах виділяють етилен двох типів. Перший контролює переміщення у межах рослини ауксину. Він запускає процес дозрівання, цвітіння, формування фруктів і природнього старіння рослин. Так званий «стресовий етилен» виробляється у стресових умовах як сигнал для синтезу в рослині захисних

білків, що пом'якшують негативну дію стресора. Надлишок етилену призводить до передчасного старіння та відмирання рослин.

Карбонові кислоти. Органічні сполуки, що містять одну або декілька карбоксильних груп. Найпростішим представником виступає мурашина кислота. У залежності від вмісту карбоксильних груп виділяють одноосновні (оцтова, бензойна), двоосновні (щавлева, малінова, фталева) та багатоосновні (лимонна кислота) карбонові кислоти. У сільському господарстві відомі як природні стимулятори – адаптогени. Вони приймають участь у найважливіших енергетичних перетвореннях рослинного організму, підсилюють постачання кисню в тканини, сприяють синтезу основної енергетичної речовини АТФ – аденозинтрифосфату. Регулююча енергетичний обмін дія карбонових кислот проявляється вже за дуже низьких концентрацій (0,002%).

Завдяки своєму природньому походженню карбонові кислоти підлягають швидкому метаболізму в рослині та надають препарату біостимулюючу дію. Це призводить до інтенсивного проростання насіння й активізації зростання органів рослин, а також покращення засвоєння макро- та мікроелементів з ґрунту.

Гумінові кислоти проявляють фізіологічну активність; у невеликій кількості вони є стимуляторами росту і розвитку рослин, а у підвищених концентраціях інгібіторами. Під впливом цих речовин підвищується проникність мікроелементів крізь клітинні мембрани що забезпечує покращення засвоєння їх рослиною з подальшим збільшенням активності багатьох ферментів. Що в свою чергу збільшує синтез білків і вуглеводів. Завдяки таким властивостям гумінових кислот підвищується засвоєння основних елементів живлення (N, P, K), збільшується вміст хлорофілу, покращується продуктивність фотосинтезу і транспірації.

6. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗ ДОБРИВ ЇХ ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

Установлення доз мінеральних добрив є найбільш складним і важливим питанням. Переважна більшість агрохімічних досліджень так чи інакше пов'язана саме з цим питанням. Без перебільшення можна зазначити, що визначення оптимальних доз добрив узагальнює всі досягнення агрохімічної науки. Отже, поняття «оптимальна доза добрив» не є чимось завершеним, вона постійно уточнюється, коригується відповідно до тих умов, у яких її планується використовувати. Вона може бути оптимальною з погляду отримання найвищого рівня урожайності, максимального прибутку, забезпечення бездефіцитного балансу гумусу і NPK, отримання високоякісної продукції.

На сьогодні відома велика кількість методів з установлення оптимальних доз добрив. Умовно їх поділяють на чотири групи.

1. Методи, які використовують результати польових дослідів з добривами.
2. Балансово-розрахункові методи, які базуються на забезпеченні виносу урожаєм головних елементів живлення за допомогою добрив.
3. Комплексні методи, що враховують крім потреби рослин у головних елементах живлення ще й інші фактори урожайності.
4. Економіко-математичні методи, засновані на визначенні норм добрив за рівняннями множинних регресій.

Метод використання результатів польового дослідження є найпростішим і найбільш дослідженим. Розробка його належить таким видатним вченим, як Д.М. Прянишников, О.В. Соколов та П.Г. Найдин.

Польовий дослід безпосередньо вказує на кількість і співвідношення мінеральних добрив для отримання запланованої урожайності. Проте значна кількість досліджень довела, що навіть в умовах, коли дослід закладався на одному й тому ж полі, або розташованому поруч полі, норми добрив, перенесені у виробничі умови, не забезпечували отримання ідентичної з дослідом урожайності. За звичай, залежно від культури землеробства, вона була нижчою на 20 – 50 %.

Установлення норм добрив за результатами одиничного польового дослідження в умовах господарства. У разі прямого використання у господарстві результатів польового дослідження, який проводився на його території, коригують норми добрив на клас ґрунту. Якщо клас ґрунту поля відрізняється від класу ґрунту дослідної ділянки на одну або дві одиниці, то норми фосфорних і калійних добрив змінюють на ± 25 і ± 50 % відповідно, а норми азотних – на ± 10 або ± 20 %. При цьому за відсутності даних щодо забезпечення рослин азотом коригування норм азотних добрив на середніх і важких за механічним складом ґрунтах проводять за вмістом фосфору, а на легких ґрунтах – за вмістом калію. Такий метод є економічно невиправданим.

Установлення норм добрив за результатами польових дослідів, проведених у типових для цієї зони умовах ще називається методом

рекомендацій з урахуванням забезпеченості рослин поживними речовинами ґрунту, або методом використання результатів польового дослідження і агрохімічних картограм. У сучасній практиці землеробства цей метод застосовується найбільш широко і полягає у тому, що в декількох типових для цієї зони місцях на основних типах ґрунтів науково-дослідні установи закладають польові дослідження (переважно за схемами Географічної мережі дослідів з добривами) з вивчення ефективності норм добрив. При цьому в дослідженнях застосовують агротехніку, що є загальноприйнятою для цієї зони і вирощують районовані й перспективні сорти сільськогосподарських культур.

Отримані результати польових дослідів математично обробляють, узагальнюють, а потім рекомендують для конкретних умов (зона, підзона, генетичний тип ґрунту, його механічний склад, умови зволоження, сільськогосподарська культура і рівень її урожайності) середні дози добрив.

Рекомендовані раніше норми добрив були розраховані на отримання урожаю: озимих зернових – 40–45 ц/га, кукурудзи на зерно – 40–60 ц/га, кукурудзи на силос – 350–400 ц/га, коренеплодів цукрових буряків – 400–500 ц/га, гороху 30–35 ц/га, ярових зернових 30–35 ц/га, соняшнику – 20–25 ц/га. Далі, використовуючи агрохімічні картограми ґрунтів господарства і таблицю поправкових коефіцієнтів, застосовували поправки до середніх рекомендованих норм добрив на забезпеченість рослин поживними елементами ґрунту. Звичайно, що такі рекомендації на сьогодні є застарілими.

Разом з визначенням норм добрива численні польові дослідження сприяли виявленню залежності урожаю від норм внесених добрив.

Більшістю експериментальних даних було доведено, що урожайність не зростає пропорційно збільшенню норм добрив, а змінюється експоненціально. Графічно пряма залежність спостерігається лише до певного рівня збільшення норми добрива, за якої досягається найбільша оплата одиниці поживної речовини добрив отримуваною продукцією. Таку норму в агрохімії називають оптимальною, оскільки вона забезпечує отримання високого врожаю гарної якості при максимально чистому доході з одиниці площі. Подальше нарощування норми добрив супроводжується збільшенням урожайності, але окупність одиниці поживної речовини добрив знижується. Звідси виникло поняття *раціональної норми добрива*, яка забезпечує отримання якомога більшого обсягу сільськогосподарської продукції з одиниці площі задовільної і гарної якості. Звичайно, при цьому підвищується родючість ґрунтів і економічний ефект від застосування добрив.

На певному високому рівні норми добрива подальше підвищення кількості добрив вже не забезпечує підвищення урожайності. Така норма добрив має назву *граничної*, оскільки забезпечує отримання максимально можливої урожайності припустимої якості за умови як мінімум самоокупності добрив.

У контексті викладеного доречно навести модель визначення економічнообґрунтованих (оптимальних доз добрив) за моделлю М.В. Лісового (рис.17).

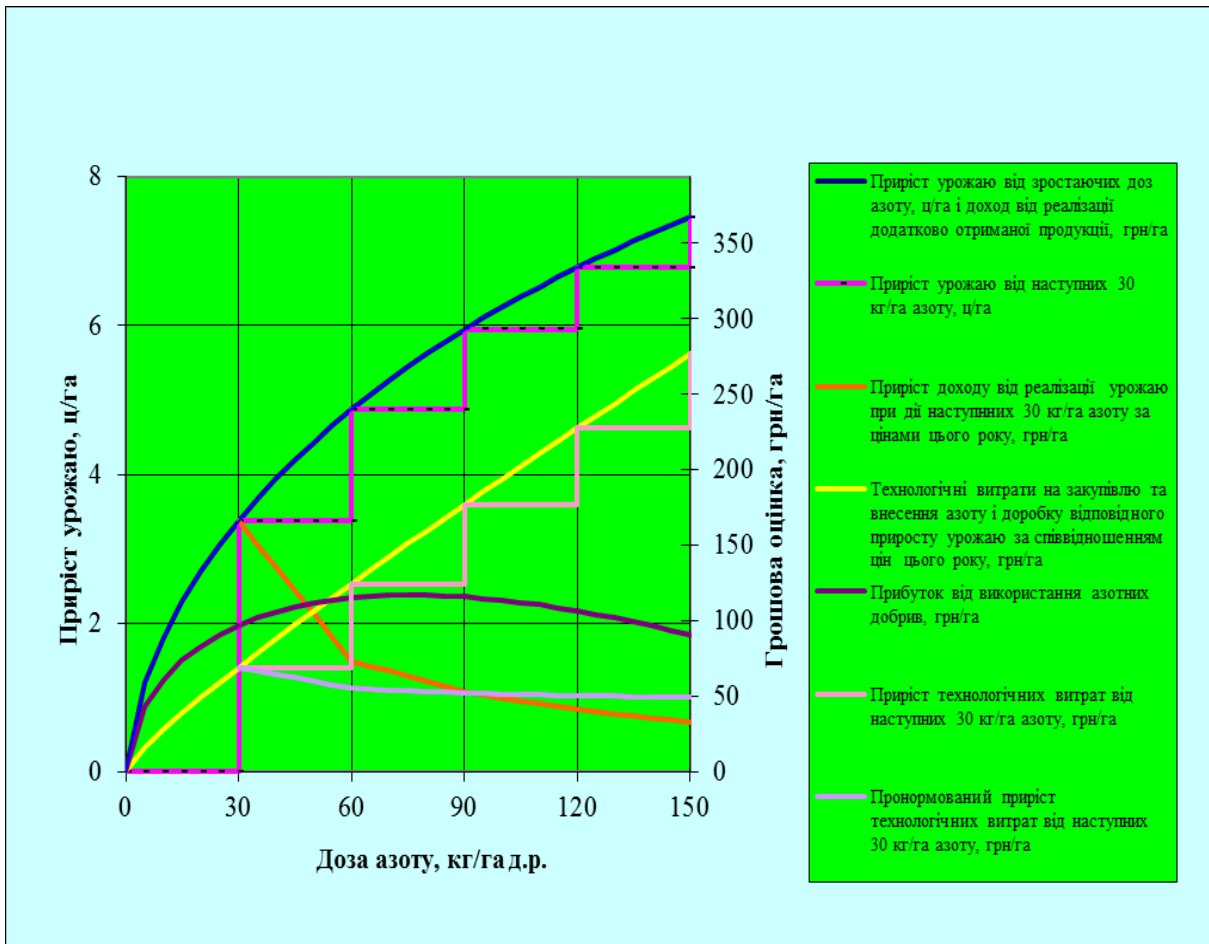


Рис. 17 Економічна ефективність зростаючих доз азотних добрив під озиму пшеницю на дерново-підзолистих ґрунтах за ціновими умовами 2004 р. Оптимальна доза знаходиться на перетині червоної та жовтої лінії

Зміна співвідношення цін на добрива і зерно озимої пшениці призводить до зміни величини оптимальної дози (рис. 18).

Вказана модель визначення доз добрив у першому наближенні дозволяє вирішувати виробничі задачі.

Зауважимо, що оптимальні норми добрив слід застосовувати в умовах обмеженої їх кількості, адже господарству вигідніше вносити менші норми добрив на більшій площі й отримувати при цьому більший валовий урожай, аніж застосувати більш високі їх норми на меншій площі.

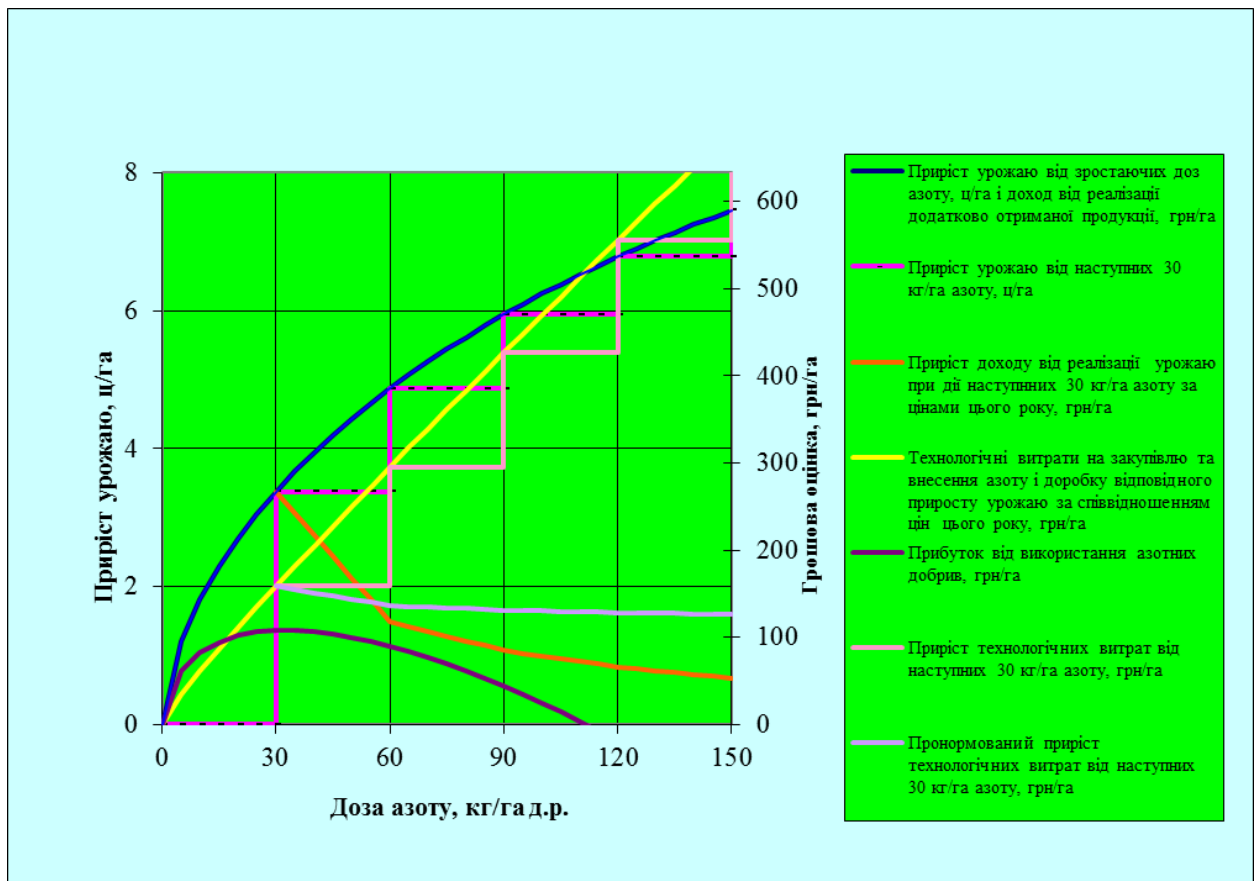


Рис. 18 Економічна ефективність зростаючих доз азотних добрив під озиму пшеницю на дерново-підзолистих ґрунтах за ціновими умовами 2009 р.

Використання результатів польових дослідів з добривами для визначення за нормативами витрат потреби у мінеральних добривах. Зауважимо, що нормативи витрат – це та кількість кілограмів поживних речовин мінеральних добрив, яку необхідно витратити для отримання 1 т прибавки урожаю або 1 т загальної урожайності гарної якості.

Нормативи витрат визначають окремо за азотними, фосфорними і калійними добривами. Зворотною величиною до нормативу витрат на отримання 1 т прибавки урожаю є нормативи прибавки урожайності, що являють собою кількість центнерів або кілограмів основної продукції сільськогосподарських культур високої якості, яку

отримують додатково при внесенні 1 ц (кг) поживних речовин мінеральних добрив з оптимальним їх співвідношенням.

Виражаються нормативи прибавки урожайності у кілограмах (центнерах) основної продукції відповідно на 1 кг (ц) суми головних елементів живлення. Фактично це нормативи оплати одиниці маси головних елементів живлення добрив (у сумі) основною продукцією сільськогосподарських культур.

Нормативи розробляють для районованих і перспективних сортів сільськогосподарських культур за основними типами ґрунтів або природно-сільськогосподарської зони. Розробка нормативів для останньої здійснюється з використанням експериментального матеріалу короткострокових і тривалих польових дослідів з дії зростаючих норм мінеральних добрив на урожайність і якість продукції.

Балансово-розрахункові методи устанавлення норм добрив.
Слід зазначити, що методи устанавлення норм добрив за результатами польових дослідів є неточними. Це пояснюється насамперед наступним. По-перше, під час визначення оптимальних норм і співвідношень добрив закладаються досліді з великою кількістю варіантів, на що не може не впливати строкатість родючості ґрунтів. По-друге, поправкові коефіцієнти, які застосовуються при цьому, мають загальний характер, оскільки не повністю обґрунтовані експериментально. І, нарешті, по-третє, через постійне запровадження новітніх технологій у землеробстві, використання нових сортів і застосування нових форм добрив розвиток польового дослідів здійснюється значно повільніше ніж виробництво, тому рекомендації

втрачають актуальність і мають певною мірою лише орієнтовний характер. Зазначені недоліки виникають і під час планування результатів використання добрив, оскільки метод польового дослідження не дозволяє орієнтуватися на одержання конкретної величини приросту врожаю.

Зазначене і обумовило пошук більш точних і оперативних методів установлення норм добрив. Так виникли балансово-розрахункові методи, якими у своїх розрахунках широко користувалися такі вчені аграрники, як П.О. Власюк, В.С. Денисьєвський, О.М. Надєждін, І.І. Канівець, А.Л. Маслова, І.Л. Колоша.

Балансово-розрахункові методи умовно поділяють на дві групи:

- 1) розрахунок норм добрив на запланований урожай;
- 2) розрахунок норм добрив для отримання запланованого приросту врожаю.

За основу в балансово-розрахункових методах узяті показники виносу поживних речовин з ґрунту і коефіцієнти використання поживних речовин з ґрунту та добрив.

У табл. 11 нами визначено норми добрив для отримання всього запланованого врожаю (49,6 ц/га). При цьому бралися до уваги особливості задоволення потреб рослин як за рахунок запасів рухомих поживних речовин у орному шарі ґрунту, так і за рахунок післядії мінеральних добрив, унесених під попередник (у нашому прикладі – горох). Для визначення вмісту рухомих форм азоту, фосфору і калію у ґрунті нами були взяті довідкові величини вмісту їх у мг на 100 г

грунту (азоту – 7,6 мг/100 г, фосфору – 8,1 мг/100 г і калію – 10,5 мг/100 г ґрунту). Знаючи глибину орного шару і щільність ґрунту, неважко розрахувати масу орного шару у кілограмах і через пропорцію визначити скільки кілограмів поживної речовини міститься у орному шарі. Проведення нескладних розрахунків указує на потребу 202,4 кг/га азоту, 158,3 кг/га фосфору і 178,3 кг/га калію.

Далі нами визначено норми добрив для отримання запланованого приросту врожаю порівняно з середнім урожаєм без добрив. Останній визначався на рівні середнього урожаю, отриманого у навчально-дослідному господарстві «Комуніст» Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва (34 ц/га), середнього урожаю визначеного за балом бонітету ґрунту (28,6 ц/га) і середнього урожаю визначеного за методикою П.О. Мосіюка на підставі вмісту рухомих форм фосфору і калію в ґрунті.

Отже, за першим варіантом, щоб забезпечити приріст урожаю 15 ц/га (49,6 ц/га – 34 ц/га) слід внести 98,8 кг азоту, 80,8 кг фосфору і 77,1 кг калію. За другим варіантом, щоб забезпечити приріст урожаю 21 ц/га (49,6 ц/га -28,6ц/га) слід внести 133,4 кг азоту, 110,5 кг фосфору і 105,2 кг калію. За третім варіантом необхідно забезпечити приріст урожаю 10,7 ц/га за рахунок 67,5 кг азоту, 53,9 кг фосфору і 51,6 кг калію.

11. Розрахунок норм добрив для одержання запрограмованих урожаїв

№ п/п	Показники	Культура		
		N	P	K
1.	Запланований урожай, ц/га	49,6	–	–
2.	Винос елементів живлення запланованим урожаєм, кг/ц	3,2	1,1	2,6
3.	Винос елементів живлення запланованим урожаєм, кг/га	158,7	54,6	129,0
4.	Вміст елементів живлення в орному шарі ґрунту мг/100 г ґрунту	7,6	8,1	10,5
5.	Запас елементів живлення в орному шарі ґрунту, кг/га	228,0	243,0	315,0
6.	Коефіцієнт використання елементів живлення з ґрунту, %	25,0	9,0	12,0
7.	Буде використано елементів живлення з ґрунту, кг/га	57,0	21,9	37,8
8.	Під попередник внесено органічних добрив, т/га	–	–	–
9.	Внесено з органічними добривами елементів живлення, кг/га	–	–	–
10.	Коефіцієнт використання елементів живлення з органічних добрив на другий рік, %	–	–	–
11.	Буде використано елементів живлення з органічних добрив на другий рік, кг/га	–	–	–
12.	Під попередник внесено з мінеральними добривами елементів живлення, кг/га	10,0	10,0	10,0
13.	Коефіцієнт використання елементів живлення з мінеральних добрив на другий рік, %	5,0	10,0	20,0
14.	Буде використано елементів живлення з мінеральних добрив на другий рік, кг/га	0,5	1,0	2,0
15.	Буде використано елементів живлення з ґрунту та за рахунок післядії добрив, кг/га	57,5	22,9	39,8
16.	Під культуру внесено органічних добрив, т/га	–	–	–
17.	Внесено з органічними добривами елементів живлення, кг/га	–	–	–
18.	Коефіцієнт використання елементів живлення з органічних добрив у перший рік, %	–	–	–
19.	Буде використано елементів живлення і органічних добрив у перший рік, кг/га	–	–	–
20.	Буде використано елементів живлення з ґрунту за рахунок післядії добрив та внесених органічних добрив, кг/га	57,5	22,9	39,8
21.	Необхідно збільшити кількість елементів живлення за рахунок мінеральних добрив, кг/га	101,2	31,7	89,2
22.	Коефіцієнт використання елементів живлення з мінеральних добрив в перший рік, %	50,0	20,0	50,0
23.	Треба внести елементів живлення з мінеральними добривами, кг/га	202,4	158,3	178,3

Таким чином, використання різних методик для визначення оптимальних доз добрив (у разі однакових рівнів запланованої урожайності) призводить до різних значень, що не може задовольняти виробництво.

Щодо перспективи застосування балансово-розрахункових методів варто сказати, що вони не повністю відповідають потребам науки і практики, оскільки базуються на однаковій витраті поживних речовин із ґрунту і добрив на створення одиниці маси урожайності при різних її рівнях. Насправді має місце збільшення витрат поживних речовин на кожний наступний центнер прибавки урожайності.

Визначення норм добрив з використанням нормативів балансу поживних речовин за сівозміну. Цей метод можна вважати різновидом балансово-розрахункового, оскільки у його основу покладено облік виносу поживних речовин сільськогосподарськими культурами сівозміни та його відшкодування за допомогою добрив. Метод передбачає, що для підтримки у ґрунті попереднього рівня азотного, фосфорного і калійного живлення рослин необхідно забезпечити 100 відсоткове повернення виносу урожаєм фосфору і калію і 120–130 відсоткове повернення виносу азоту. За низького рівня вмісту фосфору і калію необхідно не тільки зберегти попередній рівень родючості ґрунту, але й збільшити його. Для досягнення поставленої мети необхідно забезпечити 170–200 відсоткове повернення фосфору і 130–150 відсоткове повернення калію.

Особливістю методу є також і те, що у ньому не враховуються коефіцієнти використання рослинами поживних речовин з ґрунту і добрив і за його допомогою можна активно і цілеспрямовано регулювати родючість ґрунтів.

Установлення норм добрив з урахуванням бонітету ґрунту і окупності добрив урожайністю сільськогосподарських культур.

Цей метод є типовим прикладом комплексного підходу у разі встановлення норм добрив і застосовується у господарствах, де проведена якісна оцінка земель. Відомо декілька різновидів комплексного підходу, проте сутність їх залишається однаковою і зводиться до того, що спочатку визначається ефективна родючість ґрунту шляхом добутку середньозваженого бала поля на ціну бала, виражену в урожайності культури.

Ціна бала ґрунту – це таблична інформація, яку розраховують діленням середньої багаторічної урожайності, отриманої на неудобреному фоні, на бонітет ґрунту в балах. Потім визначають ту частину урожайності, яку необхідно отримати за рахунок добрив. Ураховуючи норму гною під цю культуру і його окупність урожайністю, розраховують прибавку, яку слід забезпечити від внесення мінеральних добрив.

У подальшому визначення норм мінеральних добрив здійснюється будь-яким з розглянутих методів, проте найчастіше його проводять за окупністю мінеральних добрив урожайністю.

Визначення норм добрив, як і у балансово-розрахункових методах, здійснюють на підставі однакової витрати поживних елементів добрив на утворення прибавки урожаю різних її рівнів.

Насправді має місце послідовне збільшення витрат поживних елементів на створення зростаючих прибоавок.

Економіко-математичні методи встановлення доз добрив.

Ще на початку двадцятого століття професор Кенігсберзького університету Мітчерліх (1907, 1921, 1927) математично обробив дані Вольфа (1870) з вивчення дії азоту у водних культурах і запропонував формулу залежності урожаю від факторів росту:

$$\text{Log } (A-y) = \log A - Cx,$$

де A – максимально можлива урожайність у даних умовах, ц/га; y – урожайність за внесеної норми добрива, ц/га, x – норма добрива, кг/га; C – коефіцієнт пропорціональності, який встановлює залежність урожаю від кількості поживних речовин, що доступні рослині.

Власне це і була перша спроба виразити урожай як функцію дії окремих факторів. Щоб використати наведену формулу на виробництві, необхідно мати дані польового дослід з щонайменше із двома варіантами: без внесення добрива і за внесення будь-якої норми добрива. Щоправда, формула має лише приблизне значення, оскільки охоплює процес формування врожаю однобічно і схематично.

Заслуговує на увагу модель визначення доз добрив П.О.Мосіюка П.О. Мосіюк П.О. [5, 6, 7, 8, 9] у 1986 р. розробив і запропонував метод встановлення норм добрив, заснований на використанні кількісно оцінених закономірностей (функцій) зміни врожайності від рівня вмісту поживних речовин у ґрунті і норми їх

внесення з добривами. Ці функціональні залежності були отримані у ході математичної обробки експериментальних даних, інформації Державної агрохімічної служби, а також звітності сільськогосподарських підприємств.

Сутність методу полягає в тому, що розрахунок оптимальної потреби в добривах розпочинають з детального аналізу ґрунтових і організаційно-господарських умов. Зокрема слід з'ясувати культуру, сорт, агровиробниче групування ґрунтів поля, середньозважений вміст рухомих поживних речовин і методи їх визначення, особливості попередника (гарний, середній, поганий); культуру землеробства (висока, середня, низька), передбачувані погодні умови (сприятливі, середні, несприятливі). Вміст рухомих поживних речовин, установлений за різними методами приводять до метода Чирікова за допомогою коефіцієнтів (табл. 12).

Далі встановлюють частину запланованого урожаю для формування якої достатньо елементів живлення (фосфору і калію), що містяться у ґрунті при середніх умовах вирощування культури. Для цього використовують кількісні залежності зміни урожаю у залежності від вмісту в ґрунті фосфору і калію за наступним рівнянням регресії:

$$y = bx + c,$$

де y – частина запланованого урожаю, формування якої забезпечується відповідним вмістом рухомого поживного елемента в ґрунті, ц/га; x – вміст рухомого фосфору або калію, мг/100 г ґрунту у перерахунку на метод Чирікова; b і c – коефіцієнти функції.

12. Коефіцієнти перерахунку вмісту в ґрунті рухомих елементів
живлення до єдиного методу Чирікова

Метод визначення	Коефіцієнт перерахунку	
	P ₂ O ₅	K ₂ O
Кирсанова	0,90	0,90
Мачигина	2,30	0,30
Чирікова	1,00	1,00
Егнера-Рима	0,20	0,63
Маслової	–	0,63
Труорга	0,90	0,90
Бровкіної	–	0,63

Отримані результати за кожним з елементів у залежності від погодних і організаційно-господарських умов коригують на коефіцієнти, наведені у табл. 13.

До цієї функції слід також увести і поправковий коефіцієнт на сортові особливості сільськогосподарських культур з більш високими порівняно з районованими потенційними можливостями використання родючості ґрунту (d), якщо висівають перспективний сорт. Розраховується коефіцієнт (d) діленням результатів узагальнення і порівняння урожаю перспективного сорту (без добрив) на урожай районованого. Звідси функція матиме такий вигляд:

$$y=k(bx+c)$$

13. Поправочні коефіцієнти до функцій зміни урожаю сільськогосподарських культур залежно від вмісту елементів живлення у ґрунті і погодних умов

Погодні умови								
Сприятливі			Середні багаторічні			Несприятливі		
Попередник								
Гарний	Задовільний	Поганий	Гарний	Задовільний	Поганий	Гарний	Задовільний	Поганий
Високий рівень культури землеробства								
1,45	1,32	1,19	1,21	1,10	0,99	0,97	0,83	0,79
Середній рівень культури землеробства								
1,32	1,20	1,08	1,10	1,00	0,90	0,88	0,80	0,72
Низький рівень культури землеробства								
1,19	1,08	0,97	0,99	0,90	0,81	0,79	0,72	0,65

Після врахування сортових особливостей культур функція набуває вигляду:

$$y=kd(bx+c) \quad (3.16).$$

Потім за різницею між плановою і отриманою за рахунок природної родючості урожайністю знаходять ту її частину, яку необхідно забезпечити за рахунок внесення добрив. Норму добрив визначають не на основі усереднених нормативів, а на основі кількісно оцінених закономірностей їх витрати на формування урожаю. При цьому у функціях враховується закономірність наступного збільшення витрат елементів живлення добрив на створення зростаючого приросту врожайності. При цьому абсолютним розміром приросту врожайності повинен бути такий,

який не вище економічно доцільного, а розрахована на нього норма поживного елемента не забруднювала б біосферу.

Закономірності (функції) витрат азоту, фосфору і калію добрив на створення приросту врожаю мають вигляд:

$$N=qy+\lambda y^2 \quad ,$$

де N – норма поживного елемента, яка витрачається на забезпечення приросту врожайності при середніх умовах, кг/га;

y – приріст урожайності, який необхідно забезпечити за рахунок добрив, ц/га;

q, λ – числові коефіцієнти функції.

Якщо планування потреби в добривах здійснюється в умовах, що відхиляються від середніх, то до них вводять поправкові коефіцієнти. Тоді формула розрахунку потреби в поживних елементах набуває такого вигляду:

$$N=\Delta(qy+\lambda y^2) \quad (3.18).$$

В.О. Казаков удосконалив модель, запропоновану П.О. Мосіюком, увівши до неї розрахунок на персональному комп'ютері оптимальної дози добрив, яка забезпечує відповідний рівень урожайності озимої пшениці при найвищому умовному чистому прибутку від застосування добрив. І.В. Філоном розроблено алгоритм і проведено розрахунки щодо визначення оптимальних рівнів урожайності озимої пшениці і доз мінеральних добрив для різних співвідношень цін на мінеральні добрива та

зерно озимої пшениці. Таку програму розрахунку доз добрив можна отримати на кафедрі агрохімії ХНАУ ім В.В. Докучаєва. На сьогодні все більша кількість аграріїв наголошує, що для них важливіше визначати не стільки «оптимальні», скільки економічно обгрунтовані дози. Доза добрив може бути розрахована на 8–10 т зерна. Проте запаси продуктивної вологи не дозволять вийти на вказаний рівень урожайності і господарство матиме збитки.

Існують й інші економіко-математичні методи встановлення доз добрив. Для фахівців агрохімсервісу потрібно знати основні схеми дослідів з добривами і засобами захисту рослин, методику закладки таких дослідів і демонстраційних полів.

7. ФІЗИОЛОГІЯ СТРЕСУ РОСЛИН І ПРАКТИЧНІ ЗАХОДИ ПО УСУНЕННЮ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА УРОЖАЙ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ

Глобальні зміни кліматичних умов і масове використання агрохімікатів потребують від агрономів елементарних знань щодо стійкості рослин до несприятливих умов навколишнього середовища та ефективного застосування антистресантів. Під стресом розуміють сукупність неспецифічних змін, що виникають у рослинах під впливом несприятливих факторів (стресорів). Розрізняють абіотичні (високі і низькі температури, посуха, перезволоження, механічні пошкодження, гербіциди, засолення, інтенсивне освітлення, важкі метали) і біотичні стресори (патогенна мікрофлора, шкідники). Сукупність морфологічних, фізіологічних і хімічних пристосувальних реакцій отримали загальну назву адаптація рослин. До відомих на сьогодні загальних механізмів захисту рослин від впливу стресорів можна віднести: активацію іонних транспортерів і антиоксидантних систем, синтез осмопротекторів, перебудову факторів сигнальної трансдукції і систем репарації білків, адаптацію на рівні генетичних програм.

Згідно уніфікованої концепції стресу Г. Сельє у відповідях рослин на стрес виділяють чотири фази. *Фаза тривоги* (початок стресу). Вона проявляється у відхиленні від функціональної норми. *Фаза відновлення* включає в себе процеси адаптації, репарації і досягнення підвищеної стійкості. *Фаза виснаження* настає тоді, коли вплив стресора перевищує адаптаційні можливості. *Фаза*

регенерації розглядається як часткове або повне відновлення після припинення дії стресора.

Стресові реакції передують змінам експресії генів, що забезпечує пристосування рослин до дії стресора. Сукупність пристосувальних реакцій отримала назву аклімація. Остання відбувається за життя організму і не успадковується. Типовим прикладом аклімації є загартування рослин до низьких температур. Не слід ототожнювати термін аклімація і адаптація. Під останньою розуміють спадково закріплену ознаку. Перехід від стресу до пристосувальних реакцій проявляється в експресії генів. Як правило відбувається пригнічення активних генів, які контролюють нормальний ріст і розвиток рослин, активізуються гени стресових білків, які контролюють синтез адаптогенів і протекторів. Адаптивні зміни формують стійкість рослин до дії стрес-факторів. Незважаючи на те, що стійкість рослин є успадкованою ознакою, вона безумовно змінюється у процесі розвитку рослини під дією зовнішніх факторів. Прикладом може бути стан посівів однієї і тієї ж культури на різних мінеральних фонах. Рослин, які у достатній мірі забезпечені поживними елементами краще переносять високі температури і посуху. Це видно навіть неозброєним оком. Стійкість рослин до ряду природних чинників таких як високі і низькі температури, підвищена концентрація ґрунтового розчину, посуха тощо безпосередньо залежить від захисних систем. Розрізняють дві групи таких систем: конститутивні та індуковані. Конститутивні постійно перебувають у активному стані, а індуковані розпочинають свою роботу тільки при дії стрес-фактора. У процесі

еволюції рослини набули механізмів котрі значно посилюють зовнішні сигнали фізичної і хімічної природи. Це призводить до зміни природнього обміну речовин і появи нових сигнальних молекул, які можуть «запускати» нові механізми адаптації. У спрощеному варіанті реакція рослини на дію стресора виглядає так: сигнал від фізичного чи хімічного чинника реєструється рецептором і за допомогою сигнальних систем передається в геном. Внаслідок перепрограмування останнього відбуваються біохімічні зміни (реакції), які обумовлюють адаптацію рослин до нових умов зовнішнього середовища. Стійкість рослин до критичних коливань зовнішніх чинників може змінюватись як під впливом загартування, так і в процесі онтогенезу. Як правило під час проростання насіння стійкість є низькою, при закладанні вегетативних органів вона зростає, а при формуванні генеративних органів знову падає. Найвищою стійкістю до дії зовнішніх чинників рослини володіють під час анабіозу. Про це свідчить висока стійкість насіння до дії різних чинників і навіть високих доз радіації. Звичайно, що стійкість рослин до впливу стрес-факторів обумовлена проявом специфічних і неспецифічних адаптивних реакцій. Специфічні реакції відбуваються у відповідь тільки на дію певного чинника. Неспецифічні адаптивні реакції виникають незалежно від природи чинника. Більшість авторів вважають, що основними механізмами стійкості рослин є неспецифічні реакції. Підтвердженням цьому є перехресне загартування. Наприклад, якщо рослину попередньо нагрівали, то у неї підвищується стійкість до сольового стресу. На користь вказаної гіпотези (про

пріоритетну роль у адаптації неспецифічних реакцій) є й те, що рослини проявляють стійкість й до тих стрес-факторів з якими вони ще не зустрічалися (ксенобіотиків). Існує й протилежна точка зору. Так Генкель (1982) наголошує на те, що реакція відповіді рослин залежить від природи стрес-фактора. Скоріше за все рослини поєднують у своїй відповіді на дію стресорів специфічні та неспецифічні реакції.

Однією з причин неспецифічного реагування клітини на дію стресорів є той факт, що кожен елемент її діє не автономно, а інтегровано до системи у цілому. Інтеграція життєдіяльності обумовлена обмеженою наявністю поліфункціональних ферментів, єдиних проміжних метаболітів, що беруть участь у різних реакціях обміну речовин. Сприятливі умови для координованої взаємодії відповіді на дію стресорів є невелика кількість типів і механізмів реакцій, що відбуваються у рослинах. Велику роль в інтеграції метаболізму відіграє наявність мембран. Більшість ферментів «вмонтовані» в мембрани. У мембранах протікають головні реакції клітинного обміну. На долю мембран приходиться близько половини маси сухих речовин. Мембрани розділяють об'єм клітини на компартменти. Інтеграція останніх здійснюється за допомогою мембран. Не менш важливу роль в інтеграції відіграє цитокелет. Його утворюють мікротрубочки діаметром 20-30 нм, актинові і проміжні філаменти.

Мембрани і цитокелет виконують не тільки структурно-опорну функцію. Не менш важливою є і часова організація метаболізму. Сигнали, що надходять із навколишнього середовища вловлюються

клітиною за допомогою білкових молекул, які вмонтовані в мембрану і безпосередньо контактують як із зовнішнім середовищем, так і з внутрішньою частиною клітини. Вони здатні змінювати свою конформацію і контактувати із G-білками. Останні виступають перетворювачами сигналу і передають його на ферменти сигнальних систем. Під впливом таких ферментів з'являються сигнальні метаболіти, які змінюють активність протеїнкіназ. Протеїнкінази переносять залишок фосфорної кислоти з АТФ на ті чи інші білки. Фосфорилування білків призводить до їх конформації, активації та взаємодії з промоторною ділянкою певного гену. У кінцевому рахунку це призводить до зміни інтенсивності його експресії, а у деяких випадках і до активації непрацюючих генів, або зниження активності працюючих.

Неспецифічність сигнальних систем на першому етапі взаємодії стресора з клітиною може проявлятися специфічно. Наприклад спочатку висока температура, безпосередньо діє на термофільний блок. Порушення у клітинному метаболізмі призводить до появи комплексу неспецифічних змін.

У відповідь на дію абіотичних і біотичних стресорів виникають реакції, які на сьогодні є достатньо відомими. Зокрема, збільшення вмісту у клітинах активних форм кисню, підвищення вмісту іонів кальцію у цитоплазмі, підкислення цитозолу з активацією протонних помп, вихід із нього іонів калію, падіння мембранного потенціалу, посилення катаболізму (руйнування) ліпідів, накопичення низькомолекулярних сполук, посилення синтезу

стресових білків, фітогормонів та гармоноподібних сполук (абсцизової, жасмонової, саліцилової кислоти, етилену), гальмування фотосинтезу і росту. Більшість з вказаних реакцій є доцільними. Вони являють собою первинну ланку захисних реакцій, що забезпечують виживання клітин до того часу, коли спрацюють адаптивні механізми, пов'язані з перепрограмуванням геному.

Із ряду вказаних сигнальних реакцій для експрес-діагностики впливу стресорів і антистресантів мають практичне значення лише окремі. Це пов'язано із наявністю відповідних приладів, які можна було б використовувати агрономам.

Цікавим із цієї точки зору є вихід іонів кальцію у цитозоль. Кількісну реєстрацію вказаного явища можна здійснювати за допомогою портативного іонометра компанії HORIBA.

Раніше Х. Расмуссеном кальцію приписувалася роль вторинного месенджера при проведенні сигналів зовнішнього і внутрішнього середовища. Сучасні дослідження вказують на те, що кальцій виконує роль універсального менеджера клітинних реакцій.

Підвищення концентрації іонів кальцію у цитозолі пов'язано із відкриттям кальцієвих каналів і є однією із ранніх реакцій клітини на вплив стресорів.

До числа реакції клітини на дію стресорів, що легко діагностується є підвищення кислотності цитоплазми. Таку реакцію рослин теж можна безпосередньо реєструвати у виробничих умовах за допомогою приладу EZODO-7200 і спеціального картриджа з «плоским» електродом для визначення рН.

Коротко нагадаємо, що підвищення кислотності, цитоплазми сприяє конформації білків, активізує ряд гідролітичних ферментів.

До числа стресових реакцій, що легко діагностуються є накопичення розчинних вуглеводів. Останні (сахароза, фруктоза) захищають білки від денатурації і підтримують цілісність мембранних структур.

Сприйняття сигналів, що йдуть від стресорів здійснюється шляхом впливу на рецептори плазматичної мембрани. Рецептори запускають внутрішньоклітинні шляхи трансдукції інформації до ядра та інших органел. У кінцевому рахунку це призводить до фізіологічної відповіді клітини. Розрізняють три основних механізми трансмембранної передачі сигналу. Це ліганд-регульований транспорт іонів, лігандрегульовані рецептори і лігандрегульована активація ланцюжка рецептор – G-білок. При цьому прямій активації підлягають стартові ферменти сигнальних систем. Сенсорами сигналу вірогідно виступають протеїнкінази, які фосфорилують – дефосфорилують білки. Такі білки змінюють експресію генів, що призводить до фізіологічної відповіді клітини. Вважається, що у рослинних клітинах існує сім сигнальних систем: аденілатциклазна, MAP – кіназна, кальцієва, фосфатидокислотна, ліпоксигеназна, супероксидсинтазна, NO – синтазна.

Що стосується певних сенсорів, які сприймають вплив абіотичних стресорів, то дані про них у сучасній літературі відсутні. Претендентами на роль сенсорів розглядаються кінази, іонні (кальцієві) канали і окиснювальні комплекси. Існує гіпотеза (Niklas, 2008), яка базується на визначенні основної ролі кальцієвих

каналів у сприйнятті впливу стресорів. Зовнішні фактори можуть безпосередньо впливати на плазматичні мембрани, а це тягне за собою зміни у стані кальцієвих каналів. Вибіркове сприйняття сигналу може здійснюватися шляхом залучення різних типів іонних каналів.

Сприйняття сигналу від абіотичних стресорів можуть здійснювати системи, що беруть участь у генерації активних форм кисню. Існують й інші претенденти на роль сенсорів, проте специфічних сенсорів на сигнал абіотичних стресорів не виявлено. Що стосується біотичних стресорів то сигнал від них сприймається за рахунок специфічних рецепторів білкової природи.

Слісители (речовини, що виділяють патогени) мають вуглеводну, пептидну або ліпідну природу. У зв'язку з цим механізм сприйняття і передачі у геном сигналу від них вивчений більш детально.

Більш змістовний огляд сигнальних систем рослинних клітин наведено у монографічних виданнях (Ю.Є. Колупаєв, 2010, Ю.Є. Колупаєв, Ю.В. Какрпець, 2010).

У задачу фахівців з агрохімсервісу входить розгляд механізмів пошкодження рослин зовнішніми факторами і пошук ефективних засобів захисту. Коротко розглянемо вплив абіотичних стресорів таких як високі і низькі температури, посуха зневоднення, сольовий стрес, важкі метали тощо.

Низькі температури обумовлюють пошкодження рослин на всіх рівнях організації. Зовнішні ознаки пошкодження – в'янення листків, пагонів, зміна забарвлення листків, підсихання кінчиків

листяних пластинок, прискорене старіння рослин, нерівномірне визрівання плодів. При летальному охолодженні спостерігається некроз листяних пластин і відмирання рослин. Низькі температури порушують ультраструктуру клітинних мембран, зменшується оптична щільність цитоплазми, спостерігається конденсація хроматину у ядрі і структурні зміни хлоропластів. Внаслідок низьких температур відбувається підкислення цитоплазми, погіршується робота pomp, нагромаджуються активні форми кисню. Пероксидне окиснення ліпідів веде до порушення проникності мембран. Вважається, що низькі температури призводять до активації кальцієвих каналів і протеїнкіназ. Під дією вказаного стресору спостерігається порушення гормонального статусу рослин. У листках накопичується абсцизова кислота підвищується вміст етилену, зменшується вміст рістактивуючих гормонів (цитокінінів і гіберелінів). На цих основах побудована для фітогормональних антистресантів компанії Stoller. Підвищення холодостійкості рослин можна досягти обробкою екзогенними сполуками (синтетичні аналоги фітогормонів). Перспективним антистресантом вважається використання саліцилової кислоти.

За дії низьких температур пошкодження клітин може наступати внаслідок внутрішньоклітинного льодоутворення. Останнє призводить до летального ушкодження клітинних мембран. При поступовому зниженні температури відбувається позаклітинне утворення льоду. Це один із захисних механізмів виживання рослин взимку. Велике значення в адаптації до низьких температур є накопичення розчинних вуглеводів. Накопичення останніх

відбувається внаслідок гідролізу крохмалю. Другий механізм підвищення концентрації цукрів це активація інвертази і гідроліз сахарози. Існують дані, які засвідчують адаптацію до низьких температур за рахунок ненасичених жирних кислот, зокрема, ліноленової. Серед ліпідних форм, що сприяють стабілізації мембран при низьких температурах мають фосфатидилхолін і дигалатозилдіацилгліцерол. У морозостійких рослин при низьких температурах синтезуються антифризні білки, які запобігають розростанню кристалів льоду до розмірів, при яких відбуваються летальні пошкодження мембран.

Високі температури сьогодні стали звичайним явищем. Зовнішні ефекти, що при цьому проявляються це запал листків (опіки), прискорене старіння, опадання листків, гальмування росту, зниження урожайності. Різні органели і різні процеси, що протікають у клітині мають різну чутливість до високих температур. Досить чутливими до гіпертермії є хлоропласти. Головними причинами ушкоджень при високих температурах є інактивація і денатурація білків. Високі температури негативно впливають і на ліпіди. При цьому змінюється їх в'язкість, а у кінцевому рахунку – функція мембран. У літературі є посилки на вплив високих температур на нуклеїнові кислоти.

Значних змін при високих температурах зазнають фотосинтетичні реакції. Зменшення споживання відновника НАДФН призводить до генерації активних форм кисню і до окиснювальних пошкоджень. Високі температури призводять до

зростання аміаку в клітинах, що викликає токсикоз. Гіпертермія призводить також до інактивації синтезу білку.

У ході еволюції у рослин сформувалися різноманітні механізми захисту від високих температур.

Природа рецептора, за допомогою якого клітина реагує на високі температури поки невідома. Можливо, що гіпертермія впливає на стан мембранних ліпідів і як наслідок на стан мембраннозв'язаних білків. Є думки, що високі температури приводять до зміни активності стартових ферментів сигнальних систем. Не можна виключити і факт безпосереднього впливу температури на стан кальцієвих каналів. Існують експериментальні дані, що вказують на швидке зростання концентрації іонів кальцію у цитоплазмі при підвищенні температури. Посередниками між впливом високих температур і фізіологічною реакцією клітини можуть бути активні форми кисню. Отже, іони кальцію і активні форми кисню вірогідно приймають участь у передачі сигналу. До цього процесу можуть бути залучені фітогормони а також абсцизова і саліцилова кислота та етилен (Hu et al., 2007), головну роль у формуванні стресових і адаптивних реакцій відіграють фітогормони. Більшість із них локалізована у плазматичній мембрані. Під впливом зовнішніх несприятливих умов у рослинах зменшується вміст цитокинінів, гіберелінів і ауксинів. Вміст інгібіторів метаболізму, навпаки зростає. Під впливом високих температур суттєво зростає вміст абсцизової кислоти. Це призводить до інгібування звичайних і активації синтезу стресових білків. Гіпертермія призводить до підвищення вмісту

індолілоцтової кислоти (ІОК). Під впливом останньої перебувають гени причетні до захисних реакцій. Підвищений вміст ІОК в період впливу високих температур може посилювати експресію гена антиоксидантного захисту (Веселов, 2001).

Етилен є типовим гормоном стресу. Зростання концентрації етилену спостерігається при дії чинників різної природи (гербициди, посуха, механічні пошкодження, екстремальні температури тощо). У більшості випадків етилен причасний до запуску запрограмованої загибелі рослинних клітин. У зв'язку із практикою використання антистресантів відмітимо роль низькомолекулярних протекторів. До них належать вільні амінокислоти (пролін), бетаїни, поліаміни, розчинні вуглеводи. Ряд авторів (Ю.Е. Колупаєв, 2010) відмічають здатність цукрів підвищувати стабільність біомембран. Майже всі розчинні вуглеводи виявляють антиоксидантні властивості.

Вміст такої амінокислоти як пролін при дії стресорів збільшується у декілька разів. При цьому він виявляє властивості не тільки осмопротектора, але захищає білково-ліпідні комплекси за рахунок знешкодження гідроксильних радикалів та активних форм кисню. Звідси стає зрозумілою дія мікробіологічного препарату «Екорост», який містить ензими, розчинні вуглеводи та вільні амінокислоти.

Слід зазначити, що накопичення низькомолекулярних протекторів відбувається як за рахунок їх синтезу, так і в наслідок катаболізму. Останній відбувається внаслідок активації гідролітичних ферментів (інвертази, амілази, протеази).

В останні роки посуха стала звичайним явищем. Дослідження механізмів посухостійкості рослин має перш за все практичне значення. Щороку ми недоотримуємо значну частину урожаю за рахунок саме посухи. Вода є унікальною сполукою. Достатньо нагадати, що вміст її у рослинах становить понад 90% сухої маси. Разом із водою до рослин надходять елементи живлення, вона є гарним розчинником (у ній розчиняються полярні органічні сполуки, які мають карбоксильні, гідроксильні і карбонільні групи). Вода входить до складу білкових молекул, бере участь у транспорті речовин, виступає у ролі донора електронів у процесі фотосинтезу, виконує функцію амортизатора при дії механічних чинників, стабілізує температуру рослин у процесі транспірації.

Водний дефіцит проявляється у втраті тургору. Зневоднення приводить до порушення структури біополімерів, передусім білково-ліпідних мембран.

У адаптації рослин до посухи важливу роль відіграє абсцизова кислота. Вона інгібує синтез білків, виконує функцію, пов'язану із закриванням продихів.

Захисними реакціями рослин на дію посухи є накопичення низькомолекулярних сполук: вуглеводів, вільних амінокислот, бетаїнів і поліамінів. Розчинні вуглеводи виступають осмопротекторами. Підвищення осмотичного тиску клітин покращує (підсилює) поглинання води коренями.

З метою підвищення посухостійкості використовують широкий спектр фізіологічно-активних сполук. Це картоліни (синтетичні препарати на зразок цитокінінів), полістимулін К, препарати івін,

метіур. Гарний ефект показала передпосівна обробка насіння саліциловою кислотою, яка є природним індуктором стійкості рослин до різних стресорів.

Одним із абіотичних факторів, що негативно впливають на розвиток рослин є засолення ґрунтів.

Негативний вплив сольового стресу обумовлений зростанням осмотичного тиску розчину і зниженням доступності води. Як правило у засолених ґрунтах міститься значна кількість натрію. Рослини не здатні витримувати концентрацію калію у цитоплазмі клітини вище 100 мМ. Іон натрію вступає антагоністом калію, який приймає участь у синтезі білка і необхідний для процесу фотосинтезу

Зовні сольовий стрес проявляється у вигляді некротичних плям. Далі наступають вторинні пошкодження пов'язані з утворенням активних форм кисню (порушення мембран, структури хлоропластів, руйнування хлорофілу).

Реакцією на дефіцит води є осморегуляція, тобто накопичення осмотично активних речовин у клітинах. Одним із протекторів при дії засолення є амінокислота пролін. Значення проліну для виживання рослин в умовах засолення підтверджено експериментально.

Серед абіотичних стресорів вагоме місце займають важкі метали. До важких металів, що проявляють токсичність відносять: Co, Ni, Cu, Zn, Se, Te, Rb, Ag, Cd, Au, Hg, Pb, Bi, Pt. Як видно у цей список потрапили такі важливі мікроелементів як мідь і цинк.

Зрозуміло що токсичність вони проявляють лише при високих концентраціях.

Важкі метали в першу чергу впливають на проникність мембран, вони мають велику спорідненість до фосфатних груп і активних центрів в АТФ і АДФ, вступають в реакцію з сульфгідрильними групами білків, виступають конкурентами до активно важливих катіонів. Підвищена концентрація важких металів у ґрунті пригнічує фотосинтез, порушує водний режим. Як правило під впливом важких металів зменшується кількість і розмір листків, розміри продихів, прискорюється старіння та відмирання листків. Доказано, що важкі метали є інгібіторами росту рослин пов'язаного як із поділом, так і з розтягуванням клітин.

Бар'єром на шляху надходження важких металів є корінь і клітинна оболонка, яка переводить їх у адсорбований стан.

Зменшення негативного впливу зовнішніх факторів на рослини можливе за рахунок використання антистресантів. На українському ринку присутні антистресанти різні як за своєю природою, так і за характером впливу. У першу чергу до них відносяться мікродобрива, що містять манган, бор, мідь, цинк (табл. 14).

Раніше ми вказували, що під дією абіотичних стресорів порушується гормональний статус рослин: накопичується абсцизова кислота, підвищується вміст етилену, зменшується вміст рiстактивуючих ферментів. Американська компанія Stoller широко рекламує і продає в Україні фітогормональні антистресанти.

14. Участь мікроелементів у формуванні загальної стресостійкості рослин

Процес	Mn	Cu	Zn	B	Fe	Mo	Co	Ni
Біосинтез фітогормонів		+	+	+		+	+	
Кофактори антиокси-дантних ферментів	+	+	+		+	+	+	+
Регуляція проростів	+		+	+		+		
Біосинтез кутикуляр-них парафінів	+	+		+				
Метаболізм вуглеводів і азоту	+	+		+				
Транспорт цукрів	+			+				
Регуляція дихання	+			+				

Широковідома компанія «Ярило» поставляє на ринок антистресант побудований на дії амінокислот.

Непогані результати показує використання саліцилової кислоти.

Добре відомі в Україні такі антистресанти як Гумфілд Форте компанії HUMINTECH. Автори цього посібника є свідками зниження негативного впливу низьких температур і післядії гербіцидів під впливом гумінових і фульвокислот.

Інколи у ролі антистресанта використовують не призначені для цього препарати. Прикладом є використання біоприлипача Ліпосам (Джерело: журнал Зерно). Завдяки просторовій конфігурації макромолекул біополімерів цей препарат «утворює мікроскопічну

сітчасту плівку, яка в місцях контакту перешкоджає випаровуванню вологи, але не заважає основним процесам розвитку рослин: диханню і фотосинтезу. Тому він є зручним й ефективним антитранспірантом. Він як антидот і антидепресант допомагає пом'якшити стрес від різкого впливу пестицидів й отрутохімікатів завдяки хорошій абсорбуючій здатності полімерів».

Які б антистресанти ми не використовували зрозумілим стає одне: отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур у сучасних кліматичних умовах без залучення вказаних препаратів стає неможливим (рис.19).

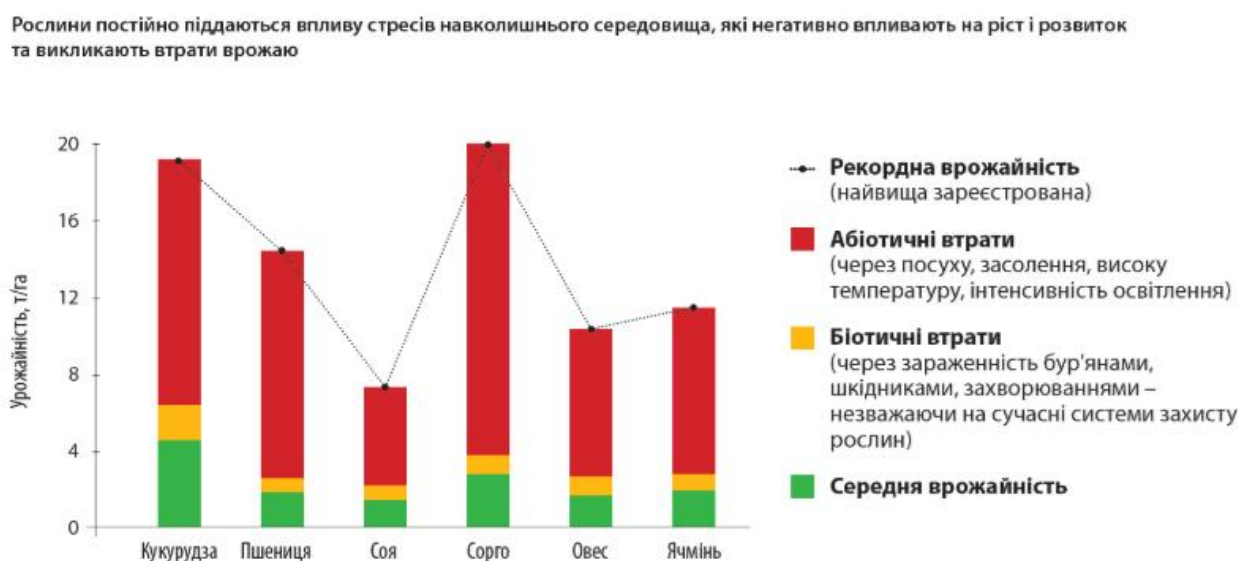


Рис. 19 Зниження урожайності сільськогосподарських культур під дією абіотичних і біотичних стресів

(Buchanan Gruissem & Jones 2000)

Втрати урожаю від впливу абіотичних і біотичних стресорів є дійсно вражаючими і у ряді випадків можуть досягати 50 і більше відсотків.

Отже, при вирощуванні культур у відкритому ґрунті рослини постійно піддаються впливу таких стрес-факторів, як нестача вологи, вимокання, град, низькі або високі температури, посуха, тривалі дощі, післядія гербіцидів, дефіцит або дисбаланс поживних елементів, лужна або кисла реакція ґрунтового розчину, забур'яненість, переущільнення ґрунту тощо.

Найбільші втрати урожаю відбуваються тоді, коли вони збігаються із відповідальними фазами вегетації рослин. У зв'язку з цим агроном повинен знати точний прогноз погоди не менш ніж на дві-три доби. Гарний результат забезпечує обробка посівів до негативного впливу стресорів. Зрозуміло, що сучасні технології вирощування культур включають заходи усуненню впливу негативних факторів. Це обробка насіння протруйниками і стимуляторами росту, відповідна підготовка ґрунту, яка безпосередньо впливає на його повітряний і водний режим, проведення функціональної діагностики мінерального живлення рослин і застосування позакореневих підживлень. При прийнятті оперативних рішень на виробництві слід пам'ятати, що до універсальних антистресорів відносять амінокислоти і фітогормони. Перші виступають легкозасвоюваним джерелом живлення рослин, активізують синтез білків, відновлюють порушені при цьому ланцюжки їх синтезу, виконують транспортну роль, контролюють стан прорихів, виступають основою синтезу фітогормонів. Останні регулюють майже всі біохімічні процеси і можуть суттєво пом'якшувати вплив негативних факторів.

Існують і специфічні антистресанти. Так, полісахариди захищають рослини від дії високих температур і засолення ґрунту. Окремі мікроелементи також можуть виконувати специфічну захистну функцію. Разом із тим агрономи частіше використовують комплекс захистних сполук (бакова суміш). Підставою для таких рішень є одночасний вплив ряду негативних факторів (затяжні дощі, холод, град, прояв захворювань).

ЛІТЕРАТУРА

1. Городній М.М. Агрохімія: Підручник / М.М. Городній та ін. – К.: Алефа. – 2003. – 778 с.
2. Господаренко Г.М. Агрохімія: Підручник. / Г.М. Господаренко. – К: ННЦ ІАЕ. – 2010. – 400 с.
3. Говдя В.В. Формирование и функционирование рынка минеральных удобрений и средств защиты растений / В.В. Говдя. – Краснодар: КГАУ, 2001. – 162 с.
4. Сдобникова О.В. Фосфорные удобрения и урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 111с
5. Мосиук Ф.Е. Нелинейная модель определения на ЭВМ потребности в удобрениях и оптимизации распределения фактических их фондов на различных уровнях управления сельскохозяйственным производством / Ф.Е. Мосиук, В.В. Портной, В.Д. Мамонова, Г.В. Бакулай // Разработка рекомендаций и планов применения удобрений с использованием ЭВМ. – М., 1980. – С. 108-115.
6. Мосиук Ф.Е. Прогнозирование потребности в удобрениях и оптимальное планирование использования их / Ф.Е. Мосиук // Химия в сельском хозяйстве. – 1976. – № 5. – С. 17-21.
7. Мосиук Ф.Е. Справочник по определению норм удобрений под планируемый урожай / Ф.Е. Мосиук, А.П. Лисовал, Н.Е. Власенко, А.Я. Гетманец. – К.: Урожай. – 1989. – 252 с.
8. Мосиук Ф.Е. Статистико-математические методы оценки и экономическая эффективность применения удобрений в

Украинской ССР / Ф.Е. Мосіюк // Химия в сельском хозяйстве. – 1983. – № 1. – С. 52-55.

9. Мосіюк П.О. Економічна ефективність застосування добрив / П.О. Мосіюк, В.Г. Хіміч. – К.: Урожай, 1987. – 136 с
10. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивость растений к действию стрессоров. Киев: Логос, 2019. 277 с.
11. Філон В.І. Мікродобрива –Харків, 2018.– 242с