

УДК 627.533:631.89

ВПЛИВ КРЕМНІЄВМІСНИХ СУМІШЕЙ НА РІСТ ПРОРОСТКІВ КУКУРУДЗИ, АЛЕЛОПАТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУБСТРАТУ ЗА РІЗНОГО РІВНЯ ЙОГО ЗАКИСЛЕННЯ

Н.В. ЗАІМЕНКО, Н.П. ДІДИК, Б.О. ІВАНИЦЬКА, Н.А. ПАВЛЮЧЕНКО,
І.П. ХАРИТОНОВА

*Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка Національної академії наук
України
01014 Київ, вул. Тимірязєвська, 1
e-mail: natasha_didyk@mail.ru*

У вегетаційних дослідах вивчали вплив чотирьох типів кремнієвмісних сумішей на основі мінералів, силікату калію, сапропелю і торфу на життєвий стан проростків кукурудзи (*Zea mays* L., гібрид Фаворит), алелопатичні та фізико-хімічні (електропровідність, кислотність, окисно-відновний потенціал) характеристики піщаного субстрату за різних рівнів його закислення (рН = 4,0; 5,0; 6,0; 7,0). Внесення досліджених сумішей поліпшувало фізико-хімічні та алелопатичні властивості субстрату, що позначилося на фізіологічних процесах у рослин, зокрема компенсувало негативний вплив закислення на вміст фотосинтетичних пігментів у листках, а також на ріст надземних частин і коренів проростків кукурудзи, особливо в разі застосування сумішей на основі силікату калію й торфу.

Ключові слова: кукурудза, кремнієвмісні суміші, ріст, фотосинтетичні пігменти, алелопатична активність, закислення субстрату.

Останнім часом в Україні внаслідок значного скорочення заходів з хімічної меліорації, застосування фізіологічно кислих добрив інтенсифікуються процеси підкислення ґрунтів. За даними агрохімічної паспортизації, площі ґрунтів, які потребують першочергового вапнування, становлять 3,9 млн га [8].

Сучасна концепція хімічної меліорації кислих ґрунтів передбачає застосування вапнякових матеріалів, фосфоритів, доломітового борошна, мергелів, дефекату, крейди тощо, які поліпшують агрофізичні та агрохімічні показники ґрунту. Проте вони не компенсують дефіцит елементів живлення, не стимулюють стійкість рослин до абіотичних і біотичних стресів. Крім того, ці технології не лише ресурсо- та енергоємні, а й часто екологічно небезпечні. Встановлено канцерогенні властивості фосфогіпсу [7]. Вапнування призводить до вилуження в підґрунтові води кальцію і магнію майже до 30 % внесеного, що спричинює різке підвищення твердості води у прилеглих водоймах. Іншим негативним наслідком вапнування є зростання емісії діоксиду вуглецю й газоподібних сполук азоту з ґрунту в атмосферу, що призводить до підвищення непродуктивних витрат азоту [9]. Ефект вапнування ґрунтів

нестійкий і за відсутності вапнування кислотність ґрунту повертається до вихідного стану, тобто виявляється ефект реацидифікації [10].

Реакція ґрунтового розчину істотно впливає на ріст і розвиток рослин та активність мікробіологічних, хімічних, біохімічних процесів. Відхилення реакції ґрунту від оптимального рівня пригнічує засвоєння рослинами поживних речовин, мінералізацію органічної речовини, призводить до зниження урожайності, якості сільськогосподарських культур. З урахуванням вищезазначеного очевидною є необхідність розробки екологічно обґрунтованих та економічно рентабельних технологій хімічної меліорації закислених ґрунтів.

Дослідженнями останніх років доведено перспективність застосування кремнієвмісних мінералів як одного із системоутворювальних чинників ґрунтової екосистеми [5]. Суміші на основі органічних матеріалів та кремнієвмісних мінералів цілком екологічно безпечні завдяки синекологічній взаємодії з ґрунтовою екосистемою (мікрофлорою й мікрофауною). Високий вміст азоту, легкорозчинних фосфатів, кальцію, калію та магнію у сапропелі й торфі компенсує дефіцит елементів мінерального живлення деградованих ґрунтів, а кремнієвмісні мінерали стимулюють стійкість, ріст і розвиток рослин [4, 5]. Це підвищує рентабельність запропонованих технологій порівняно з традиційними.

Метою наших досліджень було вивчення впливу кремнієвмісних сумішей на основі мінералів, силікату калію, торфу та сапропелю на життєвий стан рослин кукурудзи, а також на алелопатичні та фізико-хімічні властивості субстрату залежно від рівня закислення в модельних лабораторних дослідах.

Методика

Субстратом слугував пісок, підготовлений за методикою Гродзінського [3]. В лабораторних дослідах моделювали такі рівні закислення субстрату: рН 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 шляхом регулярного його поливання дистильованою водою, підкисленою 1 н соляною кислотою. Кислотність розчинів визначали і контролювали за допомогою приладу HI 2211 рН/ORP Meter. Рослини контрольного варіанта поливали дистильованою водою (без підкислення).

Тест-рослинами слугувала кукурудза (*Zea mays* L., гібрид Фаворит, отриманий на базі Кримської дослідно-селекційної станції).

Перед висіванням насіння кукурудзи в субстрат вносили одну з таких чотирьох типів кремнієвмісних сумішей в кількості 0,1 % об'єму субстрату:

Суміш	Склад суміші, %
№ 1	90 сапропель, 7 трепел, 3 анальцим
№ 2	25 K ₂ SiO ₃ , 10 сапропель, 15 анальцим, 50 трепел
№ 3	70 трепел, 30 анальцим
№ 4	30 верховий торф, 70 трепел

Контролем слугував субстрат без додавання сумішей. Рослини кукурудзи культивували за температури 22–30 °С в умовах природного сонячного освітлення. Вологість субстрату підтримували на рівні 60–75 %

повної вологоємності. Життєвий стан проростків кукурудзи оцінювали за морфометричними показниками (висота пагонів, площа листків, довжина коренів), масою сухої речовини їх надземної та підземної частин, вмістом фотосинтетичних пігментів (хлорофілів *a*, *b*, каротиноїдів) у листках та їх співвідношенням.

Морфометричні й фізіолого-біохімічні показники життєвого стану тест-рослин кукурудзи оцінювали на 15–21-шу добу. Фотосинтетичні пігменти екстрагували зі свіжозібраних листків диметилсульфоксидом, кількісний вміст визначали спектрофотометрично за методикою [11].

Фізико-хімічні (кислотність, окисно-відновний потенціал, електропровідність) та алелопатичні властивості субстрату оцінювали наприкінці досліду. Алелопатичну активність субстрату вивчали методом прямого біотестування на прирості коренів крес-салату (*Lepidium sativum* L.) [2]. Його окисно-відновний потенціал визначали за допомогою лабораторного іоніміру И-160 (Гомельський завод вимірювальних приладів, Білорусь) [1], електропровідність — за допомогою Ezodo Waterproof Tester 6022 Conductivity.

Повторність дослідів — чотириразова. Результати досліджень оброблено статистично методами описової статистики та однофакторного дисперсійного аналізу з використанням програм Statistica 10.0 і Microsoft Office Excel 2007. Групові зважені усереднені дані наведено в таблицях. Вірогідність впливу чинників оцінено за рівнем значущості *P* та критерієм Фішера *F*.

Результати та обговорення

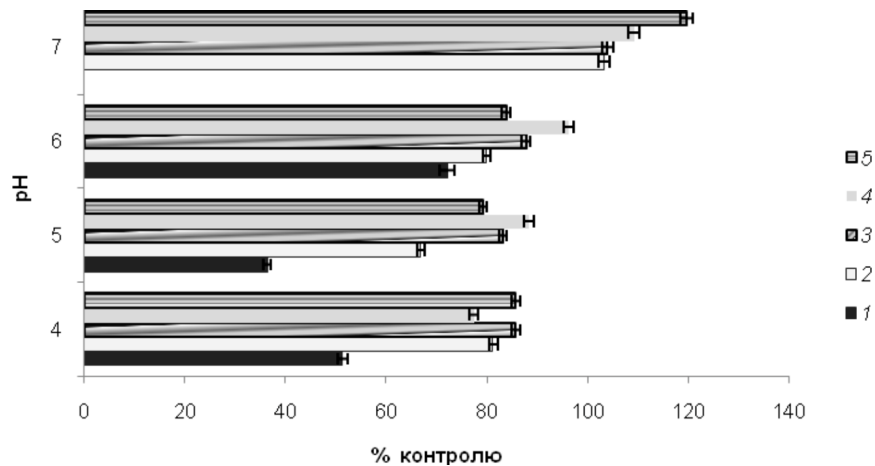
Ми встановили, що внесення кремнієвмісних сумішей впливає на зміни показників електропровідності й кислотності субстратів. Так, у разі внесення сумішей № 2 і № 4 у варіанті досліду з кислотністю субстрату рН 4,0 показники кислотності середовища субстрату незначно зміщувались у бік лужної реакції (майже до 5,0). Зафіксовано також зниження електропровідності при внесенні цих сумішей, що, на нашу думку, може бути пов'язано з підвищенням вбирної здатності коренів.

Стан субстрату оцінювали також за окисно-відновним потенціалом, що тісно пов'язаний із перетворенням органічної речовини й відображає сумарний ефект у даний момент окисно-відновних систем [6].

У результаті застосування кремнієвмісних сумішей значення окисно-відновного потенціалу в субстраті за досліджуваних рівнів кислотності підвищувались у цілому в 1,1–1,6 раза (табл. 1). При цьому харак-

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив кремнієвмісних сумішей на окисно-відновний потенціал субстрату під рослинами кукурудзи за різних рівнів закислення, мВ ($P < 0,01$)

Суміш	рН			
	4,0	5,0	6,0	7,0
Контроль	185	233	191	200
№ 1	296	311	213	286
№ 2	287	319	224	300
№ 3	218	315	283	290
№ 4	224	300	296	301



Вплив кремнієвмісних сумішей на алелопатичну активність субстрату під рослинами кукурудзи за різних рівнів закислення (приріст коренів *Lepidium sativum* L., % контролю — субстрат без сумішей за рН 7,0):

1 — субстрат без сумішей; 2 — суміш № 1; 3 — суміш № 2; 4 — суміш № 3; 5 — суміш № 4

тер окисно-відновних процесів змінювався з інтенсивно відновного до помірно відновного за рН 4,0 і 6,0, з помірно відновного до слабо відновного за рН 5,0. За рН 7,0 їх напрямок залишався помірно відновним як для субстрату з додаванням сумішей, так і без них. Виявлені тенденції вказують на сприятливіший перебіг окисно-відновних процесів у субстратах із кремнієвмісними сумішами для росту та розвитку рослин кукурудзи за умов закислення.

У разі закислення алелопатична активність субстрату без додавання сумішей змінювалася (рисунок): ріст біотесту за рН 4,0 пригнічувався на 49 %, за рН 5,0 — на 64, за рН 6,0 — на 28 % порівняно з контролем (субстрат без сумішей за рН 7,0). Після застосування сумішей фітотоксичність знижувалась, що виявлялось у збільшенні приросту біотесту за рН 6,0 в 1,1—1,3 раза, за рН 5,0 — в 1,8—2,4 раза, за рН 4,0 — в 1,5—1,7 раза. Використання сумішей на основі силікату калію і торфу (№ 2 й № 4) було найефективнішим для зниження фітотоксичності субстрату за високого рівня закислення (рН 4,0). За рН 5,0—6,0 фітотоксичність зменшувалася більшою мірою у субстраті з сумішами № 2 і № 3, за рН 7,0 спостерігався рістстимулювальний вплив (на 9—20 % щодо контролю) внесених сумішей на біотест.

Поліпшення фізико-хімічних та алелопатичних властивостей субстрату при застосуванні кремнієвмісних сумішей за умов закислення позначилося на фізіологічних процесах у рослин.

Кукурудза — культура вибаглива як до родючості ґрунту, так і до його кислотності. Оптимальна кислотність субстрату рН 6,0—7,0. Гібрид кукурудзи Фаворит виявився порівняно високостійким до закислення субстрату. Лише за найнижчого рН 4,0 спостерігали вірогідне пригнічення показників росту надземних частин і коренів кукурудзи (табл. 2, 3). Зниження рівня рН до 4,0—5,0 спричинювало вірогідне зниження вмісту хлорофілів *a* і *b* (табл. 4). Вміст каротиноїдів, а також співвідношення хлорофілів *a/b* дещо збільшувались за рН 5,0, але в міру подальшого підвищення рівня закислення до рН 4,0 ці показники вірогідно знижу-

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ НА РОСТ

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив кремнієвмісних сумішей на морфометричні показники рослин кукурудзи за різних рівнів закислення субстрату ($P < 0,01$)

Суміш	рН											
	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0	5,0	6,0	7,0
	Висота, мм				Площа листків, см ²				Довжина коренів, мм			
Конт-роль	200	238	238	240	14	19	19	21	140	149	150	152
№ 1	251	260	268	266	22	22	23	22	176	173	167	163
№ 2	258	249	256	264	25	19	22	25	186	176	163	159
№ 3	249	264	266	273	25	26	24	25	173	175	168	165
№ 4	259	246	247	247	27	25	24	24	182	179	184	183

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив кремнієвмісних сумішей на масу сухої речовини рослин кукурудзи за різних рівнів закислення субстрату ($P < 0,01$)

Суміш	рН							
	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0	5,0	6,0	7,0
	Надземна частина, мг				Підземна частина, мг			
Контроль	39	44	49	49	59	98	100	101
№ 1	48	52	56	57	98	156	106	107
№ 2	52	49	49	53	98	101	102	107
№ 3	53	56	68	63	100	108	101	106
№ 4	60	63	68	65	99	101	107	108

ТАБЛИЦЯ 4. Вплив кремнієвмісних сумішей на вміст фотосинтетичних пігментів (мг/г сирої речовини) за різних рівнів закислення субстрату ($P < 0,01$)

Суміш	рН											
	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0	5,0	6,0	7,0
	Хлорофіл <i>a</i>				Хлорофіл <i>b</i>				Каротиноїди			
Конт-роль	1,9	2,1	2,3	2,3	0,7	0,7	0,8	0,8	0,1	0,3	0,2	0,2
№ 1	2,2	2,3	2,4	2,4	0,6	0,6	1,1	0,8	0,2	0,4	0,7	0,5
№ 2	2,2	2,5	2,4	2,5	0,8	0,6	0,7	0,8	0,2	0,4	0,3	0,3
№ 3	2,1	2,2	2,8	2,7	0,8	0,6	0,9	0,8	0,2	0,5	0,3	0,3
№ 4	2,2	2,2	2,7	2,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,2	0,4	0,5	0,4

вались. Така динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів свідчить про наявність фізіологічного стресу в фотосинтетичному апараті проростків кукурудзи вже за рН 5,0.

Внесення всіх досліджуваних кремнієвмісних сумішей повністю компенсувало симптоми пригнічення росту тест-рослин, що спостерігалися за рН 4,0, та зниження вмісту фотосинтетических пігментів за рН 4,0—5,0. При цьому найефективніше стимулювали розвиток надземних частин і коренів, а також підвищували вміст фотосинтетичних пігментів у листках суміші на основі силікату калію й торфу (№ 2 і № 4). За оп-

тимальної кислотності субстрату (рН 6,0–7,0) внесення всіх типів сумішей позитивно впливало на ріст і життєвий стан проростків кукурудзи. Найліпшими для росту надземної частини й біосинтезу фотосинтетичних пігментів (хлорофілів *a*, *b*, каротиноїдів) виявилися кремнієві суміші на основі сапропелю та мінералів (№ 1 і № 3), тоді як для росту підземної частини рослин — на основі торфу (№ 4).

Отже, застосовані суміші оптимізували перебіг окисно-відновних процесів, підвищували рН (суміші на основі силікату калію й торфу), знижували електропровідність і фітотоксичність субстрату, що поліпшувало його якості для процесів росту та розвитку рослин за умов закислення. Так, внесення кремнієвих сумішей компенсувало негативний вплив закислення на вміст основних фотосинтетичних пігментів у листках, а також на ріст надземних частин і коренів проростків кукурудзи, особливо при вирощуванні їх на сумішах на основі силікату калію й торфу.

1. Гродзинский А.М., Горобец С.А., Крупа Л.И. Руководство по применению биохимических методов в аллелопатических исследованиях почв. — Киев, 1988. — 18 с.
2. Гродзинский А.М., Кострома Е.Ю., Шроль Т.С., Хохлова И.Г. Прямые методы биотестирования почвы и метаболитов микроорганизмов // Аллелопатия и продуктивность растений. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 121–124.
3. Гродзинский А.М. Основы химической взаимосвязи растений. — К.: Наук. думка, 1973. — 205 с.
4. Заїменко Н.В., Дідик Н.П., Дзюба О.І. та ін. Індукція захисних реакцій до посухи у кукурудзи анальцимом за умов різної зволоженості та типу ґрунту // Физиология и биохимия культ. растений. — 2013. — 45, № 1. — С. 35–44.
5. Заїменко Н.В., Іваницька Б.О., Довгалюк Н.І., Міськів Н. Роль кремніємістких мінералів у функціонуванні екосистеми: ґрунт—рослина—ґрунт // Физиология растений: проблемы та перспективи розвитку. Т 1. — К.: Логос, 2009. — С. 265–271.
6. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. — М.: Колос, 1982. — 247 с.
7. Крайнюк Е.В., Буц Ю.В. К вопросу об экологической безопасности при использовании отходов промышленности для строительства автомобильных дорог (на примере фосфогипса) // Материалы IV Межрегион. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Безопасность жизнедеятельности: наука, образование, практика». — Южно-Сахалинск: Изд-во Сахалин. ун-та, 2014. — С. 254–258.
8. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2012 році. — К.: Міністерство екології та природних ресурсів України: LAT & K, 2013. — 408 с.
9. Brumme R., Beese F. Effects of liming and nitrogen fertilization on emissions of CO₂ and N₂O from temperate forest // J. Geophys. Res. — 1992. — 97, N 12. — P. 851–859.
10. Doerge T.A., Gardner E.H. Reacidification of two amended soils in Western Oregon // Soil Sci. Soc. Amer. J. — 1985. — 49, N 3. — P. 680–685.
11. Hiscox J.D., Israelstam C.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration // Can. J. Bot. — 1979. — 57. — P. 1332–1334.

Отримано 27.05.2015

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ НА РОСТ ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ, АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБСТРАТА ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ ЕГО ЗАКИСЛЕНИЯ

Н.В. Заименко, Н.П. Дидык, Б.А. Иваницкая, Н.А. Павлюченко, И.П. Харитонова

Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришко Национальной академии наук Украины, Киев

В вегетационных опытах изучали влияние четырех типов кремнийсодержащих смесей на основе минералов, силиката калия, сапропеля и торфа на жизненное состояние проростков кукурузы (*Zea mays* L., гибрид Фаворит), аллелопатические и физико-химические (электропроводность, кислотность, окислительно-восстановительный потенциал) свойства пе-

счаного субстрата при разных уровнях его закисления (рН 4,0; 5,0; 6,0; 7,0). Внесение исследуемых смесей улучшало физико-химические и аллелопатические свойства субстрата, что отразилось на физиологических процессах в растениях, в частности компенсировало негативное влияние закисления на содержание фотосинтетических пигментов в листьях, а также на рост надземных частей и корней проростков кукурузы, особенно при применении смесей на основе силиката калия и торфа.

THE EFFECT OF SILICON-CONTAINING MIXTURES ON THE GROWTH OF MAIZE SEEDLINGS, ALLELOPATHIC AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE SUBSTRATE AT DIFFERENT LEVELS OF ACIDIFICATION

N.V. Zaimenko, N.P. Didyk, B.O. Ivanytska, N.A. Pavliuchenko, I.P. Kharytonova

M.M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine
1 Timiryazevska St., Kyiv, 01014, Ukraine

In pot experiments the effect of four types of silicon-containing mixtures based on minerals, potassium silicate, spropel and peat on the vitality of corn seedlings (*Zea mays* L., hybrid Favorit), allelopathic and physico-chemical properties (conductivity, pH, redox potential) of sand substrate was studied at different levels of acidification (pH = 4.0; 5.0; 6.0 and 7.0). The adding of tested mixtures improved physicochemical and allelopathic properties of the substrate, which was reflected in the physiological processes in plants, in particular, it compensated the negative impact of acidification on the contents of the photosynthetic pigments in leaves, as well as on the growth of shoots and roots of maize seedlings, especially in the case of using mixtures based on potassium silicate and peat.

Key words: corn, silicon-containing mixtures, seedlings, growth, photosynthetic pigments, allelopathic activity, pH of substrate.