

($r = 0.95$) and the average between amount of precipitation and field germination ($r = 0.56$) were noted. Duration of the vegetation period of corn in compatible crops with sorghum increases by 1–2 days from the first sowing term to the fourth, and the vegetation period of the sweet sorghum remains practically unchanged (127–128 days). Duration of the period sprouting-wax ripeness of corn grain in the first sowing period was 115 days, the second and the third – 116 days, the fourth – 117 days. The increase in the length of the vegetation period was mainly observed in the period of 6–7 leaves – the milk ripeness of grain.

Depending on the corn sowing terms in the harvest structure of compatible crops with sweet sorghum, the cobs ranged from 39.2 to 40.4 %, and the sweet sorghum panicles – 16.3–16.7 % from the whole plant. When shifting the corn sowing terms from the first to the fourth, there is a decrease in the proportion of the cobs from 40.4 to 39.2 % and the increase in the stem proportion from 71.9 % to 72.3 %, while the total weight of one corn plant also decreases by 2.3–4.7 %. The proportion of corn leaves, depending on the sowing term, remains practically unchanged – 14.1–14.3 %. In sweet sorghum plants, the fraction of leaves and panicles was practically the same 11.4 % and 16.3–16.7 %, while the mass and proportion of stems increased from the first to the fourth sowing period from 71.9 to 72.3 % and from 518, 4 g to 523.4 g.

On average, over the years of research, the largest yield of green mass in compatible sowings of sweet sorghum and corn was formed in the third-term variant of corn sowing – 79.4 t/ha, the lowest – in the first – 78.4 t/ha. When sowing corn in different terms in the compatible crops with sorghum, there is no significant increase in the yield of green mass. For the simultaneous harvesting of compatible crops of sweet sorghum and corn on silage in the phase of wax ripeness of grain, it is recommended to select the components of the mixture, taking into account maturation groups.

Key words: corn, sweet sorghum, compatible crops, sowing terms, green mass, yield.

Надійшла 05.04.2018 р.

УДК 581.1;631.8;633.1

КОЛЕСНИКОВ М.О., канд. с.-г. наук

ПАЩЕНКО Ю.П., канд. біол. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

maksym.kolesnikov@tsatu.edu.ua

ДІЯ КРЕМНІЄВО-КАЛІЙНОГО ДОБРИВА AGROGLASS STIMUL НА ПРОРОСТАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ

Суттєве гальмування ростових процесів та втрати врожаю сільськогосподарських культур в світі відбуваються з причини посух. Використання біопрепаратів та комплексних добрив підвищує стійкість культур до абіотичних стресів та є перспективним. Відомо, що сполуки кремнію посилюють резистентність зернових культур до низки несприятливих факторів довкілля. Висвітлено питання впливу кремнієво-калійного добрива на проростання насіння та морфометричні показники проростків пшениці озимої в умовах водного дефіциту.

Дослідження проводили з використанням насіння пшениці озимої сорту Антонівка. Для передпосівної обробки насіння використовували добриво Agroglass Stimul в концентраціях 5, 15, 30, 60 мл/л.

Встановлено, що добриво Agroglass Stimul у концентрації 5-15 мл/л збільшувало схожість насіння пшениці озимої на 5-6 %, виступаючи регулятором осмотичного тиску в тканинах рослин. В умовах водного стресу Agroglass Stimul в усіх досліджуваних концентраціях привело до збільшення сирової маси проростків максимально на 26,6 % та коренів пшениці на 27,4 %. Суха маса проростків перевищувала контрольні значення на 16,5 %, а коренів – на 69,1 % за дії добрива в концентраціях 5-30 мл/л. Найбільш ефективно збільшував довжину проростків пшениці за умов водного дефіциту Agroglass Stimul в концентраціях від 5 до 30 мл/л. Встановлено, що кремнієво-калійне добриво посилювало ростові процеси, нівелюючи негативний ефект водної депресії. Отримані дані підтверджують результати позитивного впливу кремнієво-калійних добрив на формування продуктивності зернових культур, що вказує на перспективність їх подальшого дослідження.

Ключові слова: пшениця озима, водний дефіцит, кремнієво-калійне добриво, ріст, розвиток, схожість.

Постановка проблеми. В зоні Степу розташовано близько 60 % посівних площ найбільш рентабельної серед зернових культур – озимої пшениці. На ріст, розвиток та продуктивність пшениці озимої особливо негативно впливає дефіцит вологи. Під час адаптації рослин до умов водного стресу відбуваються суттєві фізіолого-біохімічні перебудови, пов'язані зі зміною стану продигового апарату, асиміляції CO₂, іонного транспорту, темпів росту, експресією фітогормональних інгібіторів, біосинтезу білків. Для аграрної індустрії посилення стійкості рослин до стресів та підвищення їх біопродуктивності є пріоритетним напрямом досліджень, оскільки, за даними FAO, найбільші втрати врожаїв сільськогосподарських культур по всьому світу зумовлені посухами або засоленням ґрунтів.

Активізація ростових процесів та реалізація генетичного потенціалу рослин стає можливим при запровадженні інтенсивних технологій з використанням біостимуляторів та комплексних добрив. Останнім часом, ринок агрохімії заповнюють кремнієво-калійні добрива, які характеризуються своєю поліфункціональністю [1, 2]. Водночас, агробіологічна дія таких добрив на сільськогосподарські культури дотепер з'ясована недостатньо, що також обумовлює актуальність і практичне значення дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні, сировиною для виробництва або власне як кремнієво-калійні добрива використовують синтетичні розчинні силікати, діатоміти і цеоліти, шлаки чорної, кольорової металургії та фосфатної промисловості [2-6]. Позитивний ефект таких добрив показано в дослідженнях проведених на культурах рису, ячменю, пшениці, сорго, кукурудзи, соняшнику, бобових, овочевих та цитрусових культур [7, 8, 9]. Доведено, що кремнієве підживлення рослин приводило до збільшення маси кореневої системи, їх об'єму, загальної і робочої адсорбуючої поверхні, а також покращувало кореневе дихання [10]. Існують повідомлення про позитивний вплив кремнієво-калійних сполук на поглинання рослинами макро-, мікроелементів та Нітрогену, зокрема [11, 12]. Вважається, що кремній стимулює нативні захисні реакції рослин шляхом участі у метаболічних процесах [13].

За позакореневого використання розчинних форм кремнієво-калійних добрив на посівах зернових культур, спостерігали збільшення листкової поверхні рослин, посилення біосинтезу пігментів та активацію фотосинтетичного апарату, стимулювання рісту, прискорення настання фенофаз колосіння та наливу зерна, збільшення висоти рослин і кількості продуктивних стебел [14], покращення якості зерна [15]. Встановлено, що в умовах водного стресу кремнієві сполуки за їх позакореневого застосування на посівах рису знижували рівень транспірації у рослин на 30 %. Підвищений вміст кремнію в тканинах зменшував екзоосмос електролітів, збільшував вміст полісахаридів, що покращувало осморезистентність клітинних стінок. На поверхні колоскових лусок рису кремнієві сполуки формують додатковий шар, який втримує вологу необхідну для формування та наливу зерна в умовах посухи [16, 17, 18].

Тому, **метою дослідження** було з'ясувати вплив кремнієво-калійного добрива Agroglass Stimul на проростання насіння пшениці озимої в умовах водного дефіциту.

Матеріал і методика досліджень. Як модельний вид рослин для лабораторного дослідження було обрано насіння пшениці озимої сорту Антонівка (оригінація: Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насінництва та сортовивчення НААН України, в реєстрі з 2008 р.). Для знезараження, насіння протруювали у розчині калію перманганату (0,1 моль/л) протягом 10 хв та підсушували. Насіння пшениці контрольного варіанта замочували у дистильованій воді протягом 4-6 годин, а насіння дослідних варіантів замочували у розчинах добрива Agroglass Stimul в різних концентраціях (5, 15, 30, 60 мл/л) за кімнатної температури. Використовували кремнієво-калійне добриво Agroglass Stimul з вмістом SiO_2 – 21,3 % та K_2O – 8,3 % виробництва ТОВ «ПКФ» Укрсилікат» (м. Запоріжжя). Насіння пророщували в чашках Петрі на паперовому ложі за контрольованої освітленості (4000 лк), температури (20 ± 1 °C) та фотоперіоду (14 годин день/10 годин ніч) протягом 8 діб відповідно до міжнародних стандартів [19]. Для створення водного дефіциту насіння пророщували на 5 % розчині поліетиленгліколю (PEG) з $\text{Mn} = 6000$. У дослідження було включено 6 варіантів у чотириразовій повторності.

Під час проведення дослідження визначали енергію проростання на 3 добу та лабораторну схожість насіння на 8 добу після закладання насіння на пророщування. Визначали довжину ростків та коренів пшениці, їх сиру та суху масу. Результати опрацьовували статистичними методами з розрахунком середньої арифметичної, середньої похибки середнього арифметичного ($\pm m$) та t-критерію Ст'юдента за рівня вірогідності 95 %. Статистичну обробку результатів проводили з використанням програми Microsoft Office Excel 2013.

Основні результати дослідження. Вода є фактором активації біохімічних та фізіологічних процесів, що супроводжують проростання насіння. Ранні етапи онтогенезу рослин, пов'язані з набубнявінням, покільченням та проростанням насіння, характеризуються високою чутливістю до навіть незначної депресії водного потенціалу [20]. Пророщення насіння пшениці на 5 % розчині осмотично-активної речовини поліетиленгліколю створювало умови водного дефіциту та призводило до зниження схожості насіння пшениці на 9 % (табл. 1).

Таблиця 1 – Енергія проростання та лабораторна схожість насіння пшениці озимої сорту Антонівка під впливом кремнієво-калійного добрива Agroglass Stimul за умов водного дефіциту. ($X \pm m$)

Варіант	Енергія проростання, %		Лаб. схожість, %	
	Енергія проростання, %	Лаб. схожість, %	Енергія проростання, %	Лаб. схожість, %
Абс. контроль (вода)	88,75±1,09	+8,50	94,75±0,48	+8,75
Контроль PEG 6000 (5 %)	80,25±1,66 [^]	0	86,00±0,71 [^]	0
Agroglass Stimul 5 мл/л + PEG 6000 (5 %)	85,50±1,37*	+5,25	92,00±0,91*	+6,00
Agroglass Stimul 15 мл/л + PEG 6000 (5 %)	84,00±0,82*	+3,75	89,75±1,38*	+3,75
Agroglass Stimul 30 мл/л + PEG 6000 (5 %)	81,25±0,73	+1,00	85,00±2,48	-1,00
Agroglass Stimul 60 мл/л + PEG 6000 (5 %)	51,00±3,23*	-29,25	54,50±3,93*	-31,50

Примітка. Тут та далі: [^] - різниця істотна порівняно з абсолютним контролем, * - різниця істотна порівняно з контролем PEG 6000 (5%) за $p \leq 0,05$.

Передпосівна обробка насіння добривом Agroglass Stimul (5-15 мл/л) нівелювала негативний ефект водної депресії, на що вказує відповідне зростання енергії проростання на 3,8–5,3 % та лабораторної схожості насіння пшениці озимої на 3,8–6,0 % до значень відмічених у варіанті абсолютного контролю. Проте, високі концентрації Agroglass Stimul (60 мл/л) інгібували процеси проростання насіння за умов водного дефіциту.

Як було визначено раніше, сполуки кремнію діють на перерозподіл йонів натрію в рослинному організмі, зокрема, кремній знижував швидкість транспорту натрію до провідних судин ксилеми у злакових зернових культур, це підвищувало стійкість рослин до осмо-сольового впливу [21].

Кремній зустрічається у складі рослинного організму лише у вигляді оксиду або силікатів. Кремній поглинається рослинами у вигляді силікатної кислоти $Si(OH)_4$, і в кінцевому рахунку необернено мігрує по всій рослині як аморфний кремнезем. Тому, хоча кремній дуже розповсюджений елемент, більшість джерел містять нерозчинний кремній, який недоступний рослині. Типові концентрації силікатної кислоти в ґрунтовому розчині від 0,1 до 0,6 мМ. Концентрації кремнію в рослинах варіюють сильно у надземних частинах від 1,0 до 100,0 г Si/kg сухої ваги. Рослини поділяють на групи за здатністю акумулювати кремній. Дуже активно поглинають та накопичують сполуки кремнію рослини родини *Graminaceous*, такі як рис, пшениця, райграс, ячмінь [22, 23].

Інкубація рослин пшениці на розчині PEG 6000 протягом 8 днів зумовлювала суттєве зменшення сирої маси як проростків в 1,7 рази, так і коренів пшениці в 1,43 рази порівняно з рослинами пророщеними на водному середовищі.

В умовах водного стресу кремнієво-калійне добриво Agroglass Stimul в усіх досліджуваних концентраціях збільшувало сиру масу проростків на 5,7–26,6 % та коренів пшениці на 17,5–27,4 % порівняно з контрольними рослинами, які не обробляли добривом.

Було встановлено, що добриво Agroglass Stimul ефективно сприяло накопиченню мінеральної складової рослинної біомаси в умовах водного дефіциту, на що вказує збільшення сухої маси проростків та коренів пшениці (табл. 2).

Таблиця 2 – Біометричні показники проростків пшениці озимої сорту Антонівка під впливом кремнієво-калійного добрива Agroglass Stimul за умов водного дефіциту. ($X \pm m$)

Варіант	Сира маса 100 шт., г		Суха маса 100 шт., г		Довжина, см	
	проростки	корені	проростки	корені	проростки	корені
Абс. контроль (вода)	5,88 ±0,25	4,96 ±0,32	0,779 ±0,025	0,731 ±0,038	11,90 ±0,20	8,70 ±0,20
Контроль PEG 6000 (5 %)	3,43 ±0,12 [^]	3,46 ±0,27 [^]	0,630 ±0,050 [^]	0,548 ±0,066 [^]	8,90 ±0,20 [^]	6,50 ±0,10 [^]
Agroglass Stimul 5 мл/л + PEG 6000 (5 %)	4,33 ±0,14*	4,07 ±0,12	0,734 ±0,033*	0,737 ±0,048	10,10 ±0,20*	7,50 ±0,20
Agroglass Stimul 15 мл/л + PEG 6000 (5 %)	4,34 ±0,23*	4,23 ±0,15*	0,709 ±0,031	0,783 ±0,027*	10,20 ±0,20*	8,40 ±0,20*
Agroglass Stimul 30 мл/л + PEG 6000 (5 %)	4,28 ±0,24*	4,41 ±0,23*	0,721 ±0,021	0,927 ±0,038*	10,10 ±0,20*	8,40 ±0,30*
Agroglass Stimul 60 мл/л + PEG 6000 (5 %)	3,63 ±0,32	4,32 ±0,12*	0,669 ±0,051	0,869 ±0,075*	8,80 ±0,20	7,30 ±0,20

Подібні результати було отримано в дослідах з моделюванням сольового стресу на проростках пшениці озимої [24].

Так, за дії добрива в концентраціях від 5 до 30 мл/л суха маса проростків перевищувала контрольні значення на 12,6–16,5 %, а суха маса коренів – на 34,5–69,1 %. Слід зазначити, що в умовах водного дефіциту навіть максимальна досліджувана концентрація Agroglass Stimul (60 мл/л) не виявляла негативної дії, а навпаки, стимулювала накопичення біомаси проростків пшениці на ранніх етапах розвитку.

Ряд дослідників вважають, що сполуки кремнію за обробки рослин стимулювали активність низки ферментів антиоксидантного захисту, збільшували вміст фотосинтетичних пігментів та поліненасичених жирних кислот за умов водного стресу, що може підвищувати резистентність рослин до дії стресу [25, 26, 27]. Вважають, що посилення толерантності рослин до водної депресії пов'язано із накопиченням гліцинбетаїну, проліну в клітинах, покращенням стану біліпідного шару мембран. Зстосування силікатів калію стабілізувало осмотичний стан клітин під час водного стресу [28].

Відомо, що в умовах недостатнього вологозабезпечення гальмуються процеси розтягування клітин, що призводить до низькорослості. Проте, Agroglass Stimul за умов передпосівного намочування насіння сприяв видовженню проростків на 13–14 % та коренів пшениці – на 16–30 % порівняно з контрольними рослинами. Найбільш ефективно збільшувало довжину проростків пшениці за умов водного дефіциту добриво в концентраціях від 5 до 30 мл/л.

В проведених нами раніше дослідженнях, добриво Agroglass Stimul (15 мл/л) максимально стимулювало схожість насіння пшениці на 3,7 % за умов передпосівної обробки. Максимальна концентрація добрива, що використовувалася в досліді (60 мл/л) пригнічувала проростання насіння пшениці. Достовірне зростання маси проростків і коренів пшениці, а також їх довжини було зафіксовано за використання добрива з концентраціями 15–30 мл/л за інкубації насіння пшениці на водному середовищі [29].

Отже, кремнієво-калійне добриво Agroglass Stimul опосередковано впливає на нормалізацію водного балансу рослини, регулюючи осмотичну проникність клітин.

Висновки. Передпосівна обробка насіння добривом Agroglass Stimul (5–15 мл/л) нівелює негативний ефект водної депресії, на що вказує зростання енергії проростання та лабораторної схожості насіння пшениці озимої на 5–6 %.

Виявлено, що в умовах водного стресу кремнієво-калійне добриво Agroglass Stimul посилювало ростові процеси, виступаючи своєрідним регулятором осмотичного тиску в тканинах рослин.

Так, в умовах водного дефіциту досліджуване добриво збільшувало сиру масу проростків та коренів пшениці. За концентрацій Agroglass Stimul (5–30 мл/л) суха маса проростків перевищувала контрольні значення на 13–17 %, а суха маса коренів – на 35–69 %. Кремнієво-калійне добриво сприяло видовженню проростків на 13–14 % та коренів пшениці – на 16–30 % порівняно з контрольними рослинами. Найбільш ефективно збільшувало довжину проростків пшениці за умов водного дефіциту добриво в концентраціях від 5 до 30 мл/л.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нетіс І.Т. Озима пшениця в зоні Степу. Херсон: Айлант, 2004. 95 с.
2. Голованов Д.Л. Кремний – незамінний макроелемент питания природных и культурных злаков. Удобрения и химические мелиоранты в агроэкосистемах. М., 1998. С. 247-250.
3. Cherif M., Asselin A., Belanger R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*. 1994. Vol. 84. P. 236–242.
4. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Данилова Е.В., Юдина И.А. Влияние диатомита и минеральных удобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы. *Агрехимия*. 2007. № 6. С. 27-31.
5. Игнатьев Н.Н., Гречин П.И., Кобяков А.А. Влияние вулканических пород на поглощение кислорода тепличным грунтом и корнями огурца. *Изв. ТСХА*. 1994. Вып. 3. С. 92-99.
6. Тавровская О.Л. Об использовании отходов металлургической промышленности. *Химизация сельского хозяйства*. 1992. № 4. С. 55-61.
7. Abed-Ashtiani F., Kadir J.B., Selamat A.B., Hanif A.H.B.M. Effect of Foliar and Root Application of Silicon Against Rice Blast Fungus in MR219 Rice Variety. *Plant Pathol. J.* 2012. Vol. 28, No 2. P. 164-171.
8. Guntzer F., Keller C., Meunier J.-D. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2012. Vol. 32, No 1. P. 201–213.

9. Gomes F.B., Campos de Moraes J., Santos C.D., Goussain M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2005. Vol. 62, No 6. P. 547-551.
10. Кудинова Л.И. Влияние кремния на рост, величину площади листьев и адсорбционную поверхность корней растений. *Агрехимия*. 1975. № 10. С. 117-120.
11. Гололобова О.О., Телегіна Н.С., Толстякова В.В. Дія кремнієво-калійного листового підживлення на вміст біогенних елементів та детокс-ефект в міських зелених насадженнях. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2015. № 3-4. С. 103-109.
12. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение: дис. ... к-та биол. наук: 06.01.04 / МГУ. Москва, 2014. 136 с.
13. Ma J.F. Role of Silicon in Enhancing the Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 2004. Vol. 50, No. 1. P. 11-18.
14. Сластя И.В., Ложникова В.Н. Влияние кремния на рост растений и баланс эндогенных фитогормонов ярового ячменя. *Агрехимия*. 2010. № 3. С. 34-39.
15. Ahmad A., Afzal M., Ahmad A.U.H., Tahir M. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Cercetări Agronomice în Moldova*. 2013. Vol. XLVI, No. 3(155). P. 21-28.
16. Матыченков В.В. Кремниевые удобрения как фактор повышения засухоустойчивости растений. *Агрехимия*. 2007. № 5. С. 63-67.
17. Ma J.F., Miyake Y., Takahashi E. Silicon as a beneficial element for crop plants. *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, Amsterdam, 2001. P. 17-39.
18. Meharg A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 120. P. 8-17.
19. Волкодав В.В. Міжнародні правила з тестування насіння: навч. посіб. / за ред. чл.-кор. НААН України, проф. В.В. Волкодава. Херсон: Олді-плюс, 2011. 414 с.
20. Мусієнко М.М., Жук І.В. Молекулярні механізми індукції захисних реакцій рослин в умовах посухи. *Український ботанічний журнал*. 2009. Т. 66, № 4. С. 580-595.
21. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activities and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley / Liang Y. et al. *Abs. of II Silicon in Agriculture Conf. Japan*. 2002. P. 140-151.
22. Amirjani M.R. Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. *Int. J. Bot.* 2011. Vol. 7. P. 73-81.
23. Marafon A.C., Endres L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. *Rev. Cienc. Agrar.* 2013. Vol. 56, No. 4. P. 380-388.
24. Колесніков М.О., Пащенко Ю.П. Дія кремнієво-калійного добрива «Agroglass stimul» на проростання пшениці озимої в умовах сольового стресу. *Вісник Уманського Нац. ун-ту садівництва*. 2017. № 1. С. 135-141.
25. Balakhnina T., Borkowska A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *Int. Agrophys.* 2013. Vol. 27. P. 225-232.
26. Surapornpipoom P., Julsrigival S., Senthong C., Karladee D. Effect of silicon on upland rice under drought condition. *CMU. J. Nat. Sci.* 2008. Vol.7, No. 1. P. 163-171.
27. Shekari F., Abbasi A., Mustafavi S.H. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. *J. of the Saudi Society of Agricultural Sci.* 2017. Vol. 16. P. 367-374.
28. Tale Ahmad S., Haddad R. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 2011. Vol. 47, No 1. P. 17-27.
29. Колесніков М.О., Пащенко Ю.П., Супрун П.С. Вплив кремнієво-калійного добрива «Agroglass stimul» на проростання насіння пшениці озимої. *Таврійський науковий вісник*. 2017. Вип. 97. С. 69-74.

REFERENCES

1. Netis, I.T. (2004). Ozima pshenicja v zoni Stepu [Winter wheat in the Catepa area]. *Kherson, Ajlant*. 95 p.
2. Golovanov, D.L. (1998). Kremnij – nezamenimyj makroelement pitanija prirodnyh i kul'turnyh zlakov [Silicon is an irreplaceable nutrition macroelement of natural and cultural grasses]. *Udobrenija i himicheskie melioranty v agrojekosistemah* [Chemical fertilizers and meliorants in agroecosystems]. Moscow, MSU, pp. 247-250.
3. Cherif, M., Asselin, A., Belanger, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, 1994, Vol. 84, pp. 236-242.
4. Kulikova, A.H., Jashin, E.A., Danilova, E.V., Judina, I.A., Doronina, O.S., Nikiforova, S.A. Vlijanie diatomita i mineral'nyh udobrenij na urozhajnost' i kachestvo korneplodov saharnoj svekly [Influence of diatomite and mineral fertilizers on yield and quality of sugar beet roots]. *Agrohimiya* [Agrochemistry], 2007, no. 6, pp. 27-31.
5. Ignat'ev, N.N. Grechin, P.I., Kobjakov, A.A. Vlijanie vulkanicheskikh porod na pogloshhenie kisloroda teplichnym gruntom i kornjami ogurca [Influence of volcanic rocks on oxygen uptake by hothouse soil and cucumber roots]. *Izv. TSHA* [News of TAA], 1994, Issue 3, pp. 92-99.
6. Tavrovskaja, O.L. Ob ispol'zovanii othodov metallurgicheskoy promyshlennosti [On the use of waste metallurgical industry]. *Himizacija sel'skogo hozjajstva* [Agrarian chemistry], 1992, no.4, pp. 55-61.
7. Abed-Ashtiani, F., Kadir, J.B., Selamat, A.B., Hanif, A.H., Nasehi, A. Effect of Foliar and Root Application of Silicon Against Rice Blast Fungus in MR219 Rice Variety. *Plant Pathol. J.*, 2012, Vol. 28(2), pp. 164-171.
8. Guntzer, F., Keller, C., Meunier, J-D. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012, Vol. 32 (1), pp. 201-213.

9. Gomes, F.B., Campos de Moraes, J., Santos, C.D., Goussain, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 2005, Vol. 62(6), pp. 547-551.
10. Kudinova, L.I. Vliyanie kremniya na rost, velichinu ploshhadi list'ev i adsorbcionnuju poverhnost' kornej rastenij [Influence of silicon on growth, size of the leaf area and the adsorption surface of plant roots]. *Agrohimija [Agrochemistry]*, 1975, no. 10, pp. 117-120.
11. Gololobova, O.O., Telegina, N.E., Tolstjakova, V.V. Dija kremnijevo-kalijnogo listovogo pidzhivlennja na vmist biogennih elementiv ta detoks-efekt v mis'kih zelenih nasadzhenнях [Effect of silicon-potassium leaf feeding on the content of biogenic elements and detox effect in urban green plantations]. *Ljudina ta dovkillja. Problemi neoekologii' [Human and the environment. Problems of neocology]*, 2015, no. 3-4, pp. 103-109.
12. Matychenkov, I.V. (2014). *Vzaimnoe vlijanie kremnievych, fosfornych i azotnych udobrenij v sisteme pochva-rastenie*. Diss. k-ta. biol. Nauk [The mutual influence of silicon, phosphorus and nitrogen fertilizers in the soil-plant system. PhD biol. Sci. diss.]. Moscow, 136 p.
13. Ma, J.F. Role of Silicon in Enhancing the Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. *Soil Sci. Plant Nutr*, 2004, Vol. 50 (1), pp. 11-18.
14. Slastja, I.V., Lozhnikova, V.N. Vlijanie kremniya na rost rastenij i balans jendogennyh fitogormonov jarovogo jachmenja [The influence of silicon on plant growth and the balance of endogenous phytohormones of spring barley]. *Agrohimija [Agrochemistry]*, 2010, no.3, pp. 34-39.
15. Ahmad, A., Afzal, M., Ahmad, A.U.H., Tahir, M. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa*). *Cercetări Agronomice în Moldova*, 2013, Vol. XLVI (3), pp. 21-28.
16. Matychenkov, V.V. Kremnievye udobrenija kak faktor povyshenija zasuhoustojchivosti rastenij [Silicon fertilizers as a factor of increasing plant drought tolerance]. *Agrohimija [Agrochemistry]*, 2007, no.5, pp. 63-67.
17. Ma, J.F., Miyake, Y., Takahashi, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, Amsterdam, 2001, pp. 17-39.
18. Meharg, A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? *Environmental and Experimental Botany*, 2015, Vol. 120, pp. 8-17.
19. Volkodav, V.V. (2011). *Mizhnarodni pravila z testuvannja nasinnja: Navch. posib.* [International rules for testing seeds: Teaching. manual]. Kherson, Oldi-plus, 414 p.
20. Musijenko, M.M., Zhuk, I.V. Molekuljarni mehanizmi indukcii' zahisnih reakcij roslin v umovah posuhi [Molecular mechanisms of induction of protective reactions of plants under conditions of drought]. *Ukrai'n'skij botanichnij zhurnal [Ukr. Bot. J.]*, 2009, Vol. 66 (4), pp. 580-595.
21. Liang, Y., Chen, Q., Zhang, W., Ding, R. (2002). Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activities and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley. *Abs. of II Silicon in Agriculture Conf*, pp. 140-151.
22. Amirjani, M.R. Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. *Int. J. Bot.*, 2011, Vol. 7, pp. 73-81.
23. Marafon, A.C., Endres, L. Silicon: fertilization and nutrition in higher plants. *Rev. Cienc. Agrar*, 2013, Vol. 56(4), pp. 380-388.
24. Kolesnikov, M.O., Pashhenko, Ju.P. Dija kremniivo-kalijnogo dobriva «Agroglass stimul» na prorostannja pshenici ozimoi' v umovah sol'ovogo stresu [Effect of silicon-potash fertilizer "Agroglass stimul" on germination of winter wheat under salt stress]. *Visnik Umans'kogo Nac. un-tu sadivnictva [Bulletin of the Uman National University of gardening]*, 2017, no.1, pp. 135-141.
25. Balakhnina, T., Borkowska, A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *Int. Agrophys*, 2013, Vol. 27, pp. 225-232.
26. Surapornpiboom, P., Julsrigival, S., Senthong, C., Karladee, D. Effect of silicon on upland rice under drought condition. *CMU. J. Nat. Sci*, 2008, Vol. 7(1), pp. 163-171.
27. Shekari, F., Abbasi, A., Mustafavi, S.H. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. *J. of the Saudi Society of Agricultural Sci*, 2017, Vol. 16, pp. 367-374.
28. Tale Ahmad S., Haddad R. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech J. Genet. Plant Breed*, 2011, Vol. 47(1), pp. 17-27.
29. Kolesnikov, M.O., Pashhenko, Ju.P., Suprun, P.S. Vplyv kremnijevo-kalijnogo dobriva «Agroglass stimul» na prorostannja nasinnja pshenyci ozymoi' [The effect of silicon-potassium fertilizer «Agroglass stimul» on the winter wheat germination]. *Tavrijs'kij naukovyj visnyk. Naukovyj zhurnal [Taurian scientific bulletin]*, 2017, Issue 97, pp. 69-74.

Действие кремний-калийного удобрения Agroglass Stimul на прорастание пшеницы озимой в условиях водного дефицита

М.О. Колесников, Ю.П. Пашенко

Существенное торможение ростовых процессов и потери урожая сельскохозяйственных культур в мире происходят по причине засухи. Использование биопрепаратов и комплексных удобрений повышает устойчивость культур к абиотическим стрессам и является перспективным. Известно, что кремний усиливает резистентность зерновых культур к ряду неблагоприятных факторов окружающей среды. В статье освещены вопросы влияния кремниево-калийного удобрения на прорастание семян и морфометрические показатели проростков пшеницы озимой в условиях водного дефицита.

Исследования проводились с использованием семян пшеницы озимой сорта Антоновка. Для предпосевной обработки семян использовали удобрение Agroglass Stimul в концентрациях 5, 15, 30, 60 мл/л.

Установлено, что удобрение Agroglass Stimul в концентрации 5-15 мл/л увеличивало всхожесть семян пшеницы озимой на 5-6 %, выступая регулятором осмотического давления в тканях растений. В условиях водного стресса Agroglass Stimul во всех исследуемых концентрациях вызвал увеличение сырой массы проростков максимально на 26,6 % и корней пшеницы на 27,4 %. Сухая масса проростков превышала контрольные значения на 16,5 %, а корней – на 69,1 % под воздействием удобрения в концентрациях 5-30 мл/л. Наиболее эффективно увеличивал длину ростков пшеницы в условиях водного дефицита Agroglass Stimul в концентрациях от 5 до 30 мл/л. Установлено, что кремнево-калийное удобрение усиливало ростовые процессы, нивелируя негативный эффект водной депрессии. Полученные данные подтверждают результаты положительного влияния кремний-калийных удобрений на формирование продуктивности зерновых культур, что указывает на перспективность их дальнейшего исследования.

Ключевые слова: пшеница озимая, водный дефицит, кремний-калийное удобрение, рост, развитие, всхожесть.

The effect of of silicum-potassium fertilizer «Agroglass stimul» on winter wheat germination under water deficiency

M. Kolesnikov, Yu. Paschenko

Winter wheat relates to the leading grain-forage crops in Ukraine and occupies about 60% of sown area at steppe region. The water deficit has negative impact on winter wheat growth, development and productivity. Significant physiological and biochemical changes occur in a plant in the course of its adaptation to water stress. The solving of the problem of plants resistance to stress and increasing their productivity is a priority research area in agriculture.

One of the possible ways to activate growth processes and raise the genetic potential of plants is using biostimulants and complex fertilizers. The silicum-potassium fertilizers have been widely introduced lately due to their multifunctional properties. However, the agrobiological effect of this fertilizers on crops has not been studied properly.

Positive effect of silicic fertilizers was revealed on wheat, barley, rice, sorghum, corn, sunflower, beans, vegetables and citrus crops. Silicum can stimulate plant natural protection reactions through participating in the methabolism. It is proved, that silicum nutriets optimization results in the roots weight and volume increase and improves root's respiration. The assimilation of micro- and macronutrients raises under the silicon effect. The soluble forms of silicum-potassium fertilizers increase leaf surface of grain crop, activate photosynthetic apparatus, increase the number of productive spikes under drought.

The study aim was to determine the influence of silicum-potassium fertilizer «Agroglass Stimul» on germination of the winter wheat under condition of water deficiency.

Seeds of Antonovka variety winter wheat were used for the laboratory study. The control variant seeds were soaked in distilled water for 4-6 hours. The experimental variants seeds were soaked in solutions of silicum-potassium fertilizer «Agroglass Stimul» (5, 15, 30, 60, 100 ml/l) at 22±2 °C. Silicum-potassium fertilizer «Agroglass Stimul» was produced by "PCC Ukrsilikat" (Zaporizhzhia city) with content of SiO₂-21,3 % and K₂O-8,3 %. Seeds were germinated for 8 days according to the international protocols. Seeds were grown at 5 % solution of PEG-6000 for water deficiency stress induction. The laboratory germination, length and weight of seedlings and roots of wheat were determined in the course of the experiment. The results were processed statistically.

Germination of wheat seeds on 5 % solution of osmotic compound polyetheleneglycol (PEG-6000) create the condition of water deficiency and caused germination decrease of by 9 %.

Seed pre-sowing treatment with «Agroglass Stimul» solutions (5-15 ml/l) leveled the negative effect of water depression which indicates germination energy increase by 3.8–5.3 % and laboratory germination of wheat seeds increase by 3.8–6.0 % to the control index. However, high concentration of fertilizer (60ml/l) inhibited germination of wheat seeds under the condition of water deficiency.

The incubation of wheat plants on PEG 6000 solution for 8 days resulted in the essential decrease of both seedlings raw weight by 1.7 times and roots – by 1.43 times compared with the crops grown in water medium. Silicum-potassium fertilizer «Agroglass Stimul» raise the raw weight of wheat seedlings by 5.7 %-26.6 % and root by 17.5 %-27.4 %, respectively, in comparison with untreated seeds.

When determining the dry mass it was established that «Agroglass Stimul» fertilizer provided the accumulation of mineral part of the biomass under water stress condition. Similar results were obtained on winter wheat seedlings under condition of salt stress model. The dry weight of seedlings exceeded the control by 12.6 %–16.5 % and roots dry weight by 34.5–69.1 % under the influence of fertilizer in concentration of 5 ml/l-30 ml/l. It is necessary to mention, that even maximum concentration of «Agroglass Stimul» (60 ml/l) didn't show negative affect under water deficiency conditions, but, on the contrary, it stimulated the accumulation of wheat biomass on the early stage of development.

Inadequate water supply is known to inhibit the processes of cells elongation are inhibited which causes stunted plant. Nevertheless, «Agroglass Stimul» promoted seedlings elongation by 13-14 % and roots elongation by 16–30 % compared with the control plants and in a case of pre-sowing seeds treatment. The fertilizer concentration of 5-30 ml/l increased the length of wheat seedlings the most effectively under water deficiency condition.

Thus, silicum-potassium fertilizer «Agroglass Stimul» indirectly influences crop water balance normalization through regulating cells osmotic penetration.

Seeds pre-sowing treatment with «Agroglass Stimul» (5-15 ml/l) levels the negative effect of water depression, which indicates wheat's seeds energy growth and laboratory germination by 5-6 %. It was established that silicum-potassium fertilizer, being as a regulator of osmotic pressure of plant tissues, enhanced growth processes in water stress condition under all studied concentration range (5-60 ml/l).

Key words: winter wheat, water stress, silicum-potassium fertilizer, growth, development, germination.

Надійшла 06.04.2018 р.