

## ВИКОРИСТАННЯ СПОЛУК КРЕМНІЮ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Н.В. Росіцька

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, відділ алелопатії, *botanicka@narod.ru*

*Досліджено вплив кремнієвмісних сполук на покращення мінерального живлення та підвищення посухостійкості рослин *Triticum aestivum* L.*

*Ключові слова: *Triticum aestivum* L., анальцим, трепел, діоксид кремнію.*

**Вступ.** В сучасному світі в умовах зниження родючості ґрунтів значну увагу необхідно приділити пошуку нових, в тому числі нетрадиційних, екологічно чистих методів підвищення продуктивності рослин. Таким вимогам відповідають кремнієвмісні сполуки, хоча до цього часу вони є нетрадиційними добривами і використовуються рідко.

За літературними даними кремній позитивно впливає на покращення ґрунтової родючості, вологозабезпеченості, посухо- і морозостійкості рослин, зменшення засолення ґрунтів [15, 21, 24, 25, 26], а також здатний захищати рослини від токсичного впливу високих доз Mn, Al, відновленого Fe [11]. Кремній підвищує продуктивність фотосинтезу, врожайність сільськогосподарських культур, захищає рослини від шкідників та хвороб, знижує дихання, стимулює засвоєння азоту рослинами [11, 15, 22, 26].

Оскільки останнім часом кількість посушливих років значно збільшилась, особливої актуальності набувають дослідження, пов'язані з використанням кремнієвмісних природних мінералів для підвищення посухостійкості рослин.

**Об'єкти і методи досліджень.** Рослини вирощували в лабораторних умовах при температурі 22-24°C протягом 3 тижнів. Об'єкти досліджень – рослини *Triticum aestivum* L. сорт «Поліська 90» (слабостійкий до посухи). Вологість сірого лісового опідзоленого ґрунту підтримували на рівні 20, 40, 60 та 80% від повної вологості. Як джерело кремнію вносили кремнієвмісні природні мінерали (анальцим і трепел) та діоксид кремнію (SiO<sub>2</sub>) у дозі 250 мг на 100 г ґрунту. Концентрацію кремнієвмісних сполук вибрано на основі результатів попередніх досліджень.

Перебіг процесу пероксидації ліпідів вивчали за вмістом тіобарбітурової кислоти активних продуктів (ТБКАП). Концентрацію ТБКАП визначали за вмістом малонового діальдегіду (МДА) [5]. Пролін екстрагували з свіжозібраних

листіків 3% розчином сульфосаліцилової кислоти. Кількісний вміст визначали спектрофотометрично з застосуванням якісної реакції з нінгідриновим реактивом за методикою Стаценка [18]. Активність каталази (КФ 1.11.16) визначали за допомогою титрометричного методу, який ґрунтується на обліку кількості розкладеного водню під дією ферментативного препарату [12]. Вміст хлорофілів та каротиноїдів вивчали в ацетоновій витяжці без попереднього їх розділення, а концентрацію пігментів обчислювали за рівняннями Хольма-Веттштейна і виражали у мг/г сирової маси [13]. Концентрацію розчинних цукрів аналізували за Г.С. Бертраном [12]. Інтенсивність транспірації визначали методом реєстрації змін ваги зрізаних транспіруючих листків через короткі проміжки часу за Івановим. Повторність дослідів 6-10-ти кратна.

Отримані дані опрацьовували статистично за загальноприйнятими в біології методиками із застосуванням пакета прикладних програм „Excel”. У роботі наведені середні арифметичні дані з урахуванням похибок. Відмінності вважали вірогідними, якщо  $p \leq 0,05$  [8].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Аналіз отриманих результатів показав збільшення лінійних розмірів рослин у всіх варіантах дослідів за умов внесення кремнію (рис.1, рис.2). Зокрема, внесення анальциму стимулювало розвиток підземної і надземної частин рослин у 1,1 — 1,2 та у 1,1 — 1,7 раза відповідно у всіх варіантах дослідів. При чому найвищі показники приросту надземної частини спостерігались на фоні 40% зволоження. При внесенні трепелу для надземної частини відсутні відмінності при 20% та 60% вологості, а на фоні 40% та 80% спостерігалось збільшення приросту лінійних розмірів у 1,3 раза. Для підземної частини рослин при зволоженні 60% та 80% виявлено зростання розвитку коренів у 1,6 — 1,9 раза відносно контролю. У варіанті дослідів з діоксидом кремнію спо-

стерігалось незначне збільшення лінійних розмірів як надземної, так і підземної частини рослин. Хоча для підземної частини рослин

притаманне різке підвищення показників з незначною флуктуацією в межах зволоження від 40 до 80 % від ПВ.

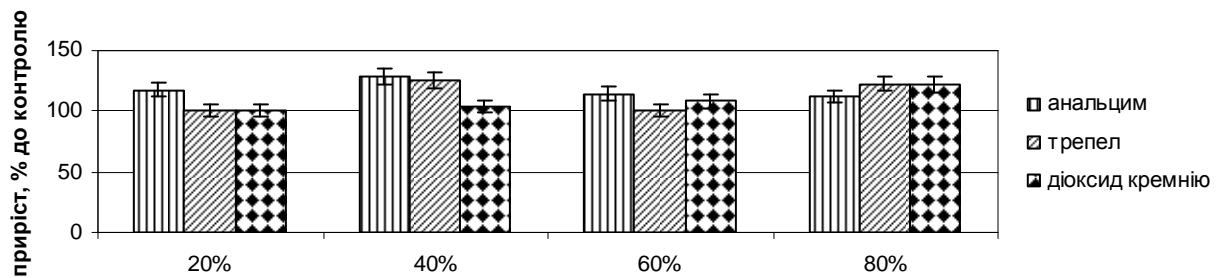


Рис. 1. Приріст надземної частини рослин *Triticum aestivum* при внесенні сполук кремнію

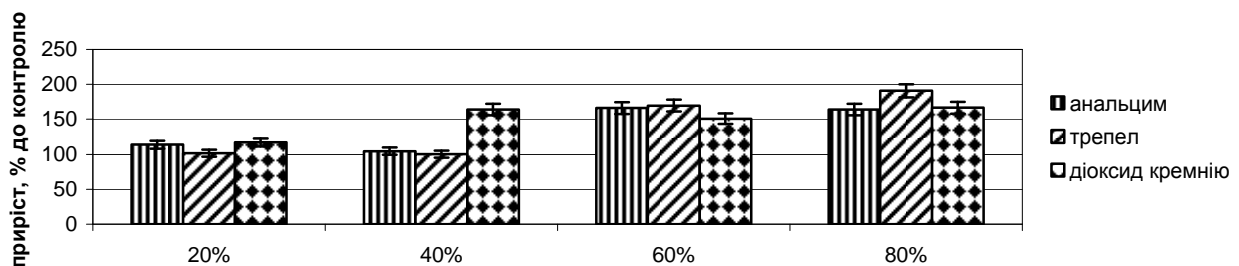


Рис. 2. Приріст підземної частини рослин *Triticum aestivum* при внесенні сполук кремнію

Важливою функціональною та надійною діагностичною ознакою адаптаційного процесу у рослин є кількісний і якісний склад пігментів. Оскільки фотосинтетична система – найчутливіший індикатор умов існування рослин, і від її стану залежить пластичність виду [17, 27], ми дослідили особливості розподілу фотосинтетичних пігментів у листках за різних умов зволоження (табл.1).

З'ясовано, що внесення сполук кремнію збільшує загальну кількість хлорофілу. Зокрема, вміст хлорофілу за умови зволоження в межах 20 – 60 % від ПВ при внесенні анальциму зростає в 1,4 – 2,7 рази, трепелу в 1,6 – 2,8 рази, діоксиду кремнію – в 1,8 – 3,3 рази. Але при 80 % вологості цей показник, навпаки, зменшувався.

Поряд з хлорофілом важливу роль у фотосинтетичних процесах рослин відіграють також каротиноїди, які не тільки вловлюють і постачають додаткову світлову енергію до реакційних центрів фотосистем I і II, але і захищають фотосистему від деструктивної дії світла і кисню. У більшості випадків каротиноїди менш чутливі до водного стресу, ніж хлорофіли [19]. Нашими

експериментами показано позитивний вплив сполук кремнію на біосинтез каротиноїдів.

Відомо, що водний дефіцит викликає порушення фотосинтетичних процесів і відтоку асимілятів у різні органи, у т. ч. і листки [14]. Згідно літературних даних, підвищення рівня цукрів пригнічує ріст рослин, зменшує ефективність фотосинтезу, спричинює акумуляцію антоціанів, хлороз та некроз листків [16].

Аналіз отриманих результатів показав (табл.2) зниження вмісту розчинних цукрів у всіх варіантах дослідження порівняно з контрольними рослинами. Найбільш достовірне зменшення вмісту моно- та дисахаридів зафіксовано у варіантах з 20 % зволоженням. Зокрема, при внесенні анальциму зниження концентрації моноцукрів і дисахаридів складало 190 і 120%, а для варіанту з трепелом і діоксидом кремнію ці величини склали 270 і 110% та 140 і 150% відповідно.

Дані, отримані при дослідженні транспірації листків показали зменшення інтенсивності показників при внесенні кремнієвмісних сполук (рис.3).

**Таблиця 1**

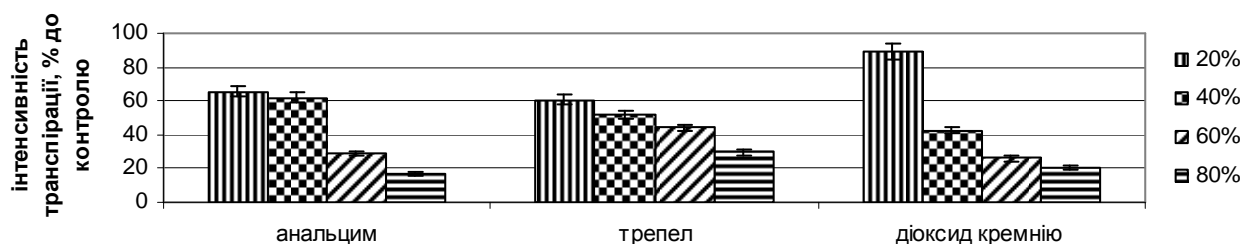
**Вміст фотосинтезуючих пігментів у листках озимої пшениці залежно від умов зволоження, мг / г сирової речовини**

Варіант досліджу	Хлорофіл		Каротиноїди	Сума хл. а+b	Хл. а / хл. b	Сума хл. а+b/ каротиноїди
	a	b				
Контроль						
20%	0,20±0,008	0,13±0,004	0,06±0,001	0,33±0,013	1,57±0,047	5,50±0,165
40%	0,33±0,013	0,14±0,004	0,06±0,001	0,48±0,019	2,33±0,069	8,00±0,200
60%	0,19±0,008	0,08±0,002	0,05±0,001	0,27±0,011	2,32±0,093	5,40±0,270
80%	0,58±0,017	0,23±0,007	0,11±0,005	0,81±0,028	2,50±0,051	7,36±0,268
Анальцим						
20%	0,63±0,022	0,25±0,005	0,14±0,005	0,89±0,035	2,57±0,100	6,36±0,184
40%	0,45±0,016	0,20±0,009	0,09±0,004	0,65±0,019	2,32±0,104	7,22±0,217
60%	0,43±0,009	0,18±0,006	0,09±0,003	0,61±0,016	2,40±0,110	6,68±0,300
80%	0,60±0,025	0,25±0,009	0,13±0,005	0,85±0,031	2,43±0,095	6,54±0,196
Трепел						
20%	0,54±0,019	0,20±0,006	0,10±0,004	0,75±0,022	2,67±0,120	7,50±0,310
40%	0,55±0,022	0,23±0,007	0,11±0,004	0,77±0,023	2,43±0,120	7,00±0,336
60%	0,54±0,021	0,23±0,007	0,10±0,004	0,76±0,030	2,38±0,117	7,60±0,303
80%	0,50±0,015	0,20±0,009	0,09±0,003	0,70±0,032	2,45±0,098	7,78±0,370
Діоксид кремнію						
20%	0,77±0,035	0,32±0,013	0,14±0,005	1,08±0,027	2,43±0,117	7,71±0,308
40%	0,72±0,028	0,28±0,012	0,13±0,004	1,00±0,020	2,62±0,076	7,70±0,362
60%	0,35±0,015	0,15±0,005	0,08±0,003	0,50±0,015	2,36±0,086	6,25±0,175
80%	0,56±0,019	0,23±0,008	0,10±0,004	0,80±0,027	2,40±0,108	8,00±0,235

**Таблиця 2**

**Вплив сполук кремнію на вміст розчинних вуглеводів у листках, %**

Вологість коренезростання	Варіант досліджу			
	Контроль	Анальцим	Трепел	Діоксид кремнію
Моноцукри				
20%	0,57±0,023	0,27±0,010	0,21±0,007	0,40±0,016
40%	0,21±0,007	0,15±0,006	0,10±0,003	0,15±0,006
60%	0,17±0,006	0,10±0,003	0,10±0,003	0,16±0,005
80%	0,10±0,004	0,10±0,004	0,10±0,004	0,04±0,001
Дицукри				
20%	0,89±0,027	0,74±0,031	0,77±0,027	0,59±0,023
40%	0,95±0,033	0,87±0,035	0,88±0,034	0,82±0,040
60%	0,94±0,042	0,90±0,028	0,88±0,035	0,78±0,023
80%	0,89±0,036	0,79±0,030	0,79±0,031	0,83±0,037



**Рис. 3. Зміна інтенсивності транспірації *Triticum aestivum* при внесенні кремнієвмісних сполук**

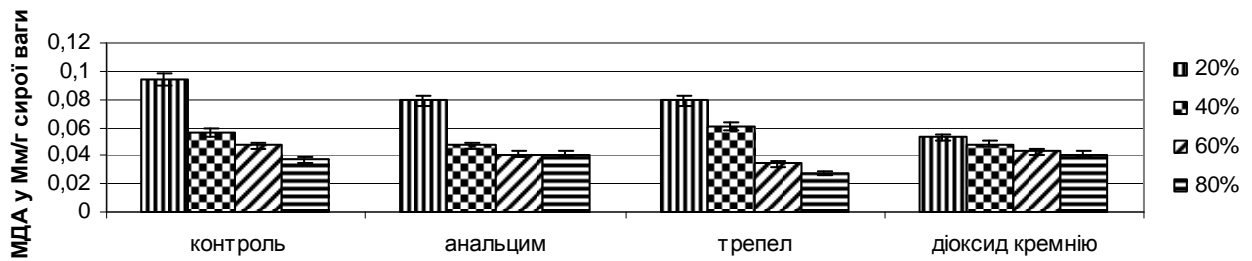


Рис.4. Концентрація МДА у листках озимої пшениці за різних умов зволоження

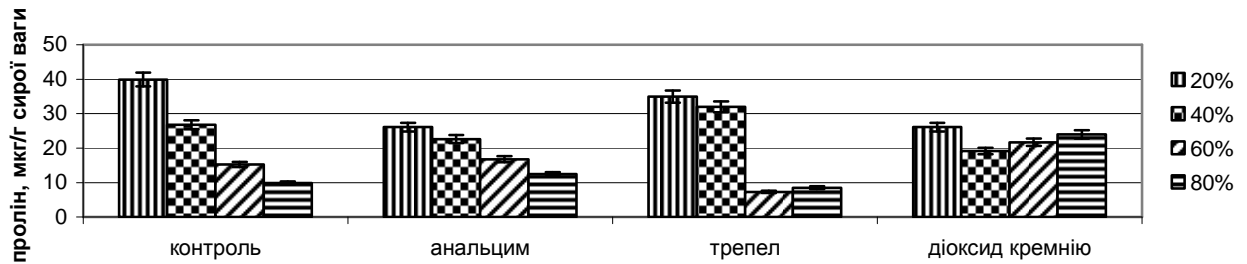


Рис. 5. Вміст проліну у листках озимої пшениці за різних умов зволоження

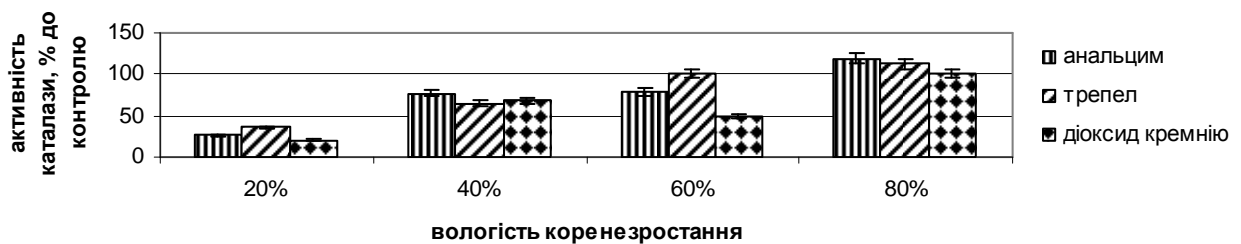


Рис. 6. Зміна активності каталази в листках озимої пшениці при внесенні кремнієвмісних сполук

Крім того, за умов дії посухи порушується гомеостатична рівновага, змінюється рівень ПОЛ та стан прооксидантно-антиоксидантної системи у біологічних мембранах рослин. Вважається, що активація ПОЛ є однією з перших неспецифічних реакцій у загальному сприйнятті рослинних організмів стрес-факторів, яка може ініціювати включення інших механізмів захисту [1, 19]. Так, концентрація МДА у всіх варіантах дослідження зменшувалась зі збільшенням вологозабезпечення рослин (рис. 4). Збалансованість між пероксидним окисненням і антиоксидантною активністю є необхідною умовою для підтримання нормальної життєдіяльності рослинного організму. Відомо, що завдяки антиоксидантним властивостям пролін здатний послаблювати процеси пероксидного окиснення [9, 20, 23]. Доведено, що дефіцит вологи сприяє підвищенню синтезу проліну (рис. 5). При цьому у варіантах з діоксидом кремнію вперше встановлено збільшення концентрації проліну на фоні зростання водного забезпечення рослин.

Підвищення активності каталази в тканинах рослин свідчить про формування захисного ме-

ханізму до стрес-факторів, у тому числі, і посухи [3]. Оскільки каталаза активує розщеплення пероксиду водню до кисню та води, тим самим зменшує токсичний прояв негативних чинників довкілля [10]. Аналіз отриманих даних засвідчив позитивний вплив сполук кремнію на активність каталази (рис. 6). У досліді спостерігалась пряма залежність між рівнем забезпечення рослин вологою та активністю даного ферменту.

**Висновки.** Таким чином, отримані результати доводять доцільність використання кремнієвмісних природних мінералів для покращення мінерального живлення, підвищення посухостійкості рослин *Triticum aestivum* та стимуляції ростових процесів за рахунок активізації антиоксидантної системи.

Отже, багатофункціональна дія сполук кремнію, у тому числі й кремнієвмісних мінералів на сільськогосподарські рослини, простота та зручність їх застосування у землеробстві доводять перспективність їхнього використання і, безперечно, потребують подальшого вивчення.

## Список літератури

1. Бараненко В.В. Пероксидне окиснення ліпідів у листках *Sium latifolium* L. за різних умов водозабезпечення // Укр. ботан. журн. – 2009. – Т. 66, № 5. – С. 713 – 721.
2. Григорюк І.А., Ткачев В.И., Савинский С.В., Мусяенко Н.Н. Современные методы исследований и оценки засухо- и жароустойчивости растений. – К.: Наук. світ, 2003. – 139 с.
3. Григорюк І.П., Нижник Т.П. Фізіологічні основи регуляції посухостійкості картоплі. – Хмельницький – Київ: Видавництво Сергія Пантюка, 2004. – 236 с.
4. Иванов Л.А., Сіліна А.А., Цельнікер Ю.Л. Про методику швидкого зважування для визначення транспірації в природних умовах // Ботанічний журнал. – 1950. – № 2. – С. 75 – 83
5. Кабашникова Л.Ф., Пшибытко Н.Л., Абрамчик Л.М. Методы оценки физиологического состояния растений в условиях засухи. – Минск: Белорусская наука. – 2007. – 42 с.
6. Капранов В.Н. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений и урожайность зерновых культур // Агрохимия. – № 7. – 2009. – С. 34 – 43.
7. Козлов Ю.В., Самсонова Н.Е. Использование соединений кремния при выращивании зерновых культур // Плодородие. – № 6. – 2009. – С. 20 – 21.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа. – 1990. – 352 с.
9. Маменко Т.П., Роїк Л.В. Вплив саліцилової кислоти на активність антиоксидантних процесів в озимій пшениці за умов різного водозабезпечення // Физиол. и биохим. культ. раст. – 2008. – Т. 40, № 1. – С. 69 – 77.
10. Пацула О., Кобилецька М., Терек О., Балажі Ш., Товт М. Оксидативні реакції рослин прируслової ділянки ріки Тиса // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2008. – Вип. 4. – С. 201 – 204.
11. Пашкевич Е.Б. Кирюшин Е.П. Роль кремния в питании растений и в защите сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 52 – 57.
12. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Агропромиздат, 1985. – 255 с.
13. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. – К.: Наукова думка, 1976. – 336 с.
14. Пшибытько Н.Л., Калитухо Л.Н., Волкова Е.В., Кабашникова Л.Ф. Роль сахаров в адаптации фотосинтетического аппарата к стрессовым факторам // Физиол. и биохим. культ. раст. – 2003. – Т. 35, № 4. – С. 330 – 341.
15. Самсонова Н.Е. Кремний в почве и растениях // Агрохимия. – № 6. – 2005. – С. 76 – 86.
16. Сиваш О.О., Михайленко Н.Ф., Золотарьова О.К. Цукри як ключова ланка в регуляції метаболізму фотосинтезуючих клітин // Укр. ботан. журн. – 2001. – Т. 58, №1. – С. 121 – 127.
17. Соколовська О.Г., Гуляев Б.І. Фотосинтез і посухостійкість листків // Физиология рослин в Україні на межі тисячоліть. – Т.1. – Київ, 2001 – С. 97 – 101.
18. Стаценко А.П. Биохимический прогноз жароустойчивости у зерновых и бобовых культур // Достижения науки и техники – АПК. – 1999. – № 7. – С. 29 – 30.
19. Таран Н.Ю. Каротиноїди фотосинтетичних тканин за умови посухи // Физиология и биохимия культ. растений. – 1999. – № 6. – С. 414 – 422.
20. Чижикова О.А., Паладіна Т.О. Активність ключових ферментів синтезу та розкладу проліну в проростках кукурудзи за умов засолення та обробки синтетичними регуляторами росту // Доп. НАН України. – 2007. – № 3. – С. 191 – 195.
21. Ahmad F., Rahmatullah, Aziz T., Maqsood M., Tahir M., Kanwal Sh. Effect of silicon application on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under water deficiency stress // Emir. J. Food Agric. – 2007. – № 19 (2). – P. 1 – 7.
22. Fauteux F., Rémus-Borel W., Menzies J., Bélangier R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi // FEMS Microbiology Letters. – 2005. – № 249. – P. 1 – 6.
23. Gong H., Zhu X., Chen K., Wang S., Zhang Ch. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought // Plant Science. – 2005. – № 169. – P. 313 – 321.
24. Hamayun M., Sohn E., Kha S., Shinwari K., Lee A. Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress on growth and endogenous plant growth hormones of soybean (*Glycine max* L.) // Pak. J. Bot. – 2010. – № 42 (3). – P. 1713 – 1722.
25. Melo S., Korndörfer G., Korndörfer C., Lana R., Santana D. Acúmulo de silício e tolerância ao déficit hídrico em capins do gênero *Brachiaria* // Scientia Agricola. – 2003. – V. 60, № 4. – P. 755 – 759.
26. Sacała E. Rola krzemu w odporności roślin na stress wodny // J. Elementol. – 2009. – № 14 (3). – S. 619 – 630.
27. Shen X., Zhou Y., Duan L., Li Z., Eneji A., Li J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet – B radiation // J. Plant Physiol. – 2010. – № 167 (15). – P. 1248– 1252.

## THE SILICON COMPOUNDS FOR BIOLOGICAL AGRICULTURE

N.V. Rositska

*The influence of silicon compounds for improving the mineral nutrition on plants and increasing drought resistance of *Triticum aestivum* was established.*

*Key words: *Triticum aestivum* L., analcime, tripoli, silicon dioxide.*

Одержано редколегією 12.01.2012