
ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 661.162.6

ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ ФОТОСИНТЕЗА В ПРОРОСТКАХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ КАПУСТЫ

© И. А. Разлуго, Е. В. Немцова
I. A. Razlugo, E. V. Nemtsova

The synthetic silica influence on growth characteristics and photosynthetic pigment content in the shoots of some species of cabbage

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского», кафедра биологии
241036, Россия, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. Тел.: +7 (4832) 66-68-34, e-mail: irina.razlugo@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния препаратов синтетического диоксида кремния на морфометрические и физиологические параметры проростков некоторых видов капусты (пекинская капуста сорт «Бокал», цветная капуста сорт «Сноубол 123», белокочанная капуста сорт «Слава 1305»). Препараты на основе синтетического диоксида кремния «Ковелос-Сорб», «Silica», «Ковелос 3.5» являлись эффективными для стимуляции прорастания семян белокочанной капусты «Слава 1305». Оптимальным для проведения предпосевной обработки стало опудривание семян аморфным кремнезёмом в количестве 100–150 мг/г или замачивание в кремнезоле с концентрацией 0,0001%, что приводило к увеличению параметров роста в 1,3–1,7 раза. Предпосевная обработка кремнезёмсодержащими препаратами приводила к увеличению содержания пигментов фотосинтеза в проростках пекинской капусты «Бокал» и белокочанной капусты «Слава 1305». На основании проведённых исследований, препараты кремнезёма могут быть рекомендованы к использованию в качестве регуляторов роста при проращивании семян перечисленных видов капусты.

Ключевые слова: синтетический диоксид кремния, регуляторы роста растений, параметры роста, капуста белокочанная, капуста пекинская, капуста цветная.

Abstract. The article presents the results of studying synthetic silica influence on growth and physiological characteristics of some species of the genus Cabbage (Chinese cabbage var. «Bokal», cauliflower var. «Snowball 123», white cabbage var. «Slava 1305»). The preparation of silicon dioxide «Kovelos-Sorb», «Silica», «Kovelos 3.5» were efficient for the stimulation of white cabbage seed germination (var. «Slava 1305»). The preplant treatment by means of 100–150 mg/g amorphous silica or seed soaking in 0,0001% silica sol had a positive effect and increased the growth parameters 1,3–1,7 times. The application of silicon dioxide was beneficial for the photosynthetic pigment content in sprouts of Chinese cabbage var. «Bokal» and white cabbage var. «Slava 1305». According to this study, the silicon dioxide preparation is recommended as a growth regulator for the cabbage seed germination.

Key words: synthetic amorphous silicon dioxide, plant growth regulators, growth and physiological characteristics, white cabbage, Chinese cabbage, cauliflower.

Введение

Кремнийсодержащие вещества обладают стимулирующим рост некоторых сельскохозяйственных культур действием (Datnoff, 2001; Панова, 2012). Существуют сведения об эффективном воздействии препаратов на основе диоксида кремния на отдельные морфометрические и физиологические показатели культурных растений, а также об увеличении их устойчивости к неблагоприятным факторам среды (Datnoff, 2001; Кемечева, 2003; Матыченков, 2008). Негативного воздействия на организмы, использующие обработанные кремнезёмом растения в качестве пищи, не обнаружено.

Влияние кремнезёма на растения изучено недостаточно – не существует единой технологической схемы использования диоксида кремния в качестве регулятора роста, содержащей описание способов обработки и количества кремнезёма. Технология использования регулятора роста на основе синтетического диоксида кремния может существенно повысить сельскохозяйственный потенциал широко используемых культурных растений.

Целью исследования являлось изучение влияния синтетического аморфного диоксида кремния «Ковелос-Сорб», «Silica» и золя кремнезёма «Ковелос 3.5» на морфометрические показатели и содержание хлорофилла в листьях некоторых видов капусты (капуста пекинская – *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* сорта «Бокал», капуста цветная – *B. oleracea* var. *botrytis* сорта «Сноубол 123», капуста белокочанная – *B. oleracea* var. *capitata* сорта «Слава 1305»).

Методика исследования

В работе использовались синтетический порошкообразный препарат «Ковелос-Сорб» (аморфный кремнезём), золь кремниевой кислоты «Ковелос 3.5», производимые ООО «Экокремний», и аморфный диоксид кремния «Silica», производимый «Sigma-Aldrich». Препарат «Ковелос-Сорб» содержит синтетический аморфный высокочистый диоксид кремния (98 %) с высокоразвитой поверхностью. Кремнезоль «Ковелос 3.5» представляет собой коллоидный раствор кремниевой кислоты с массовой долей в пересчёте на диоксид кремния не менее 3,5%. Препарат «Silica» содержит синтетический аморфный высокочистый диоксид кремния (99%) с высокоразвитой поверхностью.

Объекты исследования: капуста пекинская – *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* сорта «Бокал», капуста цветная – *B. oleracea* var. *botrytis* сорта «Сноубол 123», капуста белокочанная – *B. oleracea* var. *capitata* сорта «Слава 1305».

Семена растений проходили предварительную обработку препаратами диоксида кремния (предпосевное опудривание или замачивание в золе кремнезёма) и проращивались в кристаллизаторах на влажной фильтровальной бумаге в соответствии с ГОСТ 12038-84.

Семена перед посевом обрабатывались методом опудривания аморфным кремнезёмом в количестве 25, 50, 100 и 150 мг/г. При использовании золя семена замачивались в коллоидном растворе кремниевой кислоты «Ковелос 3.5» с концентрацией 0,0001, 0,001 и 0,01% (в пересчёте на диоксид кремния). Контрольный вариант – замачивание в дистиллированной воде.

Для определения морфометрических (длины побегов и корней проростков) и физиологических (содержания хлорофилла) показателей использовали недельные проростки капусты. Каждый вариант опыта закладывался в 3-х кратной повторности по 50 семян.

Содержание пигментов фотосинтеза определяли спектрофотометрическим методом с использованием общепринятой методики (Вавилов, 1983). Экстракцию пигментов осуществляли 96% этанолом путём приготовления усреднённой пробы каждого варианта. Оптическую плотность вытяжек определяли на спектрофотометре СФ-2000.

Статистическая обработка результатов опыта производилась средствами MS Excel'2010.

Результаты исследования

Влияние аморфного кремнезёма и его золя на показатели роста некоторых видов капусты

При использовании аморфного диоксида кремния «Ковелос-Сорб» и «Silica», а также кремнезоля «Ковелос 3.5» для предпосевной обработки семян пекинской капусты «Бокал» и капусты цветной «Сноубол 123» стимулирующего роста эффекта не обнаружено (табл. 1). При обработке семян пекинской капусты «Бокал» препаратами кремнезёма в изучаемых количествах происходило угнетение роста, проявлявшееся в уменьшении длины побега и корней.

Предпосевная обработка препаратами кремнезёма оказывала положительное влияние на рост проростков капусты белокочанной «Слава 1305» (табл. 1). При использовании препаратов аморфного диоксида кремния «Ковелос-Сорб» и «Silica» стимулирующий прорастание семян эффект обнаружен для всех изучаемых количеств препарата (25, 50, 100, 150 мг/г; табл. 1). Применение аморфного кремнезёма «Ковелос-Сорб» в количестве 150 мг/г приво-

дило к увеличению длины проростков капусты белокочанной в 1,4 раза – длина проростков в опытном варианте составила $1,43 \pm 0,05$ см, в контрольном – $1,16 \pm 0,03$ см (рис. 1). При использовании 25–50 мг/г аморфного кремнезёма длина корней в 1,4 раза превышала показатель контрольного варианта. Длина корней опытного варианта при использовании 25 мг/г составляла $4,32 \pm 0,22$ см, контрольного – $3,21 \pm 0,12$ см (рис. 2).

Таблица 1

Влияние препаратов диоксида кремния на морфометрические показатели капусты

Вариант опыта	Параметры	
	Длина побегов, см	Длина корней, см
<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i> сорт «Бокал»		
Контроль (без обработки)	1,51±0,07	4,91±0,25
25 мг/г «Ковелос»	1,24±0,04*	4,50±0,16
50 мг/г «Ковелос»	1,22±0,04*	4,60±0,21
100 мг/г «Ковелос»	1,29±0,04*	4,60±0,16
150 мг/г «Ковелос»	1,21±0,04*	4,15±0,24*
25 мг/г «Silica»	1,17±0,04*	4,16±0,22*
50 мг/г «Silica»	1,22±0,04*	4,97±0,20
100 мг/г «Silica»	1,13±0,04*	3,77±0,17*
150 мг/г «Silica»	1,16±0,04*	3,35±0,15*
Золь 0,0001%	1,12±0,03*	3,67±0,17*
Золь 0,001%	1,25±0,04*	4,27±0,19*
Золь 0,01%	1,25±0,04*	4,14±0,21*
<i>B. oleracea</i> var. <i>botrytis</i> сорт «Сноубол 123»		
Контроль (без обработки)	1,51±0,06	4,05±0,26
25 мг/г «Ковелос»	1,64±0,07	4,45±0,29
50 мг/г «Ковелос»	1,40±0,06	3,93±0,30
100 мг/г «Ковелос»	1,58±0,06	2,61±0,15*
150 мг/г «Ковелос»	1,56±0,09	4,37±0,27
25 мг/г «Silica»	1,41±0,07	3,31±0,23*
50 мг/г «Silica»	1,26±0,08*	3,08±0,26*
100 мг/г «Silica»	1,47±0,08	3,86±0,35
150 мг/г «Silica»	1,60±0,08	4,51±0,32
Золь 0,0001%	1,43±0,06	2,98±0,22*
Золь 0,001%	1,68±0,07	4,16±0,27
Золь 0,01 %	1,23±0,06*	3,76±0,31
<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i> сорт «Слава 1305»		
Контроль (без обработки)	1,16±0,03	3,21±0,12
25 мг/г «Ковелос»	1,43±0,05*	4,32±0,22*
50 мг/г «Ковелос»	1,49±0,05*	4,32±0,17*
100 мг/г «Ковелос»	1,46±0,04*	3,79±0,15*
150 мг/г «Ковелос»	1,60±0,05*	3,83±0,17*
25 мг/г «Silica»	1,76±0,06*	5,07±0,17*
50 мг/г «Silica»	1,59±0,07*	4,30±0,17*
100 мг/г «Silica»	2,00±0,07*	4,71±0,20*
150 мг/г «Silica»	1,79±0,07*	4,44±0,24*
Золь 0,0001 %	1,63±0,07*	4,59±0,18*
Золь 0,001 %	1,08±0,01	3,24±0,09
Золь 0,01 %	1,15±0,03	3,28±0,11

Примечание: * – достоверно при $p \leq 0,05$.

Использование аморфного кремнезёма «Silica» для предпосевной обработки семян капусты белокочанной «Слава 1305» являлось еще более эффективным, по сравнению с применением аморфного кремнезёма «Ковелос». При обработке аморфным кремнезёмом «Silica» в количестве 25 мг/г длина проростков капусты в опытном варианте ($1,76 \pm 0,06$ см) превышала длину проростков контрольного варианта ($1,16 \pm 0,03$) в 1,5 раза (рис. 1); длина корней опытного варианта ($5,07 \pm 0,17$ см) – в 1,6 раза ($3,21 \pm 0,12$ см) (рис. 2).

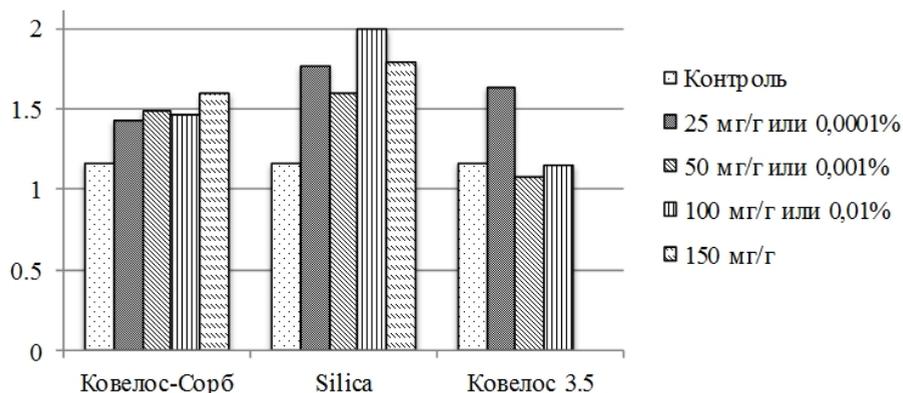


Рис. 1. Влияние препаратов диоксида кремния на длину побегов капусты белокочанной «Слава 1305».

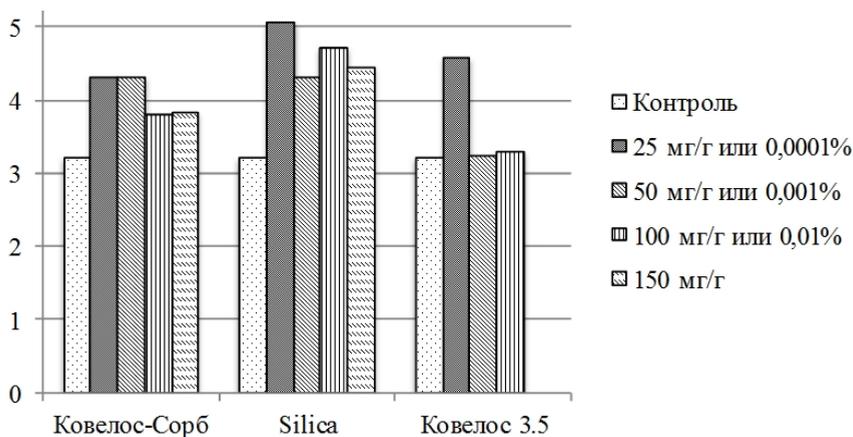


Рис. 2. Влияние препаратов диоксида кремния на длину корней капусты белокочанной «Слава 1305».

При использовании золя диоксида кремния «Ковелос 3.5» для замачивания семян капусты белокочанной «Слава 1305» стимулирующий эффект проявлялся при применении раствора с концентрацией 0,0001% (табл. 1). Длина проростков капусты в опытном варианте ($1,63 \pm 0,07$ см) превышала длину проростков контрольного варианта ($1,16 \pm 0,03$ см) в 1,4 раза (рис. 1); длина корней опытного варианта ($4,59 \pm 0,18$ см) в 1,4 раза превышала длину корней проростков контрольного варианта ($3,21 \pm 0,12$ см) (рис. 2). Применение кремнезоля с концентрацией с более высокой концентрацией (0,01 и 0,001%) не приводило к достоверному изменению параметров роста капусты белокочанной.

Влияние аморфного кремнезёма и его золя на содержание пигментов фотосинтеза в некоторых видах капусты

Известно, что обработка культурных растений кремнийсодержащими препаратами влияет на содержание хлорофилла в тканях. Обработка листьев пшеницы 6 мМ раствором силиката натрия увеличивала содержание хлорофилла при культивировании в условиях водного дефицита (Maghsoudi, 2015). В настоящей работе выявлено, что использование соединений кремния для обработки семян приводило к увеличению содержания хлорофилла в проростках капусты. При предпосевной обработке семян пекинской капусты «Бокал» аморфным кремнезёмом «Ковелос-Сорб» наблюдалось увеличение суммарного хлорофилла при использовании препарата во всех изучаемых концентрациях (табл. 2). Наибольшее количество хлорофилла содержалось в проростках пекинской капусты, семена которой опудривались

препаратом в количестве 150 мг/г. Так суммарное количество пигментов фотосинтеза в опытном варианте было равно 1,06 мг/г, что в 2 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта, который составлял 0,54 мг/г (рис. 3).

Таблица 2

Влияние препаратов кремнезёма на содержание хлорофилла в проростках некоторых видов капусты

Показатель	Контроль	«Silica», мг/г				«Ковелос-Сорб», мг/г				«Ковелос 3.5», %		
		25	50	100	150	25	50	100	150	0,01	0,001	0,0001
<i>Brassica rapa subsp. pekinensis</i> сорт «Бокал»												
Хл «а», мг/г	0,37	0,43	0,35	0,47	0,48	0,47	0,38	0,43	0,62	0,50	0,70	0,61
Хл «б», мг/г	0,25	0,24	0,19	0,29	0,29	0,27	0,24	0,25	0,35	0,30	0,39	0,33
Сум хл., мг/г	0,54	0,74	0,60	0,83	0,84	0,80	0,68	0,74	1,06	0,87	1,18	1,02
<i>B. oleracea var. botrytis</i> сорт «Сноубол 123»												
Хл «а», мг/г	0,43	0,39	0,39	1,18	0,65	0,31	0,32	0,26	0,50	0,42	0,35	0,21
Хл «б», мг/г	0,16	0,20	0,23	0,55	0,34	0,07	0,08	0,05	0,18	0,14	0,07	0,02
Сум хл., мг/г	0,66	0,65	0,68	1,90	1,09	0,44	0,46	0,35	0,77	0,64	0,49	0,28
<i>B. oleracea var. capitata</i> сорт «Слава 1305»												
Хл «а», мг/г	0,25	0,69	1,12	2,04	1,15	0,62	0,70	0,66	0,82	0,40	0,40	1,04
Хл «б», мг/г	0,12	0,24	0,44	0,62	0,49	0,29	0,33	0,29	0,36	0,19	0,20	0,45
Сум хл., мг/г	0,41	1,00	1,76	2,94	1,93	1,00	1,14	1,05	1,30	0,66	0,66	1,72

При обработке семян пекинской капусты «Бокал» аморфным кремнезёмом «Silica» также наблюдалось увеличение суммарного хлорофилла (табл. 2). Наибольшее количество хлорофилла содержалось в проростках капусты, семена которой опудривались препаратом в количестве 150 мг/г. Суммарное количество пигментов фотосинтеза в опытном варианте было равно 0,84 мг/г, что в 1,6 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта, который составлял 0,54 мг/г (рис. 3).

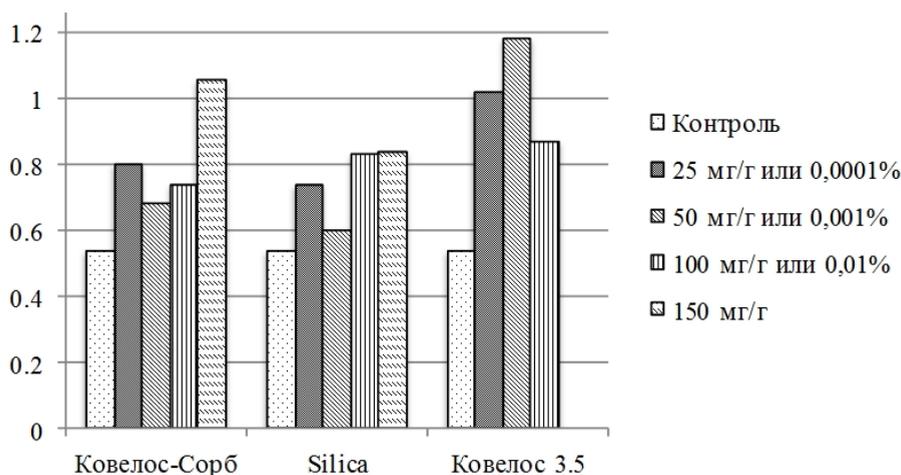


Рис. 3. Влияние препаратов диоксида кремния на суммарное содержание хлорофилла в проростках пекинской капусты «Бокал».

При обработке семян пекинской капусты «Бокал» кремнезёлом «Ковелос 3.5» наблюдалось увеличение суммарного хлорофилла при использовании всех изучаемых концентраций (табл. 2). Наибольшее количество хлорофилла обнаружено в проростках капусты, семена которой обрабатывались препаратом с концентрацией 0,001%. Так, суммарное количество пигментов фотосинтеза в опытном варианте было равно 1,18 мг/г, что в 2,2 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта, который составлял 0,54 мг/г (рис. 3).

Обработка семян белокочанной капусты «Слава 1305» аморфным кремнезёмом «Ковелос-Сорб» приводила к значительному увеличению содержания суммарного хлорофилла (табл. 2). Наибольшее количество хлорофилла содержалось в проростках капусты, семена которой опудривались препаратом в количестве 150 мг/г. Так, суммарное количество пигментов фотосинтеза в опытном варианте было равно 1,3 мг/г, что в 3,2 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта, который составлял 0,41 мг/г (рис. 4).

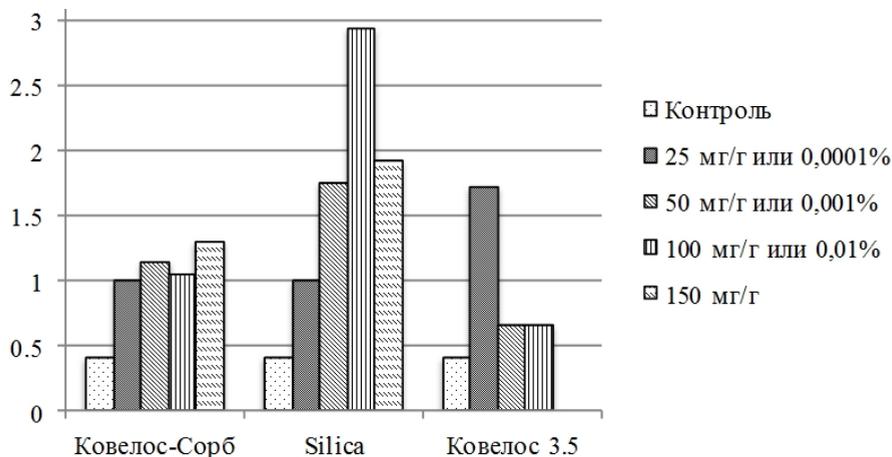


Рис. 4. Влияние препаратов диоксида кремния на суммарное содержание хлорофилла в проростках белокочанной капусты «Слава 1305».

При обработке семян белокочанной капусты «Слава 1305» кремнезёмом «Silica» также наблюдалось увеличение содержания суммарного хлорофилла (табл. 2). Наибольшее количество хлорофилла содержалось в проростках капусты, семена которой опудривались препаратом в количестве 100 мг/г – суммарное количество пигментов фотосинтеза в опытном варианте было равно 2,94 мг/г, что в 7,2 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта, который составлял 0,41 мг/г (рис. 4).

Предпосевная обработка семян белокочанной капусты «Слава 1305» кремнезёлом «Ковелос 3.5» также приводила к увеличению содержания суммарного хлорофилла (табл. 2). Наибольшее количество хлорофилла обнаружено в проростках капусты, семена которой замачивались в препарате с концентрацией 0,0001%. Так, суммарное количество пигментов фотосинтеза в опытном варианте было равно 1,72 мг/г, что в 4,2 раза больше аналогичного показателя контрольного варианта, который составлял 0,41 мг/г (рис. 4).

При обработке семян капусты цветной «Сноубол 123» аморфным кремнезёмом «Ковелос-Сорб» и кремнезёлом «Ковелос 3.5» увеличения количества хлорофилла в листьях проростков не наблюдалось (табл. 2). При опудривании семян цветной капусты «Сноубол 123» препаратом «Silica» в количестве 100–150 мг/г наблюдалось существенное увеличение содержания хлорофилла в проростках опытного варианта, по сравнению с контрольным. Так, суммарное количество хлорофилла в проростках капусты при использовании 100 мг/г кремнезёма составляло 1,9 мг/г, что превышало аналогичный показатель контрольного варианта (0,66 мг/г) в 2,9 раза.

Заключение

Препараты на основе синтетического диоксида кремния «Ковелос-Сорб», «Silica», «Ковелос 3.5» являлись эффективными для стимуляции прорастания семян белокочанной капусты «Слава 1305». Оптимальным для проведения предпосевной обработки являлось опудривание семян аморфным кремнезёмом в количестве 100–150 мг/г или замачивание в

кремнезоль с концентрацией 0,0001%, что приводило к увеличению параметров роста в 1,3–1,7 раза. Предпосевная обработка кремнийсодержащими препаратами приводила к увеличению содержания пигментов фотосинтеза в проростках пекинской капусты «Бокал» и белокачанной капусты «Слава 1305». Необходимо дальнейшее изучение влияния препаратов диоксида кремния с целью определения количеств, стимулирующих прорастание семян других сельскохозяйственных культур.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям по Брянской области в рамках научно-инновационного конкурса «Умник», договор №12628ГУ/2017 от 19.04.2018.

Список литературы

- Вавилов П. П., Гриценко В. В., Кузнецов В. С. 1983. Практикум по растениеводству. М.: Колос. 352 с. [Vavilov P. P., Gritsenko V. V., Kuznetsov V. S. 1983. Praktikum po rastenievodstvu. M.: Kolos. 352 p.]
- ГОСТ 12038-84. 2004. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: ИПК Издательство стандартов. 64 с. [GOST 12038-84. 2004. Semena sel'skokhoziaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniia vskhozhesti. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov. 64 p.]
- Кемечева М. Х. 2003. Роль кремниевых удобрений в повышении продуктивности риса на луговых почвах левобережья р. Кубани: дис. ... канд. с.-х. наук. Майкоп. 132 с. [Kemecheva M. Kh. 2003. Rol' kremnievykh udobrenii v povyshenii produktivnosti risa na lugovykh pochvakh levoberezh'ia r. Kubani: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Maikop. 132 p.]
- Матыченков В. В. 2008. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение: дис. ... докт. биол. наук. Пушкино. 136 с. [Matychenkov V. V. 2008. Rol' podvizhnykh soedinenii kremniia v rasteniiakh i sisteme pochva-rastenie: dis. ... dokt. biol. nauk. Pushchino. 136 p.]
- Панова Г. Г., Аникина Л. М., Канаши Е. В., Удалова О. Р., Шибанов Д. В. 2012. Кремнийсодержащие хелатные микроудобрения в повышении устойчивости растений к действию стрессовых факторов // Агрофизика. № 3. С. 31–41. [Panova G. G., Anikina L. M., Kanash E. V., Udalovala O. R., Shibanov D. V. 2012. Kremniisoderzhashchie khelatnye mikroudobreniia v povyshenii ustoychivosti rastenii k deistviu stressovykh faktorov // Agrofizika. № 3. P 31–41.]
- Datnoff L. E., Snyder G. H., Korndorfer G. H. 2001. Silicon in agriculture // Studies in Plant Science. Vol. 8. 424 p.
- Maghsoudi K., Emam Y., Ashraf M. 2015. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance // Turk. Journ. Bot. Vol. 39. P. 625–634.

Сведения об авторах

Разлуго Ирина Алексеевна
магистрант кафедры биологии
ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет
им. акад. И. Г. Петровского», Брянск
E-mail: irina.razlugo@yandex.ru

Немцова Елена Валентиновна
к. б. н., доцент кафедры биологии
ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет
им. акад. И. Г. Петровского», Брянск
E-mail: elenanemz@mail.ru

Razlugo Irina Alekseevna
Undergraduate Student of the Dpt. of Biology
Bryansk State University
named after Academician I. G. Petrovsky, Bryansk
e-mail: irina.razlugo@yandex.ru

Nemtsova Elena Valentinovna
Ph. D. in Biological Sciences, Assistant Professor of the Dpt. of Biology
Bryansk State University
named after Academician I. G. Petrovsky, Bryansk
E-mail: elenanemz@mail.ru