

Накопление селена в китайской капусте сорта Пак-чой в процессе культивирования

Кирилл Ю. Муравьев	¹	k.murav@yandex.ru
Надежда В. Баракова	¹	n.barakova@mail.ru
Юрий В. Хомяков	²	himlabafi@yandex.ru
Ольга Р. Удалова	²	udal59@inbox.ru

¹ кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Университет ИТМО

² Агрофизический научно-исследовательский институт

Реферат. В большинстве регионов России почвы бедны селеном и поэтому население имеет высокий риск развития онкологических заболеваний. Чтобы бороться с развитием злокачественных опухолей необходимо искусственно обогащать почву и растения селеном. Одним из путей обогащения растений селеном является агрохимический способ. Этот способ предусматривает обогащение растений необходимыми микро- и макроэлементами в процессе культивирования путём введения в почву, листья и стебли растений питательных субстратов, содержащих эти элементы. Проведены исследования влияния неорганических солей селена на скорость накопления биомассы китайской капусты сорта Пак-чой с целью установления режима культивирования, при котором достигается максимальный выход биомассы ботвы растений, а также накопление селеносодержащих органических соединений. Проведены исследования динамики накопления селена в растениях в регулируемых условиях при внесении в почву селеносодержащего питательного субстрата. Количество селена в растениях определяли с помощью спектроскопии. Определены математические функции, описывающие динамику накопления селена, а также установлены производные этих функций для определения скорости его накопления. Было установлено, что введение селена на промежуточных и поздних стадиях культивирования является оптимальным для роста растений и приводит к повышенному накоплению биомассы, в то время как введение селена на ранних стадиях культивирования приводит к её уменьшению. Кроме того, внесение селенита калия в питательный субстрат в концентрации $1,0 \text{ мг} \times \text{дм}^{-3}$ оказалось более эффективно, чем $0,5 \text{ мг} \times \text{дм}^{-3}$ в силу того, что при более высокой концентрации селена динамика роста растений увеличивается.

Ключевые слова: китайская капуста Пак-чой, селен, обогащение селеном, режимы культивирования, культивирование в регулируемых условиях, накопление биомассы, динамика накопления селена

Accumulation of selenium in a Chinese cabbage of a grade Pak-choi in the course of cultivation

Kirill Yu. Murav'ev	¹	k.murav@yandex.ru
Nadezhda V. Barakova	¹	n.barakova@mail.ru
Yurii V. Khomyakov	²	himlabafi@yandex.ru
Ol'ga R. Udalova	²	udal59@inbox.ru

¹ food biotechnology of herbal products department, ITMO University, St. Petersburg, Russia

² Agrophysical research institute

Summary. Most agricultural areas of Russia have soils poor in mineral selenium, causing higher oncology risks for population of such areas. The way to control malignancy incidence is selenium fortification of soils and plants. This can be achieved by agrochemical enrichment of cultivated plants with nutritive substrates containing essential minerals and trace elements. The current study aimed to assay the effect of inorganic selenium on the rate of Chinese *pakchoi* cabbage biomass gain for the development of agrochemical techniques for introducing selenium. The optimal selenium introduction technique would demonstrate the best balance of biomass gain rate and selenium ion accumulation in organic matter. Selenium ion accumulation dynamic was assessed during controlled growth of plants in soils enriched with nutritive substrate containing inorganic selenium (potassium selenite). The amount of selenium in plants was determined by spectroscopy. Mathematical functions describing the selenium uptake dynamic of controlled grown plants have been found, including derivatives of these functions that led to obtaining the numerical values of the respective uptake rates. It has been found that agricultural techniques that involve introduction of selenium at intermediate and late stages of cultivation are optimal for plant growth dynamic, as introducing selenium at early stages of cultivation has a negative impact on biomass uptake rates. Additionally, introducing potassium selenite to the nutritive substrate at $1.0 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ proved to be more effective than introducing potassium selenite at $0.5 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ as the former dosage led to a better plant growth dynamic.

Keywords: chinese Pak choi cabbage, selenium, selenium uptake, cultivation methods, controlled conditions cultivation, biomass gain, selenium accumulation dynamic

Для цитирования

Муравьев К. Ю., Баракова Н. В., Хомяков Ю. В., Удалова О. Р. Накопление селена в китайской капусте сорта Пак-чой в процессе культивирования // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 151–155. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-151-155

For citation

Murav'ev K. Yu., Barakova N. V., Khomyakov Yu. V., Udalova O. R. Accumulation of selenium in a Chinese cabbage of a grade Pak-choi in the course of cultivation. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 151–155. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-151-155

Введение

Селенсодержащие органические вещества в природе встречаются в основном в растениях, произрастающих в тех регионах, почвы которых были обработаны удобрениями, содержащими соли селена [1]. В настоящее время доказано, что микроэлемент селен незаменим для жизнедеятельности человека и является структурным компонентом важных ферментов в организме – гормоносинтезирующих, антиоксидантных, ферментативных системах детоксикации и биотрансформации ксенобиотиков (чужеродных для организма человека химических веществ) [2]. Токсический эффект ксенобиотиков зависит от функционального состояния ферментов глутатион-S-трансферазы и способствует более длительному сохранению в организме промежуточных продуктов, которые могут провоцировать злокачественную трансформацию клетки [3]. При прогрессивном раке желудка выявлен дефицит микроэлементов (Se, Fe, Cu) [4]. Считается, что 30 – 60% селена, содержащегося в организме человека, входит в состав фермента – глутатионпероксидазы, обезвреживающего самые активные и агрессивные свободные радикалы [5]. Селен совместно с витамином Е защищает мембраны клеток, митохондрий, лизосом от перекисного окисления липидов. Если селена недостаточно, то это наиважнейшее звено антиоксидантной защиты не работает [6]. Помимо этого, селен является важнейшим генопротектором, который блокирует повреждение ДНК [7]. В большинстве регионов России почвы бедны селеном, поэтому существует необходимость разрабатывать удобрения и биологически активные средства по внесению его в агроэкосистемы [8].

При выборе растений для обогащения их селеном необходимо руководствоваться требованием, чтобы растение содержало вещества, которые могут быть полезны при создании функциональных продуктов питания для профилактики онкологических заболеваний. В овощах семейства крестоцветных (особенно в китайской капусте сорта Пак-чой) содержатся алкалоиды группы глюкоброссина, которые при разрушении растительной клетки распадаются, образуя ряд индольных соединений.

Данные эпидемиологических наблюдений указывают, что употребление индол-3-карбинола снижает риск развития некоторых видов гормонозависимых опухолей [9].

Одним из путей обогащения растений селеном является агрохимический способ. Выращивание растений с использованием удобрений или питательных растворов, содержащих селен, позволяет аккумулировать его и впоследствии трансформировать в органическую форму – селенсодержащие аминокислоты [10].

К сожалению, токсичность селена может негативно сказываться на рост и развитие самих растений, поэтому необходимо использовать специальные режимы культивирования со строго установленными дозами внесения селена [11].

Эксперимент проводился на китайской капусте сорта Пак-чой. Обогащение капусты селеном осуществлялось в процессе культивирования, которое производилось при температуре 24° С и влажности воздуха 80–90% на кассетах площадью 2400 см² с субстратом на основе верхового торфа низкой степени разложения. На каждой кассете производился засев 72 растений. Для стимулирования роста капусты в субстрат вносился питательный раствор следующего состава: Ca(NO₃)₂ · H₂O – 1 г/л; KNO₃ – 0,37 г/л; KH₂PO₄ – 0,37 г/л; MgSO₄ · 7H₂O – 0,37 мг/л; раствор микроэлементов – 1 мл/л.

Селенит калия вносился в субстрат с питательным раствором. В первую, контрольную кассету, селенит калия не вносился. В кассету № 2 селенит калия вносился в составе питательного раствора в количестве 0,5 мг/л, в кассету № 3 – в количестве 1,0 мг/л. Культивирование капусты проводилось в течение шести недель. Количество внесенного селена в каждую

кассету представлено в таблице 1.

В процессе культивирования один раз в неделю проводился отбор проб в количестве четырех растений с кассеты. После отбора пробы растения высушивались до постоянной массы при температуре 65 °С в потоке воздуха.

Таблица 1.

Количество внесенного селена

Table 1.

Фmount of introduced selenium

Номер кассеты The cassette number	Количество внесенного селена, мг The amount of selenium introduced mg				
	1-я неделя (1 week)	2-я неделя (2 week)	3-я неделя (3 week)	4-я неделя (4 week)	5-я неделя (5 week)
№ 1 (контроль) control	–	–	–	–	–
№ 2	9,24	18,48	27,72	36,96	46,20
№ 3	18,55	37,1	55,65	74,20	92,75

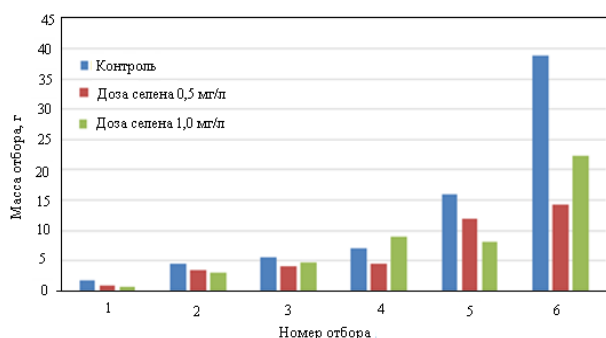


Рисунок 1. Прирост биомассы растений капусты сорта Пак-чой

Figure 1. The growth of cabbage plant varieties biomass Pak-choi

Из данных, представленных на диаграмме, следует, что внесение селенита калия на начальных стадиях роста капусты Пак-чой оказывает тормозящее действие на рост растений, что можно объяснить токсичным действием селена.

В то же время, полученные результаты также показали, что в процессе роста капусты селен положительно влияет на прирост биомассы растения.

При дозе внесения селенита калия в питательный раствор в количестве 1,0 мг/л скорость прироста биомассы увеличивается на 30%. По окончании культивирования капусты Пак-чой (6 неделя) биомасса растений, выращенных при дозе внесения селена в питательный раствор в количестве 0,5 г/дм³ составила 22,43 г, биомасса растений, выращенных при внесении селена в количестве 1,0 г/дм³ составила 29,80 г.

График накопления биомассы растений в приведенных единицах представлен на рисунке 2. Приведенные единицы, рассчитывались по формуле: $k = m_n / m_1$, где m_n – масса каждого отбора, m_1 – масса первого отбора.

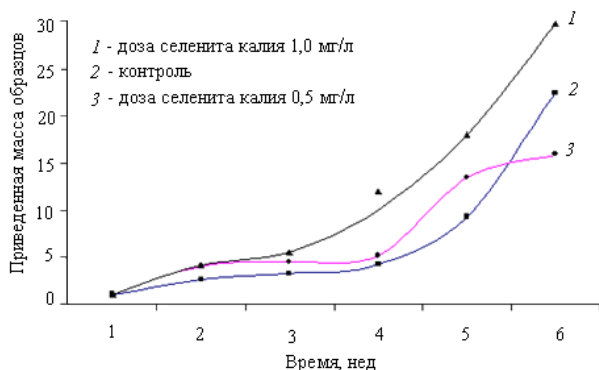


Рисунок 2. Прирост биомассы капусты Пак-чой в процессе культивирования в относительных единицах

Figure 2. Growth of cabbage biomass Pak-choi in the process of cultivation in relative units

Из диаграмм, представленных на рисунке 1 и графиков на рисунке 2, видно, что при увеличении дозы внесения селенита калия с 0,5 мг/л до 1,0 мг/л прирост биомассы увеличивается. Это объясняется тем обстоятельством, что селен оказывает стимулирующее воздействие на рост растений, ускоряя транспорт белков, жиров и углеводов в клетках растений, а также усиливает действие токоферолов и йода [12]. Следует отметить, что на начальных стадиях роста растения, обогащенные селеном, развивались медленнее контрольного образца, что можно объяснить токсичным действием селена. Из этого можно сделать вывод, что внесение селена следует производить не на начальных стадиях роста, а лишь через некоторое время.

Полученные результаты показали, что Se влияет на скорость прироста биомассы. При дозе внесения Se – 1,0 мг·дм⁻³ скорость прироста биомассы увеличивается на 30% этот факт можно объяснить теми же биохимическими свойствами селена.

Далее, производилось определение содержания селена в зеленой ботве капусты по ГОСТ Р 53182–2008 на атомно-адсорбционном спектрофотометре NovAA компании Analytik Jena.

В контрольном варианте ни в одном отборе образцов растений не было обнаружено селена. Результаты определения содержания селена в растениях, выращенных в кассетах с разным количеством внесенного селена, приведены на рисунке 3.

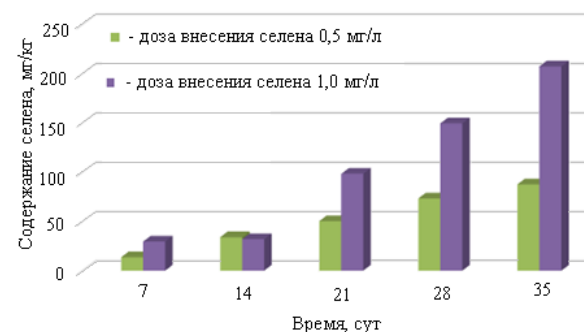


Рисунок 3. Содержание селена в китайской капусте сорта Пак-чой

Figure 3. The selenium content in Chinese cabbage varieties Pak-choi

Следует отметить, что содержание селена в растениях прямо пропорционально его внесению в почву. С помощью вычислительной программы Curve Expert были получены математические функции, описывающие динамику накопления селена, а также были определены производные этих функций для вычисления скорости его накопления. Результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

Функции динамики накопления селена в капусте Пак-чой и функции скорости его накопления

Table 2.

Functions of selenium accumulation dynamics in cabbage Pak-choi and function of its rate of accumulation

Доза внесения селена, мг/л Doze of selenium, mg/L	Функция динамики накопления селена Selenium accumulation dynamics function	Функция изменения скорости накопления селена The function changes the selenium accumulation rate	R ²
0,5	$16,8x + 0,25x^2$	$16,8 + 0,5x$	0,996
1,0	$13,7x + 5,6x^2$	$13,7 + 11,2x$	0,990

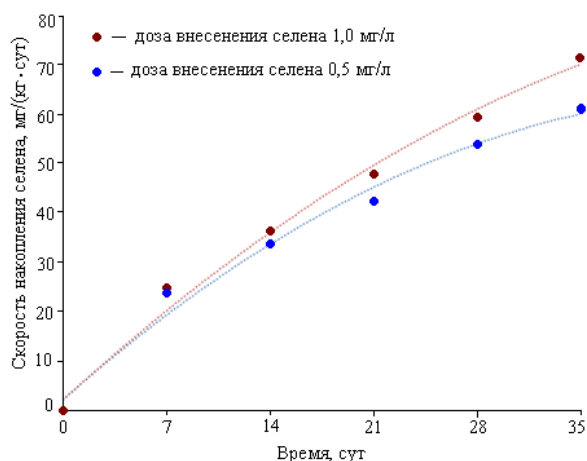


Рисунок 4. Скорость накопления селена в китайской капусте сорта Пак-чой

Figure 4. The rate of accumulation of selenium in Chinese cabbage varieties Pak-choi

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Акумуляция и миграция селена в компонентах биохимической цепи «почва-растения-человек» в условиях Молдавии // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 323–335.
- 2 Галочкин В.А., Галочкина В.П. Органические и минеральные формы селена, их метаболизм, биологическая доступность и роль в организме // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 4. С. 3–15.
- 3 Maurice C.F., Haiser H.J., Turnbaugh P.J. Xenobiotics shape the physiology and gene expression of the active human gut microbiome // Elsevier Inc. Published by Elsevier Inc. 2013. V. 152. P. 39–50.
- 4 Рябов А.Б., Соколов В.В., Хомяков В.М. и др. Современные подходы к диагностике и лечению раннего рака желудка. // Онкология. Журнал им. П.А.Герцена. 2015. № 4(2). С. 71–75.
- 5 Панина И.С., Филатова Л.Ю., Кабанов А.В., Клячко Н.Л. Исследование физико-химических свойств фермента глутатионпероксидазы типа I и его комплексов с полиэлектролитами как перспективных агентов для лечения заболеваний центральной нервной системы. // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2014. № 3. С. 152–157.
- 6 Хохлоева Е.А., Тарасова Л.В., Степашина Т.Е. Участие селена и цинка в патогенезе воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 487–493.

Из рисунка 4 следует, что скорость накопления селена в капусте Пак-чой пропорциональна количеству внесенного селена в почву.

Закключение

По результатам проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

- внесение селенита калия на начальных стадиях культивирования китайской капусты Пак-чой ингибирует рост растения;
- количество селена в зеленой биомассе капусты прямо пропорционально количеству внесенного селенита калия в почву;
- селенит калия оказывает стимулирующее действие на рост растений в процессе культивирования;
- скорость прироста биомассы растения тем выше, чем выше концентрация селенита калия в питательной смеси.

7 Bera S., Rosa V., Rachidi W., Diamond A.M. Does a role for selenium in DNA damage repair explain apparent controversies in its use in chemoprevention? // Mutagenesis. 2013. №28 (2). P. 127–134.

8 Ширшова Т.И., Голубкина Н.А., Бешлей И.В., Матистов Н.В. Селенодефицит и возможности его сокращения. Аккумуляционные свойства некоторых представителей рода Allium L. по отношению к селену // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2011. № 3 (7). С. 48–54.

9 Карпов Е.И. Новые перспективы в профилактике рака предстательной железы. // Русский медицинский журнал. 2015. № 26. С. 1576–1578.

10 Муравьев К.Ю., Баракова Н.В., Изосимова А.А. Влияние неорганического селена на жизнеспособность крестоцветных растений // Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». 2015. Ч. 1. С. 256–258.

11 Карпова Е.А., Демиденко О.К., Ильина О.П. К вопросу о токсичности препаратов на основе селена // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 4. С. 207–210.

12 Шеуджен А.Х., Лебедевский И.А., Бондарева Т.Н. Биогеохимия и агрохимия селена // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 92. С. 1–10.

13 Кулагина Ю.М., Головацкая И.Ф. Влияние селенита натрия на рост и развитие пшеницы в зависимости от способа обработки // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 2 (14). С. 56–64.

REFERENCES

- 1 Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P., Golubkina N.A. Accumulation and migration of selenium in components of a biochemical chain "soil-plant-person" in the conditions of Moldova. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal* [Volga region ecological magazine] 2011. no. 3. pp. 323–335. (in Russian)
- 2 Galochkin V.A., Galochkina V.P. Organic and mineral forms of selenium, their metabolism, biological availability and a role in an organism. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology] 2011. no. 4. pp. 3–15. (in Russian)
- 3 Maurice C.F., Haiser H.J., Turnbaugh P.J. Xenobiotics shape the physiology and gene expression of the active human gut microbiome. Elsevier Inc. Published by Elsevier Inc. 2013. vol. 152. p. 39–50.
- 4 Rjabov A.B., Sokolov V.V., Homjakov V.M., ets. Modern approaches to diagnostics and treatment of an early carcinoma of the stomach. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A.Gercena*. [Oncology. Magazine named P.A. Gertsen] 2015. no 4(2). pp. 71–75. (in Russian)
- 5 Panina I.S., Filatova L.Ju., Kabanov A.V., Kljachko N.L. Research of physical and chemical properties of enzyme glutathione peroxidases like I and its complexes with polyelectrolytes as perspective agents for treatment of diseases of the central nervous system. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Himiya*. [Bulletin of Moscow University. Series 2. Chemistry] 2014. no 3. pp. 152–157. (in Russian)
- 6 Hokhloyeva E.A., Tarasova L.V., Stepashina T.E. Participation of selenium and zinc in pathogenesis of inflammatory diseases of digestive tract. *Vestnik chuvashskogo universiteta* [Bulletin of the Chuvash university]. 2011. no. 3. pp. 487–493. (in Russian)
- 7 Bera S., Rosa V., Rachidi W., Diamond A.M. Does a role for selenium in DNA damage repair explain apparent controversies in its use in chemoprevention? *Mutagenesis*. 2013. no 28 (2). pp. 127–134.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирилл Ю. Муравьев инженер, кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Университет ИТМО, k.murav@yandex.ru
Надежда В. Баракова к. т. н., доцент, кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, Университет ИТМО, n.barakova@mail.ru
Юрий В. Хомяков к. б. н., заместитель директора, Агрофизический научно-исследовательский институт, himlabafi@yandex.ru
Ольга Р. Удалова к. с.-х. н., Агрофизический научно-исследовательский институт, udal59@inbox.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Кирилл Ю. Муравьев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Надежда В. Баракова обзор литературных источников по исследуемой проблеме
Юрий В. Хомяков консультация в ходе исследования
Ольга Р. Удалова провела эксперимент, выполнила расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.10.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 01.11.2016

- 8 Shirshova T.I., Golubkina N.A., Beshlya I.V., Matistov N.V. Selenodificit and possibilities of his reduction. Heat-sink properties of some representatives of the sort *Allium L.* in relation to selenium. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN* [News of Komi of scientific center OURO RAHN] 2011. no. 3 (7). pp. 48–54. (in Russian)
- 9 Karpov E.I. New prospects in prophylaxis of a prostate cancer. *Russkij medicinskij zhurnal*. [Russian Medical Journal] 2015. no 26. pp. 1576–1578. (in Russian)
- 10 Murav'ev K.Yu., Barakova N.V., Izosimova A.A. Influence of inorganic selenium on viability krestotsvetnykh of plants. *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii XXI veka* [Collection of reports of the VII International scientific and technical conference "Low-temperature and Food Technologies in the 21st Century"] 2015. part. 1. p. 256–258. (in Russian)
- 11 Karpova E.A., Demidenko O.K., Il'ina O.P. To a question of toxicity of medicines on the basis of selenium. *Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University] 2014. no 4. pp. 207–210. (in Russian)
- 12 Sheudzhen A.H., Lebedovskij I.A., Bondareva T.N. Biogeochemistry and agrochemistry of selenium. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. [Multidisciplinary network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University] 2013. no 92. pp. 1–10. (in Russian)
- 13 Kulagina Ju.M., Golovackaja I.F. Sodium selenit influence on growth and development of wheat depending on a way of processing. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. [Bulletin of the Tomsk State University. Biology] 2011. no 2 (14). pp. 56–64. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Kirill Yu. Murav'ev engineer, food biotechnology of herbal products department, ITMO University, St. Petersburg, Russia, k.murav@yandex.ru
Nadezhda V. Barakova candidate of technical sciences, associated professor, food biotechnology of herbal products department, ITMO University, St. Petersburg, Russia, n.barakova@mail.ru
Yurii V. Khomyakov candidate of biological sciences, deputy director, Agrophysical research institute, himlabafi@yandex.ru
Ol'ga R. Udalova candidate of agricultural sciences, Agrophysical research institute, udal59@inbox.ru

CONTRIBUTION

Kirill Yu. Murav'ev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Nadezhda V. Barakova review of the literature on an investigated problem
Yurii V. Khomyakov consultation during the study
Ol'ga R. Udalova conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.10.2016

ACCEPTED 11.10.2016