

УДК 58.04

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-12-17.

**Е. З. Лапкина, Е. Е. Савельева, Н. А. Булгакова**

Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

## АНТИРАДИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЛЕНОБОГАЩЕННЫХ ПРОРОСТКОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Представлены результаты исследований антирадикальной активности методом поглощения дифенилпикрилгидразила (ДФПГ) экстрактами проростков ржи, пшеницы, овса, обогащенных селеном из водных растворов селенита натрия концентраций 0.001, 0.005, 0.01, 0.05% в течение 24 ч. Селен ингибирует скорость выхода на «плато» реакции поглощения ДФПГ, но повышает антирадикальную активность проростков зерновых культур. Спектрофотометрически определено суммарное содержание фенольных соединений в экстрактах зерновых культур. Показано влияние селена на ростовые процессы пшеницы, ржи, овса. Концентрации 0.001 и 0.005% оказывают стимулирующее действие на длину корней и coleoptila зерновых культур. При концентрации 0.05% селен откладывается в виде гранул в клетках зародыша зерновки. Овес является наиболее чувствительной культурой к воздействию селеном, а пшеница и рожь – перспективны в качестве культур, способных проявлять антирадикальные свойства и являться источником органических форм селена.

**Ключевые слова:** селенит натрия; селен; антирадикальная активность; ДФПГ; фенольные соединения; зерновые культуры.

**E. Z. Lapkina, E. E. Saveleva, N. A. Bulgakova**

Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation

## Antiradical properties of selenium-enriched grain seedlings

The results of studies of antiradical activity by the method of DPPG absorption by extracts of rye, wheat, and oat seedlings enriched with selenium from aqueous solutions of sodium Selenite 0.001, 0.005, 0.01, 0.05% concentrations within 24 hours. Selenium inhibits the rate of reaching the "plateau" of the DPPG absorption reaction, but increases the anti-radical activity of grain seedlings. The total content of phenolic compounds in grain extracts was determined spectrophotometrically. The influence of selenium on the growth processes of wheat, rye, and oats is shown. Concentrations of 0.001 and 0.005% have a stimulating effect on the length of the roots and coleoptile of grain crops. At a concentration of 0.05%, selenium is deposited as granules in the cells of the germ of the grain. Oats are the most sensitive crop to selenium, and wheat and rye are promising as crops that can exhibit antiradical properties and source of organic forms of selenium.

**Key words:** sodium selenite; selenium; anti-radical activity; DPPH; phenolic compounds; cereals.

### Введение

Селен является одним из важнейших микроэлементов, необходимых для нормального функционирования организма человека с уникальными биологическими функциями, одной из которых является антиоксидантная защита от действия свободных радикалов. Селен входит в активный центр ферментов системы антиоксидантно-антирадикальной защиты организма, метаболизма нуклеиновых кислот, липидов, гормонов (глутатионпероксидазы, йодотиронин-дейодиназы, тиоредоксинредуктазы и др.). Недостаток селена в организме вызывает развитие ряда заболеваний (некроз печени, болезни Кешана, Кашина-Бека), в основе которых лежит нарушение механизмов нейтрали-

зации свободнорадикальных процессов [Barciela J. et al., 2008; Mangiapane, Pessione, Pessione, 2014]. Неорганические соединения селена, такие как селенит натрия, могут вызывать аллергические реакции и обладать токсичностью, что ограничивает их применение [Amini, Mahabadi, 2018]. В растениях селен преобладает в форме селенметионина, что определяет перспективу использования селенобогатых растительных объектов в качестве доступного источника микроэлемента.

Зерновые культуры вносят большой вклад в суточный рацион человека. Проростки зерновых культур являются функциональным продуктом питания, содержащим высокую концентрацию витаминов, белков, ферментов и антиоксидантов. Состав семян меняется во время прорастания: так,

изменяется количество белковых фракций, доля азотсодержащих фракций смещается в сторону меньших белковых фракций, олигопептидов и свободных аминокислот. Вследствие этих изменений биологическая ценность белка проростков возрастает [Marton et al., 2010].

Последние исследования указывают на значительную роль селенобогатенных проростков в профилактике раковых заболеваний и повышении антиоксидантного статуса населения [Sangronis, Machado, 2007].

Так, установлено, что экстракт селеносодержащих проростков брокколи стимулирует в 3.7–5.0 раз активность клеточных ферментов [Li et al., 2008]. Изучена активность глутатионпероксидазы в печени при употреблении селенобогатенных проростков тыквы и редиса [Yoshida et al., 2007a, 2007b].

### Объект и методы исследования

В наших исследованиях использованы зерновки пшеницы, овса и ржи, предназначенные для проращивания в домашних условиях и употребления в пищу человеком в качестве источника биологически активных веществ. Зерновки пшеницы, овса и ржи замачивали на 24 ч. в водных растворах селенита натрия в концентрации 0.001, 0.005, 0.01, 0.05%. Затем зерновки отмывали от раствора селенита натрия и проращивали в дистиллированной воде 7 дней. Контрольные зерновки пшеницы проращивали в дистиллированной воде. На 3-и сут. определяли энергию прорастания, на 7-е сут. – всхожесть, длину корней и проростков пшеницы. Проводили микроскопические срезы зерновок на 3-и сут. с использованием микроскопа Микромед-1 и цифровой камеры LevenhukM500 Base.

Для определения содержания полифенолов и антирадикальной активности из проростков зерновых культур готовили экстракты. Для этого 1 г проростков растирали в ступке пестиком, добавляли 10 мл 70%-ного этилового спирта и настаивали 30 мин. Полученный экстракт центрифугировали 20 мин., супернатант использовали в дальнейшем исследовании.

Одним из методов определения антиоксидантного действия является обнаружение антирадикальной активности (АРА) с участием стабильного свободного радикала N,N-дифенил-N'-пикрилгидразила (ДФПГ) (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>N-N•-C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>(NO<sub>2</sub>)<sub>3-2,4,6</sub> (рис. 1.).

Антирадикальную активность экстрактов проростков зерновых культур определяли спектрофотометрически по кинетике восстановления стабильного радикала ДФПГ (C=1.7×10<sup>-4</sup> моль/л в 95%-ном этаноле) растительным экстрактом при длине волны 517 нм в течение 30 мин. с помощью программы кинетического анализа Kin5400 (спек-

трофотометр ПЭ-5400 УФ (Россия), длина кюветы 1.0 см).

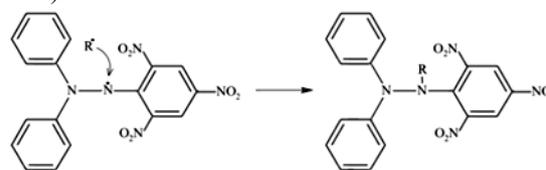


Рис. 1. Схема взаимодействия радикалов R• с ДФПГ [Панкратов, Цивилева, Цымбал, 2019]

В кювету добавляли в равном соотношении экстракт и раствор ДФПГ, в кювете сравнения находился раствор экстракта и 95% этанола, контролем являлся раствор ДФПГ [Тринеева, 2017]. Определение антирадикальной активности экстрактов производили по формуле

$$\% \text{ ингибирования ДФПГ} = (A_0 - A_x) \times 100\% / A_0,$$

где A<sub>0</sub> – оптическая плотность ДФПГ в отсутствие растительного экстракта (контроль); A<sub>x</sub> – оптическая плотность исследуемого растительного экстракта с ДФПГ.

Содержание суммы фенольных соединений определяли спектрофотометрически (λ=750 нм) в экстрактах 3-х и 7-ми суточных проростков зерновых культур по взаимодействию с реактивом Фолина-Чокальтеу в щелочной среде в пересчете на галловую кислоту [Mondal, Hossain, Islam, 2017]. Экспериментально установленный удельный показатель галловой кислоты взаимодействия с реактивом Фолина-Чокальтеу в щелочной среде принимали равным 47. Эксперименты проводили в трехкратной повторности и обрабатывали статистически с использованием Microsoft Excel.

### Результаты исследований

Установлено, что при замачивании зерновок в течение 24 ч. в растворе селенита натрия концентрации 0.05% проявляется ингибирующий эффект (до 53% в сравнении с контролем) на энергию прорастания пшеницы, ржи и овса.

При визуальной оценке зерновки окрашиваются в характерный кирпично-красный цвет элементарного селена, а при проведении микроскопии в клетках зародыша семени обнаруживаются гранулы элементарного селена, что указывает на аккумуляцию токсично высокой дозы селена зерновками пшеницы (рис. 2).

Подобный эффект наблюдается при обработке селеносодержащим препаратом зерновок кукурузы [Полубояринов, Голубкина, 2015].

Более низкие концентрации селенита натрия (0.001, 0.005%) оказывают нейтральное или слабостимулирующее действие на энергию прорастания зерновых культур.

Результаты линейных измерений 7-суточных проростков зерновых культур подтверждают инги-

бирующее действие селенита натрия в концентрации 0.05% на ростовые процессы (табл. 1).

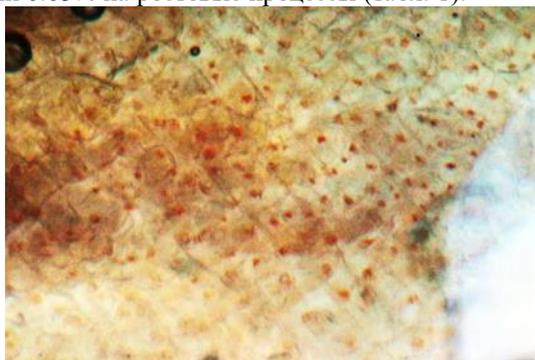


Рис. 2. Гранулы элементарного селена в клетках 3-суточных зерновок пшеницы, обогащенных в течение 24 ч. селеном из 0.05% раствора селенита натрия

На проростки пшеницы оказывает наиболее выраженное стимулирующее действие селенит натрия в концентрации 0.005%, увеличивая длину корней на 25.8% и длину проростков на 7.7% в сравнении с аналогичными показателями у контрольных проростков. Селенит натрия в концентрации 0.05% ингибирует ростовые процессы проростков пшеницы: на 3.5% в корнях и на 10.7% в надземной части.

На проростки ржи наибольший стимулирующий эффект селенита натрия проявляется в концентрациях 0.001 и 0.005% (до 12% в надземной

части, до 35% – в корнях). Ингибирующее действие селенита натрия концентрации 0.05% проявляется только на надземной части проростков на 15.6%.

Концентрация 0.001% селенита натрия стимулирует ростовые процессы проростков овса на 20% в надземной части и на 12.3% – в корнях.

Более высокие концентрации селенита натрия ингибируют рост проростков овса, что указывает на высокую чувствительность культуры к накоплению селена.

При определении антирадикальной активности обнаружено, что 3- и 7-суточные проростки зерновых культур обладают примерно равной антирадикальной активностью в узких пределах 70–80% при существенно различающемся уровне содержания полифенолов, что указывает на вклад других биологически активных веществ в антирадикальную активность проростков. Следует отметить, что используемые в эксперименте концентрации селенита оказывают положительное действие на суммарное содержание полифенолов и антирадикальную активность экстрактов 3-суточных проростков ржи.

Суммарное содержание фенольных соединений в проростках ржи при действии селенита натрия в концентрации 0.005% увеличивается на 15.7% в сравнении с контролем. При этом антирадикальная активность возрастает на 5.1% (табл. 2).

Таблица 1

**Линейные измерения 7-суточных проростков пшеницы, ржи, овса, обогащенных селеном из растворов селенита натрия различной концентрации в течение 24 ч. (см±σ)**

Варианты опыта	Пшеница		Овес		Рожь	
	Колеоптиль	Корни	Колеоптиль	Корни	Колеоптиль	Корни
Контроль	13.12±0.95	7.39±0.66	7.26±0.91	4.30±0.72	8.83±1.44	2.46±0.46
0.001% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	13.54±0.84	8.24±0.84	8.73±0.59	4.83±1.03	9.31±0.90	3.33±0.80
0.005% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	14.29±0.81	9.3±0.80	6.96±0.66	4.09±0.69	9.91±1.24	2.48±0.50
0.01% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	14.16±0.67	8.32±0.79	6.71±0.68	4.38±0.78	7.17±1.27	2.48±0.62
0.05% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	11.72±0.84	7.13±0.74	4.98±1.02	2.74±1.30	7.45±1.36	2.67±0.42

Таблица 2

**Содержание суммы фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту (%) и антирадикальную активность (%) в проростках зерновых культур 3-суточных, обогащенных селеном из растворов селенита натрия различной концентрации в течение 24 ч.**

Варианты опыта	Рожь		Пшеница		Овес	
	Сумма фенольных соединений	АРА	Сумма фенольных соединений	АРА	Сумма фенольных соединений	АРА
Контроль	0.249±0.048	80.2	0.188±0.010	76.8	0.147±0.002	64.9
0.001% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0.233±0.017	81.5	0.190±0.017	79.8	0.139±0.005	68.5
0.005% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0.288±0.022	85.3	0.191±0.003	88.7	0.158±0.006	64.4
0.01% Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0.281±0.010	84.9	0.162±0.005	73.9	0.156±0.009	79.3

В проростках пшеницы при обогащении селеном в концентрации 0.005% антирадикальная активность возрастает на 11.9%. Проростки овса характеризуются сравнительно низкими уровнями содержания фенольных соединений и антиради-

кальной активности, однако концентрация 0.01% селенита натрия стимулирует антирадикальную активность на 14.4%.

Кинетику поглощенияДФПГ экстрактами исследовали на 3-суточных селеносодержащих про-

ростках зерновых культур (рис. 3).

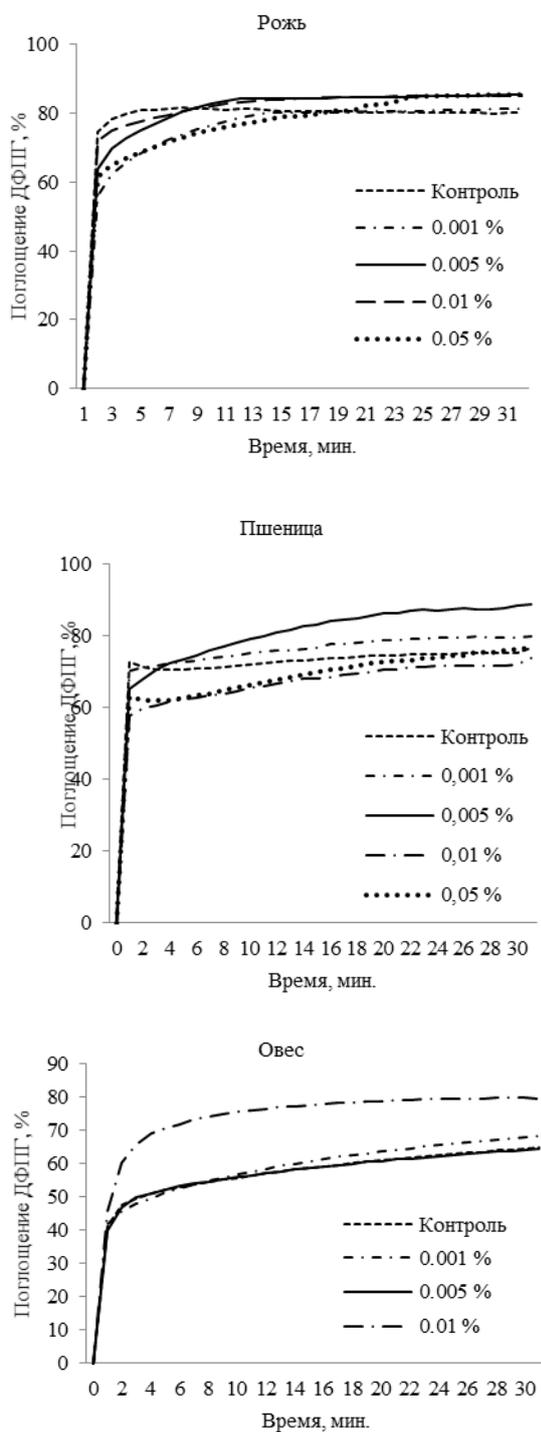


Рис. 3. Кинетика антирадикальной активности 3-суточных проростков зерновых культур, обогащенных селеном из растворов селенита натрия различной концентрации в течение 24 ч.

Установлено, что в реакции поглощения ДФПГ экстрактом проростков ржи выход на «плато» происходит в первую минуту (АРА 80.2%), а с экстрактом проростков овса выход на «плато» происходит в течение 30 мин. наблюдаемой реакции, до-

стигая лишь 64.9%. В реакции с экстрактом проростков пшеницы АРА составляет 76.8%.

Экстракты пшеницы медленнее поглощают ДФПГ в селеносодержащих вариантах опыта, но достигают больших показателей в сравнении с контролем. В кинетике реакции с экстрактами пшеницы имеется «пик» в первую минуту реакции, что, по всей видимости, указывает на формирование временных комплексов поглощения ДФПГ.

Концентрация 0.01% селенита натрия стимулирует выход на «плато» реакции поглощения ДФПГ экстрактом проростков овса и увеличивает антирадикальную активность проростков.

При сравнении кинетики антирадикальной активности селеносодержащих проростков ржи установлено, что селенит натрия замедляет выход на «плато» реакции в сравнении с контролем, но показатель антирадикальной активности становится выше.

### Заключение

Таким образом, проростки зерновых культур обладают различной антирадикальной активностью и селен аккумулирующей способностью. Проростки овса наиболее чувствительны к воздействию селена, проявляют сравнительно слабые антирадикальные свойства и содержат меньшее количество фенольных соединений. Обогащение низкими концентрациями селенита натрия проростков пшеницы и ржи позволяет повысить их антирадикальную активность и содержание суммы фенольных соединений, что указывает на их перспективность в разработке функционально активных продуктов с содержанием селена.

### Список литературы

- Панкратов А.Н., Цивилева О.М., Цымбал О.А. Выяснение возможности взаимодействия органических селенидов и соли дигидроселенохромилия с дифенилпикрилгидразилом // Известия Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 39–49.
- Полубояринов П.А., Голубкина Н.А. Изучение биохимической функции селена и его влияние на содержание белковых фракций и активность пероксидазы в проростках кукурузы // Физиология растений. 2015. Т. 62, № 3. С. 396–403.
- Тринеева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4. С. 180–197.
- Amini S., Mahabadi V. Selenium nanoparticles role in organ systems functionality and disorder // Nano-med Res. J. 2018. Vol. 3. P. 117–124.

- Barciela J. et al. A brief study of the role of Selenium as antioxidant // *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 7. P. 3151–3155.
- Li D. et al. Synergy between broccoli sprout extract and selenium in the upregulation of thioredoxin reductase in human hepatocytes // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 110. P. 193–198.
- Mangiapano E., Pessione A., Pessione E. Selenium and selenoproteins: an overview on different biological systems // *Current Protein and Peptide Science*. 2014. Vol. 15, № 6. P. 598–607.
- Marton M. et al. The role of sprouts in human nutrition. A review // *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. 2010. Vol. 3. P. 81–117.
- Mondal S., Hossain I., Islam Md.N. Determination of antioxidant potential of Cucurbita pepo Linn. (An edible herbs of Bangladesh) // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. Vol. 6. P. 1016–1019.
- Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan // *LWT*. 2007. Vol. 40. P. 116–120.
- Yoshida M. et al. Evaluation of nutritional availability and antitumor activity of selenium contained in selenium-enriched kaiware radish sprouts // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2007a. Vol. 71. P. 2198–2205.
- Yoshida M. et al. Assessment of nutritional availability of selenium-enriched pumpkin // *Biomed Res Trace Elements*. 2007b. Vol. 18. P. 391–394.
- thioredoxin reductase in human hepatocytes. *Food Chemistry*. V. 110 (2008): pp. 193-198.
- Mangiapano E., Pessione A., Pessione E. Selenium and selenoproteins: an overview on different biological systems. *Current Protein and Peptide Science*. V. 15, N 6 (2014): pp. 598-607.
- Marton M., Mandoki Zs., Csapo-Kiss Zs., Csapo J. The role of sprouts in human nutrition. A review. *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. V. 3 (2010): pp. 81-117.
- Mondal S., Hossain I., Islam Md.N. Determination of antioxidant potential of Cucurbita pepo Linn. (An edible herbs of Bangladesh). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. V. 6 (2017): pp. 1016-1019.
- Pankratov A.N., Tsivileva O.M., Tsymbal O.A. [Elucidation of the possibility of interaction of organic selenides and dihydro-selenochromyl salt with diphenylpicrylhydrazyl]. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Chimija. Biologija. Èkologija*. V. 19 (2019): pp. 39-49. (In Russ.).
- Poluboyarinov P.A., Golubkina N.A. Study of the biochemical function of selenium and its effect on the content of protein fractions and peroxidase activity in corn seedlings. *Fiziologija rastenij*. V. 62, N 3 (2015): pp. 396-403. (In Russ.).
- Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan. *LWT*. V. 40 (2007): pp. 116-120.
- Trineeva O.V. Methods for determining the antioxidant activity of objects of plant and synthetic origin in pharmacy (review). *Razrabotka I registracija lekarstvennyh sredstv*. V. 4 (2017): pp. 180-197. (In Russ.).
- Yoshida M., Okada T., Namikawa Y., Matsuzaki Y., Nishiyama T., Fukunaga K. Evaluation of nutritional availability and antitumor activity of selenium contained in selenium-enriched kaiware radish sprouts. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* V. 71 (2007): pp. 2198-2205.
- Yoshida M., Sano K., Ishiyuki E., Nishiyama T., Fukunaga K. Assessment of nutritional availability of selenium-enriched pumpkin. *Biomed. Res. Trace Elements*. V. 18 (2007): pp. 391-394.

## References

- Amini S., Mahabadi V. Selenium nanoparticles role in organ systems functionality and disorder. *Nanomed. Res. J.* V. 3 (2018): pp. 117-124.
- Barciela J., Herrero Latorre C., García-Martín S., Pena R.M. A brief study of the role of Selenium as antioxidant. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. V. 7 (2008): pp. 3151-3155.
- Li D., Wub K., Forbes Howie A., Beckett G. F., Wang W., Bao Y. Synergy between broccoli sprout extract and selenium in the upregulation of

Поступила в редакцию 17.12.2020

**Об авторах**

Лапкина Екатерина Зиядхановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ПО  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России  
**ORCID:** 0000-0002-7226-9565  
660022, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, зд. 1;  
e.z.lapkina@mail.ru; +79333268990

Савельева Елена Евгеньевна, кандидат фармацевтических наук, доцент, зав кафедрой фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ПО  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России  
**ORCID:** 0000-0002-6963-5851  
660022, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, зд. 1;  
saveleva\_ee@mail.ru; +7(391)2209806

Булгакова Надежда Анатольевна, кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ПО  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России  
**ORCID:** 0000-0002-3512-6573  
660022, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, зд. 1; bulgakovana@bk.ru;  
+7(391)2209806

**Информация для цитирования:**

Лапкина Е.З., Савельева Е.Е., Булгакова Н.А. Антирадикальные свойства селенобогатенных проростков зерновых культур // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 12–17. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-12-17.

Lapkina E.Z., Saveleva E.E., Bulgakova N.A. [Antiradical properties of selenium-enriched grain seedlings]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 12-17. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-12-17.

**About the authors**

Lapkina Ekaterina Ziyadhanovna, candidate of biology, associate Professor of the Department of pharmaceutical technology and pharmacognosy with a course IN  
Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University.  
**ORCID:** 0000-0002-7226-9565  
660022, Russia, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 1; e.z.lapkina@mail.ru; +79333268990

Savelyeva Elena Evgen'evna, candidate in pharmaceutical Sciences, associate Professor, head of the Department of pharmaceutical technology and pharmacognosy with a course IN  
Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University.  
**ORCID:** 0000-0002-6963-5851  
660022, Russia, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 1; saveleva\_ee@mail.ru; +7(391)2209806

Bulgakova Nadezhda Anatol'evna, candidate of chemical Sciences, associate Professor of the Department of pharmaceutical technology and pharmacognosy with a course IN  
Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University.  
**ORCID:** 0000-0002-3512-6573  
660022, Russia, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 1; bulgakovana@bk.ru; +7(391)2209806



