

УДК 547.99:581.1

ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКОВ СЕЛЕНА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НАБУХАНИИ И ПРОРАСТАНИИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

© *И.А. Глотова, Н.А. Галочкина**

*Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, ул. Мичурина, 1, Воронеж, 394087 (Россия),
e-mail: galochkina.na@mail.ru*

Изучено влияние селенита натрия и 4,4-ди[3(5-метилдипиразолил)]селенида (ДМДПС) на микрофенологические фазы набухания и прорастания зерна озимой пшеницы сорта «Алая заря». Изучено влияние селенита натрия и ДМДПС на амилолитическую, протеолитическую активность и содержание восстановленной формы глутатиона. Установлено противоположное действие ДМДПС и селенита натрия на биохимические процессы при прорастании зерна: для ДМДПС – стимулирующее, селенита натрия – угнетающее. Под действием селенита натрия установлено снижение протеолитической активности на 30%, под действием ДМДПС – 5%. Установлено, что амилолитическая активность пшеницы под действием ДМДПС показывает тенденцию к достижению того же уровня, что и в контроле «Пшеница+H₂O», однако максимум достигается на 4 ч раньше. В образце с селенитом натрия установлено снижение амилолитической активности на 15% по сравнению с контролем. Установлено стимулирующее действие ДМДПС на накопление глутатиона. Максимальное содержание восстановленной формы глутатиона отмечено для образца пшеницы, пророщенной с ДМДПС – 8,53 мг%. Это на 22,6% больше, чем в контрольном образце, и на 36,1% больше, чем в образце с селенитом натрия. Экстремальные значения показателя достигаются через 28 ч проращивания для контрольного образца, через 16–20 ч – для образцов с ДМДПС и Na₂SeO₃. Продолжительность микрофенологических фаз прорастания семян при использовании в составе замочной воды ДМДПС сокращается на 2–4 ч по сравнению с водопроводной водой. Результаты используются для контроля процесса проращивания зерна пшеницы при производстве обогащенных селеном добавок на зерновой основе.

Ключевые слова: микрофенологические фазы, зерно пшеницы, селенит натрия, 4,4-ди[3(5-метилдипиразолил)]селенид (ДМДПС), проращивание, амилолитическая активность, протеолитическая активность, глутатион.

Введение

Перспективным направлением улучшения функциональных свойств пищевых биополимерных систем в составе растительного сырья, повышения его пищевой и биологической ценности является реализация собственного метаболического потенциала путем активации ферментных систем при проращивании семян [1]. Продуктами гидролитических превращений пищевых веществ семян при прорастании являются потенциальные экзорегуляторы метаболизма [2, 3]. При фиксированных условиях прорастания семян, таких как температура среды, влажность, рН и ионная сила водного раствора солей в составе жидкой фазы, варьируемым параметром является продолжительность процесса проращивания. С технологической точки зрения важно регулировать продолжительность процесса прорастания семян для получения продуктов питания с наибольшей пищевой ценностью и функциональностью [4–7].

Цель работы – дать сравнительную оценку микрофенологическим фазам прорастания семян (МФФ

Глотова Ирина Анатольевна – профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции,
e-mail: glotova-irina@yandex.ru

Галочкина Надежда Алексеевна – старший преподаватель кафедры товароведения и экспертизы товаров, e-mail: galochkina.na@mail.ru

ПС) пшеницы с различными источниками селена для последующего использования в качестве критерия визуального контроля при управлении процессом проращивания в технологии пищевых и биологически активных добавок на зерновой основе с обогащенным микроэлементным составом.

* Автор, с которым следует вести переписку.

Экспериментальная часть

В работе использовали семена мягкой озимой пшеницы по Центрально-Черноземному региону [8]. Сорт сочетает признаки зимостойкости и продуктивности с высокими хлебопекарными качествами зерна, а процесс индуцированного автолиза при проращивании позволяет целенаправленно обогатить сырье биологически активными компонентами и использовать при разработке новых инновационных продуктов питания.

Источниками селена при проращивании служили: селенит натрия (ФСП 42-0250-1024-01, производитель – фирма «МСД», Москва) и 4,4-ди[3(5-метилдипиразолил)]селенид (ДМДПС) с содержанием 0,657 г ДМДПС в 100 см³ препарата (производитель – ООО «Сафрон», Москва, санитарно-эпидемиологическое заключение №77.99.13.003.Т.000518.03.06). По данным [9], ДМДПС на сегодняшний день – самое малотоксичное соединение селена, обладающее слабой кумулятивностью.

Семена пшеницы проращивали в соответствии с рекомендациями [10] в растительных на фильтровальной бумаге в условиях оптимального увлажнения при температуре 20 °С в течение 40 ч. Соотношение жидкой фазы и зерна 4 : 5 [11]. В качестве жидкой фазы использовали: водопроводную воду (образец «К» – контроль); водные растворы селенита натрия Na₂SeO₃ (образец «Е») и ДМДПС (образец «Д») с концентрацией 0,005%, в пересчете на селен. Повторность опытов трехкратная.

Круглосуточно через 2 ч просматривали семена и отмечали время наступления каждой МФФ ПС с учетом рекомендаций [10]. Массовую долю влаги в семенах определяли термогравиметрическим методом [11].

Биохимические показатели зерна пшеницы, характеризующие процесс проращивания, такие как протеолитическая активность, определяли методом Вильштеттера и Вальдшмидта-Лейтца; амилолитическую активность – методом Виндиша-Кольбаха; глутатион определяли методом йодометрического титрования [12].

Суммарное содержание антиоксидантов в образцах пшеницы определяли амперометрическим методом на жидкостном хроматографе «ЦветЯуза-01-АА» – проточно-инжекционной системе с амперометрическим детектированием в соответствии с аттестованной методикой [13].

Обсуждение результатов

В классической технологии солодоращения основной целью является максимальное накопление ферментов, преимущественно гидролитических, в связи с чем продолжительность стадии проращивания составляет от 2 до 5 суток [14]. При разработке и обосновании технологии получения сухого пророщенного зерна пшеницы применительно к производству хлебобулочных изделий в качестве комплексной добавки для повышения их пищевой ценности в качестве рациональных режимов проращивания рекомендовано ограничить процесс 24 ч при температуре 22–25 °С [4].

Ряд работ направлен на выявление дополнительных экзогенных стимулирующих факторов в начальный период роста и развития растений [5, 15], среди которых привлекают внимание различные формы селена [6, 16, 17].

С точки зрения сокращения временных, энерго- и трудозатрат целесообразно использовать интенсивные режимы и условия проращивания зерна, обеспечивающие достижение максимальных целевых показателей при наименьшей продолжительности процесса. С этой точки зрения представляет интерес апробирование в качестве добавки к жидкой фазе при замачивании зерна пшеницы органического селенсодержащего препарата 4,4-ди[3(5-метилдипиразолил)]селенида, эффективность которого как регулятора и стимулятора антиоксидантной системы организма, в том числе в условиях повышенного риска, показана рядом авторов [9, 18].

При выборе концентрации селена в жидкой фазе использовали рекомендации [15], согласно которым наибольший положительный эффект на энергию прорастания, морфологические показатели и всхожесть, а также согласованность процессов роста и развития растений пшеницы проявляется при концентрациях 0,003125–0,0125% [15].

В физиологии растений прорастание семян делится на 4 фазы: набухания, проклевывания, гетеротрофного роста проростка, перехода к автотрофному способу питания [6, 19], однако при таком подходе плохо прослеживается взаимосвязь с соответствующими пороговыми значениями влажности, при которых начинаются ключевые процессы метаболизма и начало растяжения клеток при прорастании [6, 10].

Предложенные авторами [5] микрофенологические фазы прорастания семян ячменя соответствуют точкам изменения влажности зародыша и могут быть полезны при изучении происходящих при этом физиолого-биохимических процессов, таких как активация гликолиза, цикла Кребса, взаимопревращения аминокислот; гидролиз запасных белков и полисахаридов и т.д. Для изучения процесса прорастания зерна пшеницы нами использована усовершенствованная шкала микрофенологических фаз прорастания семян

[10]: «Н» – фаза набухания; «Точка» – наклеывание и появление зародышевого корешка; «К1» – появление двух или трех зародышевых корешков до 2 мм; «К2» – фаза начального роста корешков при длине корешков меньше длины семени; «К3» – корешки длиннее самого семени; «Росток» – появление ростка длиной 2–3 мм, но менее половины длины семени. Фаза «Проросток» – полноценный проросток не менее половины длины семени – нами не рассматривалась, так как формирование ростка длиной свыше 2 мм сопровождается накоплением в семени продуктов метаболизма, оказывающих негативное влияние на организм человека при употреблении в пищу [20].

Экспериментальные данные по определению ММФ процессов набухания и прорастания зерна пшеницы представлены на рисунке. Стрелка обозначает, что продолжительность микрофенологических фаз прорастания семян превышает 40 ч. В случае использования селенита натрия только стадия набухания укладывается во временной период наблюдений, соответствующий достижению прорастающим зерном стадии «Росток» образцами, проращиваемыми с водопроводной водой и с раствором ДМДПС. Фаза набухания при этом продолжается в течение 40 ч, однако не завершается наклеыванием и появлением зародышевого корешка.

Стимулирующее влияние раствора ДМДПС проявляется в сокращении продолжительности микрофенологических фаз для образца с ДМДПС по сравнению с контролем (водопроводная вода): «Набухание», «К2» и «К3» – около 11%; «Точка», «К1» и «Росток» – не менее 20%.

Ферментные системы зернобобовых культур при проращивании активируются в следующей последовательности: ферменты аминокислотного метаболизма, гидролизующие крахмальные полисахариды эндосперма, участвующие в биосинтезе собственных белков и катализирующие гидролитический распад запасных белковых веществ [17, 21].

Анализ данных, представленных на рисунках 2–3, показывает, что наибольшая ферментативная активность достигается через 16–24 ч проращивания.

Применение ДМДПС в составе жидкой фазы при замачивании семян пшеницы сорта «Алая заря» позволяет обеспечить уровень биосинтеза биологически активных веществ, соответствующий контрольному образцу, сократив на 4 ч продолжительность процесса проращивания, а также дополнительно обогатить пророщенную пшеницу биобезопасной формой селена.

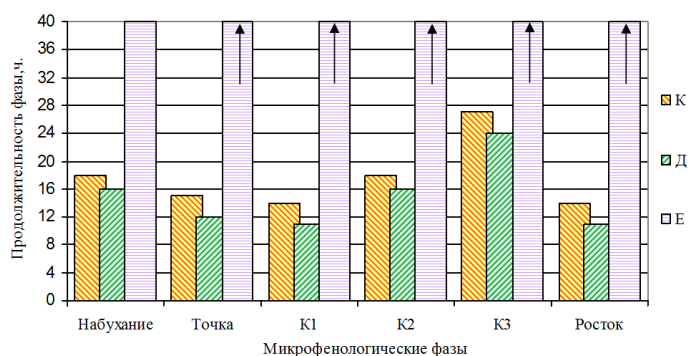
К числу весьма важных полипептидов, встречающихся в свободном виде в микроскопических, растительных и животных организмах, относится глутатион. Он содержится во всех живых клетках; особенно много его в зародыше пшеничного зерна и дрожжах; в животных организмах присутствует в печени, в красных кровяных шариках. Являясь сильным восстановителем и легко подвергаясь окислению, глутатион, подобно цистеину, играет важную роль в обмене веществ, принимая активное участие в окислительно-восстановительных процессах в клетке.

Установлено выраженное стимулирующее действие ДМДПС на накопление глутатиона (рис. 4).

Суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на кверцетин (ССА) в образцах различно и варьируется в диапазоне от 30 до 71 мг/100 г (рис. 5).

Физиологически обоснованными нормами ежедневного потребления антиоксидантов являются: для здорового человека – в пределах 350 мг в сутки; для больных людей и людей с интенсивной физической нагрузкой (спортсменов) – более 1200 мг в сутки. Таким образом, употребление 100 г зерна пшеницы в стадии покоя обеспечивает 8,6% среднесуточной физиологической потребности антиоксидантов для здорового человека и 20% от аналогичной нормы, если зерно предварительно было активировано путем проращивания в растворе ДМДПС.

Рис. 1. Продолжительность ММФ набухания и прорастания зерна пшеницы при проращивании с источниками селена в условиях оптимального увлажнения: К – контроль (водопроводная вода); Е – селенит натрия; Д – ДМДПС



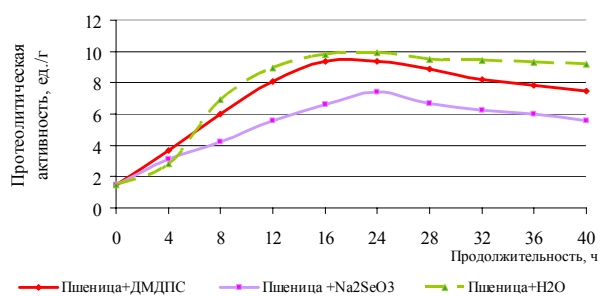


Рис. 2. Протеолитическая активность пшеницы при проращивании

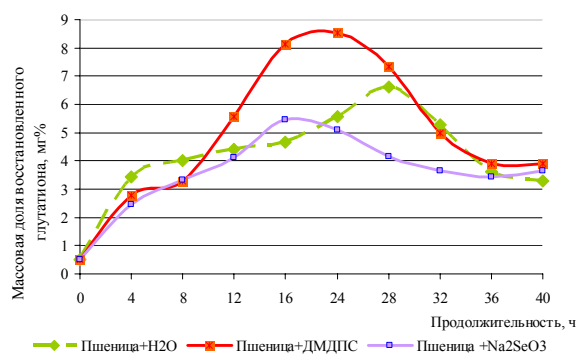


Рис. 4. Содержание глутатиона в образцах пшеницы при проращивании

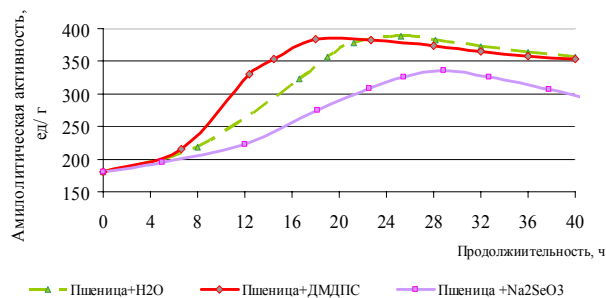


Рис. 3. Амилолитическая активность пшеницы при проращивании

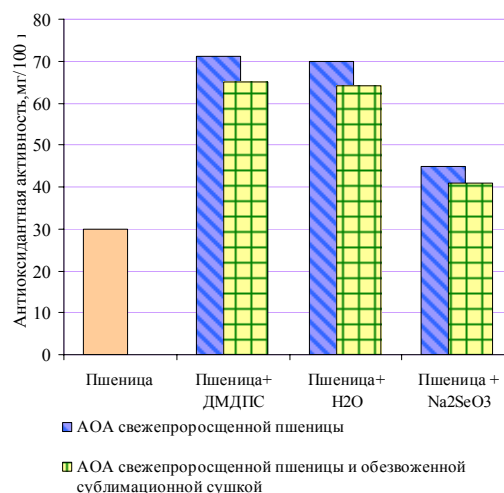


Рис. 5. Суммарное содержание антиоксидантов в сухих семенах (Пшеница) и проростках пшеницы, полученных без использования (Пшеница+H₂O) и с использованием органического (Пшеница+ДМДПС) и неорганического (Пшеница +Na₂SeO₃) селена

Заключение

Селенит натрия подавляет естественные биохимические процессы активации ферментных комплексов и интенсификации обмена веществ, сопровождающие проращивание зерна. ДМДПС оказывает стимулирующее воздействие на метаболические процессы, стимулируя рост и развитие и рост зародышевых корешков и ростков. Продолжительность ММФ ПС при использовании в составе замочной воды ДМДПС сокращается на 2–4 ч по сравнению с водопроводной водой. Результаты использованы для визуального контроля процесса проращивания зерна пшеницы при производстве пищевых добавок на зерновой основе с обогащенным микроэлементным составом.

При действии селенированной воды на пшеницу происходит незначительное ингибирование протеаз. Под действием селенита натрия снижение протеолитической активности в среднем составляет 30%, под действием ДМДПС – 5%.

Установлено, что в образце «Пшеница+ДМДПС» амилолитическая активность показывает тенденцию к достижению того же уровня, что и в контроле «Пшеница+H₂O», однако максимум достигается на 4 ч раньше. В образце с селенитом натрия максимум амилолитической активности достигается на 4 ч позже, а уровень активности – на 15% ниже по сравнению с контролем.

Максимальное содержание восстановленной формы глутатиона отмечено для образца пшеницы, пророщенной с ДМДПС, – 8,53 мг%. Это на 22,6% больше, чем в контрольном образце, и на 36,1% больше, чем в образце с селенитом натрия. Экстремальные значения показателя достигаются через 28 ч проращивания для контрольного образца, через 16–20 ч – для образцов с ДМДПС и Na₂SeO₃.

Больше всего антиоксидантов содержится в образце, пророщенном с органическим селеном. Суммарное содержание антиоксидантов в образце (Пшеница+ДМДПС) составило 71 мг/100 г; в образце (Пшеница +Na₂SeO₃) – 45 мг/100 г; в образце (Пшеница+H₂O) – 69 мг/100 г. Установлено, что обезвоживание с ИК-нагревом приводит к снижению антиоксидантной активности не более чем на 8% за счет шадящих режимов сушки (20–24 ч, 35 °С).

Таким образом, органический селен имеет благоприятный биохимический фон для эффективного включения в работу антиоксидантной системы, что свидетельствует в пользу выбранного способа комплексного обогащения антиоксидантами пищевых добавок, получаемых из проростков зерна пшеницы с использованием органического источника селена. С учетом высокого биоповреждающего потенциала свободных радикалов и продуктов их метаболизма, антиоксидантная система клетки играет важную роль в обеспечении физиологических функций организма человека. Для поддержания антиоксидантной системы в рабочем состоянии необходим селен. Поэтому обогащение селеном продуктов массового потребления является наиболее актуальным вопросом в современном питании.

Список литературы

1. De Vita P., Platani C., Fragasso M. Selenium-enriched durum wheat improves the nutritional profile of pasta without altering its organoleptic properties // Food chemistry. 2017. Vol. 214. Pp. 374–382
2. Тутельян В.А., Княжев В.А., Хотимченко С.А., Голубкина Н.А., Кушлинский Н.Е., Соколов Я.А. Селен в организме человека. М., 2002. 224 с.
3. Гмошинский И.В., Мазо В.К., Тутельян В.А., Хотимченко С.А. Микроэлемент селен: роль в процессах жизнедеятельности // Экология моря. 2000. №54. С. 5–19.
4. Сташкова Н.О. Технологические аспекты получения сухих пророщенных зерен пшеницы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. №2. С. 37–38.
5. Казакова А.С., Козяева С.Ю. Шкала микрофенологических фаз прорастания семян ярового ячменя // Сельскохозяйственная биология. 2009. №3. С. 88–92.
6. Obroucheva N.V., Sin'kevich I.A. Aquaporins and cell growth // Russian Journal of Plant Physiology. 2010. Vol. 57. N2. Pp. 153–165.
7. Wang Qi, Yu Yao, Li Jixiang. Effects of Different Forms of Selenium Fertilizers on Se Accumulation, Distribution, and Residual Effect in Winter Wheat-Summer Maize Rotation System // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. Vol. 65. N6. Pp. 1116–1123.
8. Патент №5407 (РФ). Пшеница мягкая озимая «Алая заря» / А.М. Алещенко, Т.Г. Ващенко, Г.Г. Голева, С.В. Гончаров, Н.Т. Павлюк, И.А. Русанов, Ю.В. Швырев, В.Е. Шевченко, Г.Д. Шенцев / 21.05.2010.
9. Шабунин С.В., Беляев В.И., Дубовской И.И., Курило Н.Ф., Балым Ю.П., Алехин Ю.Н. Селен. Биологические свойства и применение в животноводстве и ветеринарии. Воронеж, 2007. 194 с.
10. Казакова А.С., Козяева С.Ю. Шкала микрофенологических фаз прорастания семян ярового ячменя // Сельскохозяйственная биология. 2009. №3. С. 88–92.
11. Федотов В.А., Коломейченко В.В. Растениеводство. Практикум : учебное пособие. Воронеж, 1998. 464 с.
12. Косминский Г.И. Технология солода, пива и безалкогольных напитков Лабораторный практикум по технологическому контролю производства. М., 1998. 352 с.
13. Методика выполнения измерений антиоксидантов для водорастворимых проб. Свидетельство № 31-07 от 4 мая 2007 г.
14. Ростовская М.Ф., Загария С.Ю., Алябьев Б.А., Клыков А.Г. Пивоваренный солод из сортов пшеницы, возделываемых в Приморском крае // Пиво и напитки. 2009. №4. С. 36–38.
15. Щукин В.Б., Громов А.А., Щукина Н.В. Селен как экзогенный стимулирующий фактор в начальный период роста и развития растений озимой пшеницы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2005. №7–1. С. 107–110.
16. Zhang Dong, Dong Tianyu, Ye Jun. Selenium accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L) as affected by coapplication of either selenite or selenate with phosphorus // Soil science and plant nutrition. 2017. Vol. 63. N1. Pp. 37–44.
17. Галочкина Н.А., Клиновья М.А., Лаптиёва Е.А. Современные подходы и механизмы биоактивации растительных культур при прорастивании // Студенческий научный форум : материалы V Международной студенческой электронной научной конференции. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632>
18. Шабунин С.В., Беляев В.И., Балым Ю.П. Результаты применения препарата «Селедант» (Селекор) в ветеринарии и животноводстве // Селекор. Биологическое действие. М., 2006. С. 89–99.
19. Obroucheva N.V. Transition from hormonal to nonhormonal regulation as exemplified by seed dormancy release and germination triggering // Russian Journal of Plant Physiology. 2012. Vol. 59. N4. Pp. 546–555.
20. Данильчук Т.Н., Рогов И.А., Демидов А.В. Повышение антиоксидантной активности проростков злаковых культур под воздействием инфракрасного излучения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. №9. С. 16–21.
21. Обручева Н.В. Физиология начальных этапов прорастания семян двудольных растений : автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 1991. 45 с.

Поступило в редакцию 2 марта 2017 г.

После переработки 1 июня 2017 г.

Glotova I.A., Galochkina N.A. * INFLUENCE OF SOURCES OF SELENIUM ON BIOCHEMICAL PROCESSES DURING SWELLING AND GERMINATION OF WHEAT GRAIN

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, ul. Michurina, 1, Voronezh, 394087 (Russia),
e-mail: galochkina.na@mail.ru

The influence of sodium selenite and 4,4-di[3(5-methylpiperazine)]selenide (DMDPS) on microphenological phases of swelling and germination of grain of winter wheat of a grade "Alaya Zarya" was studied. The influence of sodium selenite and DMDPS on amylolytic, proteolytic activity and contents in the form of glutathione is studied. Opposite action of DMDPS and selenit on biochemical processes at grain germination is found: for DMDPS – stimulating, for sodium selenit – depressant. Under the influence of sodium selenit the decrease in proteolytic activity by 30%, under the influence of DMDPS – 5% is revealed. It is found that amylolytic activity of wheat under the influence of DMDPS shows a tendency to achieve the same level, as in the control "Wheat + H₂O", however the maximum is reached 4 hours earlier. In a sample with sodium selenit the decrease in amylolytic activity by 15% in comparison with control is found. Stimulating action of DMDPS on glutathione accumulation is detected. The maximum contents in the form of glutathione is noted for a sample of wheat, germinated with DMDPS – 8,53 mg%. It is 22,6% more than in the control sample, and is 36,1% more, than in the sample with sodium selenit. The extreme values of an indicator are reached in 28 hours of germination for the control sample, in 16–20 hours – for samples with DMDPS and Na₂SeO₃. The duration of microphenological phases of germination of seeds using DMDPS as a part of steep water is reduced by 2–4 hours in comparison with tap water. The results are used for control of wheat grain germination in the process of additives enriched with selenium on grain basis.

Keywords: microphenological phases, wheat grain, sodium selenit, 4,4-di[3(5-methylpiperazine)]selenide (DNDPS), germination, amylolytic activity, proteolytic activity, glutathione.

References

- De Vita P., Platani C., Fragasso M. *Food chemistry*, 2017, vol. 214, pp. 374–382.
- Tutel'ian V.A., Kniazhev V.A., Khotimchenko S.A., Golubkina N.A., Kushlinskii N.E., Sokolov Ia.A. *Selen v organizme cheloveka*. [Selenium in the human body]. Moscow, 2002, 224 p. (in Russ.).
- Gmoshinskii I.V., Mazo V.K., Tutel'ian V.A., Khotimchenko S.A. *Ekologiya moria*, 2000, no. 54, pp. 5–19. (in Russ.).
- Stashkova N.O. *Khranenie i perera-botka sel'khozsyria*, 2011, no. 2, pp. 37–38. (in Russ.).
- Kazakova A.S., Kozaieva S.Iu. *Sel'sko-khoziaistvennaia biologiya*, 2009, no. 3, pp. 88–92. (in Russ.).
- Obroucheva N.V., Sin'kevich I.A. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, vol. 57, no. 2, pp. 153–165.
- Wang Qi, Yu Yao, Li Jixiang. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, vol. 65, no. 6, pp. 1116–1123.
- Patent 5407 (RU). 21.05.2010. (in Russ.).
- Shabunin S.V., Beliaev V.I., Dubovskoi I.I., Kurilo N.F., Balym Iu.P., Alekhin Iu.N. *Selen. Biologicheskie svoistva i primeneniye v zhivotnovodstve i veterinarii*. [Selenium. Biological properties and application in livestock and veterinary]. Voronezh, 2007, 194 p. (in Russ.).
- Kazakova A.S., Kozaieva S.Iu. *Sel'sko-khoziaistvennaia biologiya*, 2009, no. 3, pp. 88–92. (in Russ.).
- Fedotov V.A., Kolomeichenko V.V. *Rastenievodstvo. Praktikum: uchebnoe posobie*. [Crop production. Workshop: A Training Manual]. Voronezh, 1998, 464 p. (in Russ.).
- Kosminskii G.I. *Tekhnologiya soloda, piva i bezalkogol'nykh napitkov Laboratornyi praktikum po tekhnokhimicheskomu kontroliu proizvodstva*. [Technology of malt, beer and non-alcoholic beverages Laboratory practical training in the production of technochemical control]. Moscow, 1998, 352 p. (in Russ.).
- Metodika vypolneniia izmerenii antioksidantov dlia vodorastvorimykh prob*. Svidetel'stvo № 31-07 ot 4.05.2007. [Method for performing measurements of antioxidants for water-soluble samples. Certificate No. 31-07 dated May 4, 2007]. (in Russ.).
- Rostovskaia M.F., Zagariia S.Iu., Aliab'ev B.A., Klykov A.G. *Pivo i napitki*, 2009, no. 4, pp. 36–38. (in Russ.).
- Shchukin V.B., Gromov A.A., Shchukina N.V. *Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2005, no. 7–1, pp. 107–110. (in Russ.).
- Zhang Dong, Dong Tianyu, Ye Jun. *Soil science and plant nutrition*, 2017, vol. 63, no. 1, pp. 37–44.
- Galochkina N.A., Klinovaia M.A., Laptieva E.A. *Materialy V Mezhdunarodnoi studencheskoi elektronnoi nauchnoi konferen-tsii «Studencheskii nauchnyi forum»* [Materials of the V International Student Electronic Scientific Conference "Student Scientific Forum"]. URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/601/4632> (in Russ.).
- Shabunin S.V., Beliaev V.I., Balym Iu.P. *Selekor. Biologicheskoe deistvie*. [Selecor. Biological action]. Moscow, 2006, pp. 89–99. (in Russ.).
- Obroucheva N.V. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2012, vol. 59, no. 4, pp. 546–555.
- Danil'chuk T.N., Rogov I.A., Demidov A.V. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyria*, 2014, no. 9, pp. 16–21. (in Russ.).
- Obroucheva N.V. *Fiziologiya nachal'nykh etapov prorastaniia semian dvudol'nykh rastenii: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk*. [Physiology of the initial stages of germination of seeds of dicotyledons: the author's abstract. diss. ... cand. biol. science]. Moscow, 1991, 45 p. (in Russ.).

Received March 2, 2017

Revised June 1, 2017

* Corresponding author.