

УДК 665.127.6

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПРЕПАРАТАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ, НА МАСЛИЧНОСТЬ И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ СЕМЯН *BRASSICA NAPUS L.*

© Я.В. Смольникова*, Н.А. Величко, В.Л. Бопп, А.В. Коломейцев, О.В. Стутко, В.А. Ханипова

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90,
Красноярск, 660049 (Россия), e-mail: ya104@yandex.ru

В статье проанализированы изменения жирнокислотного состава семян рапса ярового сортов Траппер и Сибирский после обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8». Методом газожидкостной хроматографии исследован жирнокислотный состав семян рапса ярового, культивируемого в условиях Сибирского региона. В семенах рапса обнаружено 19 жирных кислот с длиной цепи от 12 до 24 атомов углерода. Обработка препаратами, содержащими гуминовые кислоты, вызывала различную реакцию у сортов. У сорта Траппер после обработки наблюдалось снижение масличности, у сорта Сибирский масличность повышалась. Установлено, что обработка препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8» вызывала увеличение линолевой и линоленовой и уменьшение олеиновой жирных кислот. Максимальное содержание линолевой и линоленовой жирных кислот было отмечено в семенах после обработки препаратом «Гуминатрин». Также обработка препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8» сортов Траппер и Сибирский приводила к увеличению концентрации предельных жирных кислот.

Ключевые слова: *Brassica napus L.*, гуминовые кислоты, жирнокислотный состав.

Результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту «Создание комплексного высокотехнологичного производства растительного масличного сырья и продуктов его переработки в условиях Сибири».

Введение

В настоящее время актуальны вопросы, связанные с увеличением сырьевых ресурсов для получения

Смольникова Яна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии, заведующая научно-исследовательской лабораторией проблем переработки масличного сырья, e-mail: ya104@yandex.ru

Величко Надежда Александровна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии консервирования и пищевой биотехнологии, e-mail: vepa@kgau.ru

Бопп Валентина Леонидовна – кандидат биологических наук, доцент, проректор по науке, e-mail: vl_kolesnikova@mail.ru

Коломейцев Александр Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, начальник управления науки и инноваций, e-mail: kolomeytsev.alexandr@gmail.com

Стутко Оксана Валериевна – старший преподаватель кафедры химии, e-mail: stutko_ov@mail.ru

Ханипова Вера Александровна – директор научно-исследовательского испытательного центра, e-mail: gasi.vera@yandex.ru

различных пищевых продуктов, в том числе растительных масел. Немаловажное значение для расширения ресурсов масличного сырья и продвижения посевов масличных культур в северные районы имеет выращивание рапса. После выведения сортов рапса с низким содержанием эруковой кислоты и практически нулевым содержанием тиогукозидов значительно повысился интерес к этой культуре [1–4]. Следует также отметить, что в ведущих западных странах рапс признан высокопродуктивной культурой [5].

Масличные семена являются вторым источником энергии после зерновых культур в обществе. Рапс – один из самых важных масличных семян в мире, который занял третье место после сои и масличной пальмы по поставкам растительного масла и пятое место – по обеспечению белком [6].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Важность рапса обусловлена его масличностью и шротом, которые также обладают потенциалом возобновляемого источника биотоплива. Рапсовое масло обладает большей питательной ценностью за счет сбалансированного содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот [7].

Для повышения всхожести, поглощающей способности, устойчивости и продуктивности растений возможно применение различных новых стимуляторов роста и коммерческих препаратов при выращивании хозяйственно ценных культур [8–13].

Гуминовая кислота – это природное органическое полимерное соединение, которое образуется в результате деградации почвенных органических материалов, торфа, лигнина и т.д., используется для увеличения количества и качества урожая [14–18]. Одним из существенных преимуществ гуминовой кислоты является хелатирование различных элементов, таких как натрий, калий, магний, цинк, кальций, железо, медь и т.д., что позволяет преодолеть дефицит питательных веществ, который вызывает увеличение корней – длину и вес, а также образование боковых корней [19]. Внекорневое внесение гуминовых кислот в фазу бутонизации семян рапса привело к значительному увеличению содержания хлорофилла, выхода семян и масла [20].

Установлено, что гуминовая кислота увеличивает урожайность растений за счет положительных физиологических эффектов, таких как влияние на метаболизм растительных клеток и увеличение концентрации хлорофилла в листьях [21]. Гуминовые кислоты повышают проницаемость клеточной мембраны, следовательно, облегчают поступление калия и увеличивают внутреннее клеточное давление, что приводит к делению клеток [22].

Обычно в качестве критериев оценки влияния гуминовых кислот на рапс используют следующие характеристики: всхожесть, скорость прорастания, энергия прорастания, в то же время наблюдается дефицит информации об изменениях его жирнокислотного состава.

Цель данного исследования – оценка препаратов, содержащих гуминовые кислоты на общую масличность и жирнокислотный состав семян рапса, культивируемого в условиях Сибирского региона.

Экспериментальная часть

Объекты исследования. Семена рапса ярового – семейство капустных. *Brassicaceae* относится к виду *B. napus oleifera annua* Metz. Объектом исследования были выбраны сорт отечественной селекции «Сибирский» (Новосибирск), сорт западной селекции «Траппер» (Германия). В качестве препаратов, содержащих гуминовые кислоты, применялись «Гуминатрин», «Берес-8». Сорта рапса ярового произрастали в хозяйстве ООО «ОПХ Соляное», территория которого относится к Средне-Сибирскому плоскогорью, в пределах земледельческой части которого выделена Рыбинская котловина (в южной части). Хозяйство расположено в Канской лесостепной зоне. Удобрения вносили в количестве 0.3% путем опрыскивания растений на стадии бутонизации. Уборку семян осуществляли на стадии полной спелости зерна (101–110 день от всходов).

Методы исследования. Общую масличность определяли в экстракторе фирмы VELP модели SER 148/6 по методу Рэндалла в соответствии с ИСС 136 «Определение содержания жира в зерне и зернопродуктах». В качестве растворителя применялся диэтиловый эфир. Жирнокислотный состав определяли на газовом хроматографе фирмы Perkin Elmer (США) в соответствии с ГОСТ 30418-96 Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава.

Все данные представлены как средние арифметические значения и их стандартные отклонения из 3 независимых измерений.

Результаты и обсуждение

При определении общей масличности наблюдалась разнонаправленная реакция сортов на обработку препаратами (рис. 1).

Как следует из рисунка 1, у сорта Траппер после обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8» наблюдалось снижение масличности относительно контроля на 1.51 и 1.19% соответственно. У сорта Сибирский отмечена обратная зависимость: после обработки «Гуминатрином» масличность увеличивалась на 1.61%, «Берес-8» – на 1.05. Данные результаты свидетельствуют о генетических различиях сортов.

Влияние обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8» на жирнокислотный состав рапса ярового представлен в таблице.

Проведенный анализ позволил идентифицировать в рапсе 19 жирных кислот с длиной углеродной цепи от 12 до 24 атомов углерода, из которых 6 присутствовали в концентрациях, превышающих 1%: пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, линолевая, линоленовая, гондоиновая. В среднем массовая доля этих жирных кислот составляла свыше 90% от общей суммы.

Как следует из результатов таблицы, концентрация основных насыщенных жирных кислот – пальмитиновой и стеариновой – увеличивалась после обработки гуминовыми кислотами в обоих сортах, на 0.24 и 0.18% – у сорта Траппер, на 0.06 и 0.17% – у сорта Сибирский соответственно.

Сходная реакция сортов на обработку препаратами наблюдается при анализе моно- и полиненасыщенных жирных кислот. Самое низкое содержание олеиновой кислоты зафиксировано в семенах рапса после обработки препаратом «Гуминатрин»: 60.75% – для сорта Траппер и 63.32% – для сорта Сибирский. Обратная зависимость установлена для линолевой и линоленовой кислот – их концентрация в семенах после обработки увеличивалась. Максимальная концентрация линолевой кислоты для сорта Траппер составила 20.46%, линоленовой – 10.06% после обработки препаратом «Гуминатрин». Наибольшее количество линолевой кислоты в семенах рапса сорта Сибирский составило 17.90%, линоленовой – 9.30% также после обработки препаратом Гуминатрин.

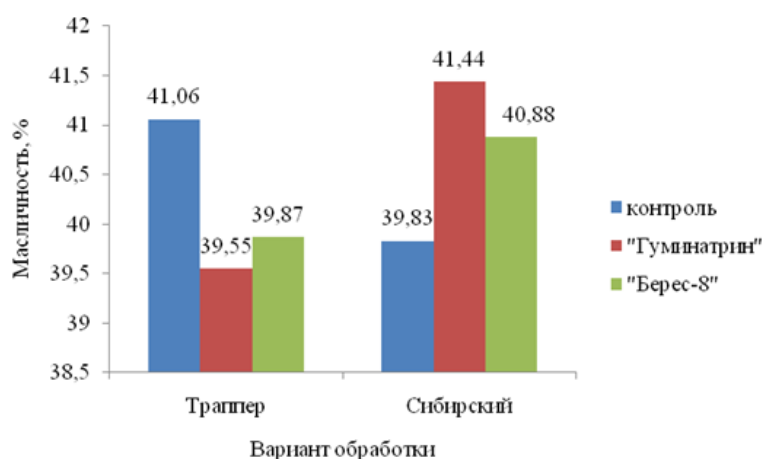


Рис. 1. Влияние обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8» на масличность семян рапса ярового

Жирнокислотный состав семян рапса ярового после обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8»

Формула Тривиальное / систематическое название	Содержание жирных кислот, % от суммы					
	Траппер			Сибирский		
	кон- троль	«Гуми- натрин»	«Берес- 8»	кон- троль	«Гуми- натрин»	«Берес- 8»
C12:0 лауриновая / додекановая	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
C14:0 Миристиновая / тетрадекановая	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
C15:0 Пентадециловая / пентадекановая	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
C16:0 Пальмитиновая / гексадекановая	3.99	4.12	4.23	3.52	3.58	3.57
C16:1 ω 7 Пальмитолеиновая / <i>цис</i> -9-гексадеценная	0.20	0.22	0.21	0.17	0.15	0.16
C17:0 Маргариновая кислота / гептадекановая	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
C18:0 Стеариновая / октадекановая	1.75	1.86	1.93	1.92	1.99	2.09
C18:1 ω 9 Олеиновая / <i>цис</i> -9-октадеценная	62.25	60.75	61.99	64.54	63.32	64.39
C18:2 ω 6 Линолевая / <i>цис</i> , <i>цис</i> -9,12-октадекадиеновая	19.24	20.46	19.63	17.20	17.90	17.43
C18:3 ω 3 α -Линоленовая / <i>цис</i> , <i>цис</i> , <i>цис</i> -9,12,15-октадекатриеновая	9.51	10.06	9.64	8.33	9.30	9.11
C20:1 ω 9 гондоиновая / <i>цис</i> -11-эйкозеновая кислота	1.28	1.16	1.18	2.34	2.37	1.86
C20:0 Арахидиновая / эйкозановая	0.52	0.56	0.61	0.68	0.68	0.73
C20:2 ω 6 Эйкозодиеновая / <i>цис</i> , <i>цис</i> -11,14-эйкозодиеновая кислота	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08
C20:4 ω 6 Арахидиновая / <i>цис</i> , <i>цис</i> , <i>цис</i> , <i>цис</i> -5,8,11,14-эйкозатетраеновая кислота	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C22:0 Бегеновая / докозановая	0.28	0.27	0.26	0.47	0.47	0.37
C22:1 ω 9 Эруковая / <i>цис</i> -13-докозеновая кислота	0.11	0.04	0.05	0.72	0.47	0.49
23:0 Трикозановая	0.02	0.02	0.02	0.09	0.02	0.02
C24:0 Лигноцерининовая / тетракозановая	0.14	0.12	0.13	0.21	0.16	0.20
C24:1 ω 9 Нервоновая / <i>цис</i> -15-тетракозеновая	0.16	0.16	0.14	0.25	0.25	0.20

Для оценки общего влияния препаратов гуминовых кислот на жирнокислотный состав семян рапса был проведен анализ суммарного содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Результаты представлены на рисунках 2, 3.

Из результатов исследования следует, что обработка препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8» увеличивала содержание насыщенных жирных кислот и снижала количество ненасыщенных для обоих сортов. У сорта Траппер разница между содержанием насыщенных жирных кислот в контроле и после обработки препаратом «Берес-8» достигала 0.46%, у сорта Сибирский – 0.1%.

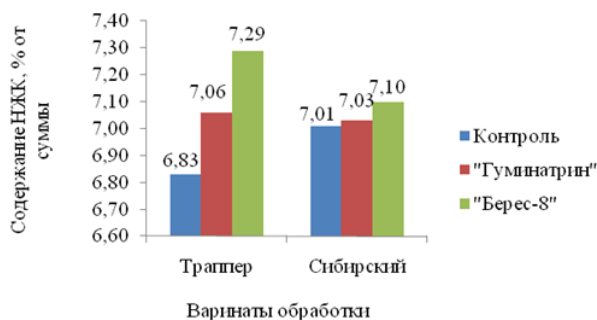


Рис. 2. Суммарное содержание насыщенных жирных кислот (НЖК) в семенах рапса ярового после обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8»

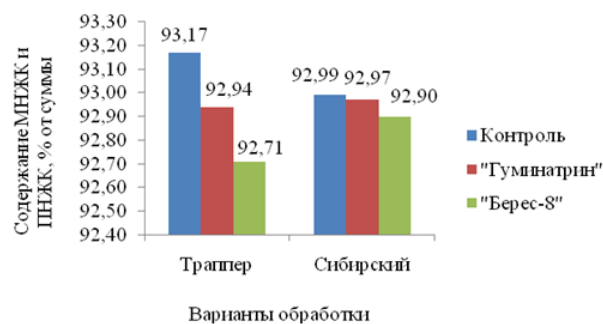


Рис. 3. Суммарное содержание моно- и полиненасыщенных жирных кислот (МНЖК и ПНЖК) в семенах рапса ярового после обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8»

Выводы

Результаты исследования показали разнонаправленную реакцию сортов рапса на обработку препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8». У сорта Траппер наблюдалось незначительное снижение масличности, тогда как у сорта Сибирский масличность повышалась. Исследования жирнокислотного состава показали сходную сортовую реакцию на обработку. В обоих сортах увеличивалась концентрация пальмитиновой, стеариновой, линолевой и линоленовой жирных кислот, количество олеиновой – снижалось. Максимальная концентрация линолевой и линоленовой кислот наблюдалась после обработки препаратом «Гуминатрин».

Несмотря на обнаруженные различия в жирнокислотном составе сортов рапса после обработки препаратами «Гуминатрин» и «Берес-8», выявленные вариации не слишком значительны, по суммарному содержанию насыщенных и ненасыщенных жирных кислот сорта после обработки отличались от контрольных на 0.5–0.1%. Таким образом, установлено, что обработка рапса ярового сортов Траппер и Сибирский препаратами, содержащими гуминовые кислоты, не оказывает существенного влияния на жирнокислотный состав семян.

Список литературы

1. Быкова С.Ф., Давиденко Е.К., Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Перспективы развития сырьевой базы масложирового комплекса России // Пищевая промышленность. 2017. №5. С. 20–24.
2. Никитенко А.И., Болтовский В.С., Завало А.И. Анализ семенного материала некоторых сортов Ярового и озимого рапса // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2011. №4. С. 207–209.
3. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С., Лошкомойников И.А. Продуктивность и жирнокислотный состав масла рапса и сурепицы в условиях Западной Сибири // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. №6. С. 42–44. DOI: 10.24411/2587-6740-2017-16010.
4. Сахно Л.А. Вариабельность жирнокислотного состава рапсового масла: классическая селекция и биотехнология // Цитология и генетика. 2010. №6. С. 70–80.
5. Amiri M., Shirani A.H., Valadabadi A., Sayfzadeh S., Zakerin H. Response of rapeseed fatty acid composition to foliar application of humic acid under different plant densities // Plant, Soil and Environment. 2019. Vol. 65 (6). Pp. 303–308. DOI: 10.17221/220/2020-PSE.
6. Jaber H., Lotfi B., Jamshidnia T., Fathi A., Olad R., Abdollahi A. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phenological stages // Scientia Agriculturae Bohemica. 2015. Vol. 12. Pp. 144–148.
7. Starner D.E., Hamama A.A., Bhardwaj H.L. Prospects of Canola as an Alternative Winter Crop in Virginia. Alexandria: ASHS Press, 2002.

8. Голованова М.А., Нефедьева Е.Э., Байбакова Е.В., Фридланд С.В., Павлова Т.П., Рощина О.С. Влияние био-препаратов аммофос-ф, гуанибифос-ф, амидофос-ф на прорастание семян и рост проростков рапса // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. №11. С. 194–198.
9. Бугаев П.Д., Белоухов С.Л., Ламмас М.Е. Особенности формирования урожая пивоваренного ячменя при использовании защитно-стимулирующих комплексов в условиях центрального района нечерноземной зоны // Достижения науки и техники АПК. 2014. №8. С. 26–28.
10. Скоблина В.И. Влияние биологических стимуляторов роста симбионта-3, биоплана и эпина на рост и развитие рассады белокочанной капусты // Экологическая безопасность в АПК. 2001. №4. С. 831.
11. Васин А.В., Дармин А.В., Брежнев В.В. Применение стимуляторов роста при выращивании кукурузы и ячменя // Кормопроизводство. 2009. №2. С. 17–18.
12. Вострикова Т.В., Калаев В.Н., Бутова Л.С., Медведева С.М., Шихалиев Х.С. Биологические эффекты соединений хинолинового ряда на ростовую активность *Salvia splendens* // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2012. №1. С. 103–106.
13. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Применение инновационных препаратов Эко-Стим в качестве регуляторов роста сельскохозяйственных культур // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 145–152.
14. Кондратенко Е.П., Сухих А.С., Вербицкая Н.В., Соболева О.М. Биостимулирующие и физико-химические свойства гумата натрия // Химия растительного сырья. 2016. №3. С. 109–118.
15. Маслов С.Г., Кусмауль С.А., Воронова О.А., Короткова Е.И. Изменение антиоксидантной активности гуминовых и фульвокислот в процессе хранения // Химия растительного сырья. 2013. №4. С. 193–198.
16. Зыкова М.В., Логвинова Л.А., Кривошеков С.В., Воронова О.А., Ласукова Т.В., Братишко К.А., Жолобова Г.А., Голубина О.А., Передерина И.А., Дрыгунова Л.А., Тверякова Е.Н., Белоусов М.В. Антиоксидантная активность высокомолекулярных соединений гуминовой природы // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 239–250.
17. Gursoy M., Kolsarici O. Effects of different humic acid doses in leonardite environment on the oil percentage and fatty acids of summer rapeseed (*brassica napus* ssp. *Oleifera* L.) under Central Anatolian conditions // Fresenius Environmental Bulletin. 2017. Vol. 26. N11. Pp. 6447–6456.
18. Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Биологическая активность гумусовых веществ и их влияние на свойства семян // Лесной вестник. 2017. Т. 21. №2. С. 26–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-26-36.
19. Abedi T., Pakniyat H. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.) // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 2010. Vol. 46. Pp. 27–34. DOI: 10.17221/67/2009-CJGPB.
20. Nasiri A., Samdaliri M., Shirani Rad A.H., Mosavi Mirkale A., Jabbari H. Influence of humic acid, plant density on yield and fatty acid composition of some rapeseeds cultivars during two years // Journal of Agricultural Research. 2017. N5. Pp. 103–109. DOI: 10.17221/220/2020-PSE.
21. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants // Soil Biology and Biochemistry. 2002. Vol. 34. Pp. 1527–1536.
22. Giasuddin A.B.M., Kanel S.R., Choi H. Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal // Environmental Science and Technology. 2007. Vol. 41. Pp. 2022–2027. DOI: 10.1021/es061653.

Поступила в редакцию 2 декабря 2020 г.

После переработки 10 декабря 2020 г.

Принята к публикации 22 декабря 2020 г.

Для цитирования: Смольникова Я.В., Величко Н.А., Бопп В.Л., Коломейцев А.В., Стутко О.В., Ханипова В.А. Влияние обработки препаратами, содержащими гуминовые кислоты, на маслячность и жирнокислотный состав семян *Brassica napus* L. // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 191–196. DOI: 10.14258/jcprgm.2021018894.

Smol'nikova Ya.V.*, Velichko N.A., Bopp V.L., Kolomeitsev A.V., Stutko O.V., Khanipova V.A. EFFECT OF TREATMENT WITH PREPARATIONS CONTAINING HUMIC ACIDS ON THE OIL CONTENT AND FATTY ACID COMPOSITION OF *BRASSICA NAPUS* L.

Krasnoyarsk state agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049 (Russia), e-mail: ya104@yandex.ru

The article analyzes changes in the fatty acid composition of spring rapeseed represented by Trapper and Siberian varieties after their treatment with «Huminatrin» and «Beres-8». The fatty acid composition of spring rapeseed cultivated in the Siberian region was studied by gas-liquid chromatography. The rapeseed contains 19 fatty acids with a chain length of 12 to 24 carbon atoms. The treatment with preparations containing humic acids caused different reactions in varieties. The Trapper variety showed a decrease in oil content after processing, while the Siberian variety showed an increase in oil content. It was found that treatment with «Huminatrin» and «Beres-8» caused an increase in linoleic and linolenic acids and a decrease in oleic fatty acids. The maximum content of linoleic and linolenic fatty acids was observed in seeds after their treatment with the «Huminatrin». Also the treatment with «Huminatrin» and «Beres-8» preparations of Trapper and Siberian varieties led to an increase in the concentration of limited fatty acids.

Keywords: *Brassica napus* L., humic acids, fatty acid composition.

References

1. Bykova S.F., Davidenko Ye.K., Yefimenko S.G., Yefimenko S.K. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2017, no. 5, pp. 20–24. (in Russ.).
2. Nikitenko A.I., Boltovskiy V.S., Zavalo A.I. *Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya*, 2011, no. 4, pp. 207–209. (in Russ.).
3. Kuznetsova G.N., Polyakova R.S., Loshkomoynikov I.A. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2017, no. 6, pp. 42–44. DOI: 10.24411/2587-6740-2017-16010. (in Russ.).
4. Sakhno L.A. *Tsitologiya i genetika*, 2010, no. 6, pp. 70–80. (in Russ.).
5. Amiri M., Shirani A.H., Valadabadi A., Sayfzadeh S., Zakerin H. *Plant, Soil and Environment*, 2019, vol. 65 (6), pp. 303–308. DOI: 10.17221/220/2020-PSE.
6. Jaber H., Lotfi B., Jamshidnia T., Fathi A., Olad R., Abdollahi A. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 2015, vol. 12, pp. 144–148.
7. Starner D.E., Hamama A.A., Bhardwaj H.L. *Prospects of Canola as an Alternative Winter Crop in Virginia*, Alexandria: ASHS Press, 2002.
8. Golovanova M.A., Nefed'yeva Ye.E., Baybakova Ye.V., Fridland S.V., Pavlova T.P., Roshchina O.S. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 11, pp. 194–198. (in Russ.).
9. Bugayev P.D., Belopukhov S.L., Lammas M.Ye. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2014, no. 8, pp. 26–28. (in Russ.).
10. Skoblina V.I. *Ekologicheskaya bezopasnost' v APK*, 2001, no. 4, pp. 831. (in Russ.).
11. Vasin A.V., Darmin A.V., Brezhnev V.V. *Kormoproizvodstvo*, 2009, no. 2, pp. 17–18. (in Russ.).
12. Vostrikova T.V., Kalayev V.N., Butova L.S., Medvedeva S.M., Shikhaliyev Kh.S. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvenno-go universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2012, no. 1, pp. 103–106. (in Russ.).
13. Kalyuta Ye.V., Mal'tsev M.I., Markin V.I., Katrakov I.B., Bazarnova N.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 145–152. (in Russ.).
14. Kondratenko Ye.P., Sukhikh A.S., Verbitskaya N.V., Soboleva O.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 3, pp. 109–118. (in Russ.).
15. Maslov S.G., Kusmaul' S.A., Voronova O.A., Korotkova Ye.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 4, pp. 193–198. (in Russ.).
16. Zykova M.V., Logvinova L.A., Krivoshchekov S.V., Voronova O.A., Lasukova T.V., Bratishko K.A., Zholobova G.A., Golubina O.A., Perederina I.A., Drygunova L.A., Tveryakova Ye.N., Belousov M.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 239–250. (in Russ.).
17. Gursoy M., Kolsarici O. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 6447–6456.
18. Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalayev V.S., Batyrev Yu.P. *Lesnoy vestnik*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 26–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-26-36. (in Russ.).
19. Abedi T., Pakniyat H. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2010, vol. 46, pp. 27–34. DOI: 10.17221/67/2009-CJGPB.
20. Nasiri A., Samdaliri M., Shirani Rad A.H., Mosavi Mirkale A., Jabbari H. *Journal of Agricultural Research*, 2017, no. 5, pp. 103–109. DOI: 10.17221/220/2020-PSE.
21. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, vol. 34, pp. 1527–1536.
22. Giasuddin A.B.M., Kanel S.R., Choi H. *Environmental Science and Technology*, 2007, vol. 41, pp. 2022–2027. DOI: 10.1021/es061653.

Received December 2, 2020

Revised December 10, 2020

Accepted December 22, 2020

For citing: Smol'nikova Ya.V., Velichko N.A., Bopp V.L., Kolomeitsev A.V., Stutko O.V., Khanipova V.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 191–196. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021018894.

* Corresponding author.