
Научная статья/Research Article

УДК 665.3

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-188-194

Екатерина Георгиевна Федорова^{1✉}, Александр Иннокентьевич Машанов²,
Григорий Николаевич Чурилов³, Наталья Григорьевна Внукова⁴

^{1,2}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

^{3,4}Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия

¹fedorova78@mail.ru

²aa-mashanov@yandex.ru

^{3,4}churilov@iph.krasn.ru

ВЛИЯНИЕ Фуллерена полигидроокислированного НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ РЫЖИКОВОГО МАСЛА В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Цель исследования – изучить влияние полигидроокислированного фуллерена (фуллеренола [C₆₀(OH)₂₄₋₂₆]) на окислительную стабильность рыжикового масла в процессе хранения. Задачи: определить влияние фуллеренола на органолептические показатели и показатели порчи (кислотное и перекисное числа) рыжикового масла при хранении. Исследование проводили в лаборатории Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины и в ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Красноярском крае, Республике Хакасии и Республике Тыва». Объектом исследования было натуральное нерафинированное рыжиковое масло, выработанное методом холодного прессования (марка масла П), изготовленное ООО «Елей» по ГОСТ Р 59148-2020 и ТР ТС 024/2011 (г. Новосибирск), широко представленное в розничной сети г. Красноярска. В процессе работы проводились исследования органолептических показателей и показателей порчи (кислотного и перекисного чисел) в начале хранения и в конце хранения (12 мес.) масла. Органолептические показатели и показатели окислительной порчи натурального нерафинированного рыжикового масла, выработанного методом холодного отжима, в начале хранения без антиокислителя соответствовали требованиям нормативных документов, действующих на территории РФ. Использование фуллеренола 0,004 % (I опытный образец) и 0,008 % (II опытный образец) от массы масла по сравнению с контрольным в конце хранения (12 мес.) не влияет на органолептические показатели исследуемых образцов масла, снижает показатель перекисного числа соответственно на 1,9 и 2,9 мэкв/г и кислотного числа соответственно на 0,05 и 0,07 КОН/г. Полученные результаты показывают антиокислительную способность фуллеренола в малых дозах.

Ключевые слова: фуллерен полигидроокислированный, окислительная стабильность, натуральное нерафинированное рыжиковое масло, кислотное и перекисное числа, органолептические показатели, антиокислитель

Для цитирования: Влияние фуллерена полигидроокислированного на окислительную стабильность рыжикового масла в процессе хранения / Е.Г. Федорова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 4. С. 188–194. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-188-194.

Ekaterina Georgievna Fedorova^{1✉}, Alexander Innokentievich Mashanov²,
Grigory Nikolaevich Churilov³, Natalya Grigorievna Vnukova⁴

^{1,2}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

^{3,4}Institute of Physics named after L.V. Kirensky SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

¹fedorova78@mail.ru

²aa-mashanov@yandex.ru

^{3,4}churilov@iph.krasn.ru

POLYHYDROXYLATED FULLERENE INFLUENCE ON THE OXIDATION STABILITY OF CAMELINA OIL DURING STORAGE

The purpose of research is to study the effect of polyhydroxylated fullerene (fullerenol [C₆₀(OH)₂₄₋₂₆]) on the oxidative stability of camelina oil during storage. Objectives: to determine the effect of fullerenol on the organoleptic and spoilage indicators (acid and peroxide values) of camelina oil during storage. The study was carried out in the laboratory of the Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine and in the State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Krasnoyarsk Region, the Republic of Khakassia and the Republic of Tuva. The object of the study was natural unrefined camelina oil produced by cold pressing (oil grade P), manufactured by Eley LLC in accordance with GOST R 59148-2020 and TR TS 024/2011 (Novosibirsk), widely represented in the retail network of Krasnoyarsk. In the process of work, studies were carried out on organoleptic indicators and indicators of spoilage (acid and peroxide numbers) at the beginning of storage and at the end of storage (12 months) of the oil. Organoleptic indicators and indicators of oxidative deterioration of natural unrefined camelina oil produced by cold pressing, at the beginning of storage without an antioxidant, complied with the requirements of regulatory documents enacted on the territory of the Russian Federation. The use of fullerenol 0.004 % (test sample I) and 0.008 % (test sample II) by weight of oil compared to the control sample at the end of storage (12 months) does not affect the organoleptic characteristics of the studied oil samples, reduces the peroxide value by 1.9, respectively and 2.9 meq/g and acid number by 0.05 and 0.07 KOH/g, respectively. The results obtained show the antioxidant capacity of fullerenol in small doses.

Keywords: polyhydroxylated fullerene, oxidative stability, natural unrefined camelina oil, acid and peroxide numbers, organoleptic characteristics, antioxidant

For citation: Polyhydroxylated fullerene influence on the oxidation stability of camelina oil during storage / E.G. Fedorova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(4): 188–194. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-188-194.

Введение. В 2021 г в Красноярском крае производство растительных масел и их нерафинированных фракций составило 4249,4 т, что превышает в пять раз объемы производства данного продукта в 2017 г. (795,4 т) [1]. В последние годы в крае уделяют внимание не только увеличению темпов роста производства растительных масел, но и повышению их качества и хранимоспособности.

Пищевые масла подвергаются в процессе получения и хранения самоокислению и фотосенсибилизированному окислению, что обуславливает образование соединений, ухудшающих вкус масел и снижение их качества. Окислительная стабильность является важной характеристикой в процессе производства и хранения, так как определяет качество масла, срок его годности. Окисление масла приводит к образованию токсичных и окисленных продуктов [2].

Для замедления процесса окисления и увеличения сроков годности пищевой продукции (пищевого сырья) используют пищевые добавки – антиокислители [3].

Антиокислители продлевают индукционный период окисления, или замедляют скорость окисления. Они инактивируют свободные радикалы, такие как алкильные или пероксильные радикалы липидов, сдерживают влияние переходных металлов, гасят синглетный кислород и инактивируют сенсибилизаторы [2].

Перечень пищевых добавок (антиокислителей), разрешенных для применения пищевых продуктов, приведен в Техническом регламенте Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012). Требования безопасности к антиоксидантам и их применению при производстве пищевой продукции следующие: их применение не должно увеличивать степень риска возможного неблагоприятного действия пищевой продукции на здоровье человека; они не должны вызывать ухудшения органолептических показателей пищевой продукции и должны применяться при производстве пищевой продукции в минимальном количестве, необходимом для достижения технологического эффекта [3].

Производные фуллеренов являются интересными объектами для изучения их в качестве антиоксидантов. Они не нормируются ТР ТС 029/2012. В нашей стране действуют технические условия на фуллерен полигидроксилированный (фуллеренол) – многофункциональный сырьевой компонент, который рекомендуется использовать в пищевой промышленности в качестве антиоксиданта с целью продления сроков годности пищевой продукции.

Фуллеренол является веществом органической группы и представляет собой фуллерен (аллотропная форма углерода) с поверхностью, подвергнутой процессу функционализации (химический синтез поверхности) методом полигидроксилирования.

Молекула фуллерена состоит из атомов углерода на поверхности, которой привиты группы (ОН)⁺. В зависимости от степени гидроксилирования фуллерены выпускают следующих видов: C₆₀(ОН)₄₀₋₄₂ и C₆₀(ОН)₆₀ [4].

Научных работ по использованию фуллеренола C₆₀(ОН)₄₀₋₄₂ в пищевой промышленности недостаточно, данному вопросу посвящены лишь единичные публикации [5–7].

Цель исследования – изучить влияние полигидроксилированного фуллерена (фуллеренола [C₆₀(ОН)₂₄₋₂₆]) на окислительную стабильность рыжикового масла в процессе хранения.

Задачи: определить влияние фуллеренола на органолептические показатели и показатели порчи (кислотное и перекисное числа) рыжикового масла при хранении.

Объекты и методы. Объектом исследования было натуральное нерафинированное рыжиковое масло, выработанное методом холодного прессования (марка масла П), изготовленное ООО «Елей» по ГОСТ Р 59148-2020 и ТР ТС 024/2011 (г Новосибирск), широко представленное в розничной сети г. Красноярска. Отбор проб рыжикового масла проводили по ГОСТ 32190-2013, от партии рыжикового масла были отобраны три единицы продукции (стеклянные бутылки, окрашенные в темно-зеленый цвет по

250 мл каждая). Первая бутылка – контрольный образец, во вторую добавляли 0,01 г фуллеренола (0,004 % от массы масла) (I опытный образец), в третью – 0,02 г фуллеренола (0,008 % от массы масла) (II опытный образец). Фуллерен полигидроксилированный (фуллеренола [C₆₀(ОН)₂₄₋₂₆]) был получен на основе низкотемпературного выжигания аморфного углерода и воздействия нанодисперсного катализатора в лаборатории аналитических методов исследований веществ Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН г. Красноярска. Методика позволяет исключить экстракцию фуллеренов токсичными растворителями и получить фуллеренол, не имеющий примесей щелочных металлов, что обеспечивает его высокие антиоксидантные свойства. Исследование органолептических показателей рыжикового масла проводили в лаборатории Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины, показатели порчи (кислотное и перекисное числа) – в ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Красноярском крае, Республике Хакасии и Республике Тыва» в начале хранения (0 день) и в конце хранения (12 мес.). В течение всего периода хранения масло периодически перемешивали. Масло хранили в условиях высоких температур (15–25 °С) в плотно закрытой таре. Определение прозрачности, цвета и запаха проводили по ГОСТ 5472-50, определение вкуса – органолептически (для оценки органолептических показателей использовали 5-балльную шкалу); определение кислотного числа проводили по ГОСТ 31933-2012 (титриметрический метод с визуальной индикацией), перекисного числа – по ГОСТ Р 51487-99.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования органолептических показателей и показателей окислительной порчи натурального нерафинированного рыжикового масла (марка масла П), выработанного методом холодного отжима, в начале хранения (0 день) без антиоксиданта представлены в таблице.

Органолептические показатели и показатели окислительной порчи натурального нерафинированного рыжикового масла, выработанного методом холодного отжима, в начале хранения без антиокислителя

Показатель	Характеристика (значение показателя)
Прозрачность	Прозрачное
Запах и вкус	Характерный запах семейства крестоцветных, без постороннего запаха и вкуса
Цвет	Темно-желтый
Кислотное число, мг КОН/г	0,8
Перекисное число, мэкв/г	1,5

Как видно из данных таблицы, по органолептическим показателям исследуемое масло соответствовало требованиям ГОСТ Р 59148-2020 «Масло рыжиковое для пищевой и комбикормовой промышленности» марки П (нерафинированное пресованное), по показателям окислительной порчи (кислотное и перекисное числа) также соответствовало требованиям к допустимым уровням показателей безопасности пище-

вой масложировой продукции в соответствии с требованиями «Технического регламента на масложировую продукцию» и не превышало допустимые показатели кислотного числа – 0,8 мг КОН/г (норма 4 мг КОН/г) и перекисного числа – 1,5 мэкв/г (норма 10,0 мэкв/г).

Исследование органолептических показателей опытных образцов рыжикового масла в конце хранения (12 мес.) представлено на рисунке 1.

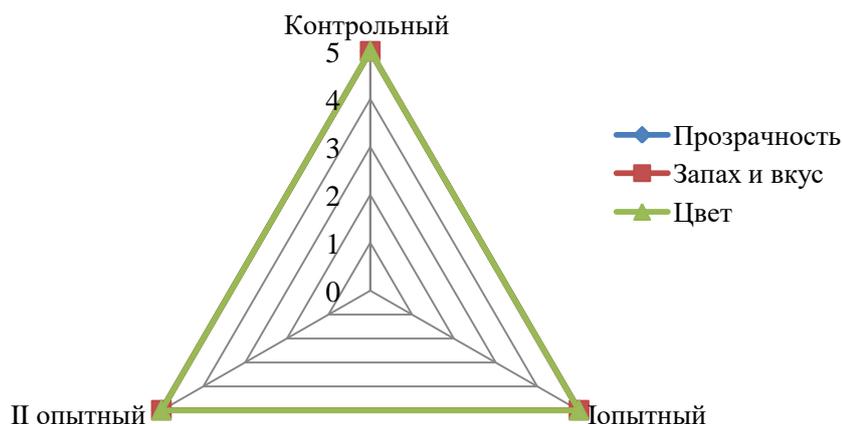


Рис. 1. Профилограмма органолептических показателей опытных образцов рыжикового масла

Как видно из рисунка 1, использование фуллеренола в I и II опытных образцах масла по сравнению с контрольным не изменяло прозрачность, цвет, запах и вкус продукта в конце хранения (12 мес.).

По данным литературных источников, протекающие при хранении масла окислительные и гидролитические процессы, сопровождающиеся накоплением продуктов окисления и гидролиза, могут не изменять органолептические показате-

ли качества масла (например, перекиси и гидроперекиси). Продукт при этом может перейти в категорию нестандартного и быть опасным для здоровья потребителей [8].

Оценку стойкости рыжикового масла к окислению определяли по перекисному числу, выдерживая его в течение 12 мес. при температурном режиме (15–25 °С) в плотно закрытой таре (рис. 2).

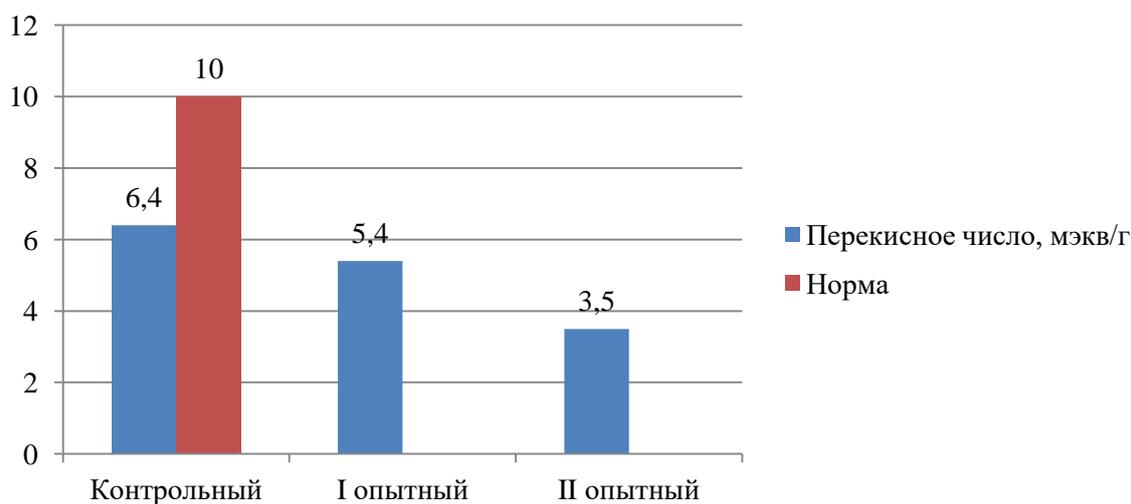


Рис. 2. Показатель перекисного числа опытных образцов рыжикового масла на 12-й месяц хранения, мэкв/г

Как видно из рисунка 2 использование антиокислителя фуллеренола в I и II опытных образцах рыжикового масла снижает в процессе хранения перекисное число соответственно на 1,9 и 2,9 мэкв/г по сравнению с контрольным образцом. Во всех опытных образцах масла исследуемый показатель не превышал допустимый уровень данного показателя (10 мэкв/г) в соответствии с «Техническим регламентом на масложировую продукцию».

Первичные продукты окисления – гидроперекиси липидов являются относительно стабильными при комнатной температуре и отсутствии в реакционной среде металлов [2]. На 12-й месяц хранения опытных образцов масла гидроперекиси липидов не распались с образованием алкоксильных радикалов и не образовались по-

бочные продукты окисления – альдегиды, кетоны, спирты, что подтверждает исследование стабильных органолептических показателей опытных образцов масла. Из литературных источников известно, что длительность образования вторичных продуктов окисления из первичных продуктов окисления – гидроперекисей различна для разных видов масел [9].

Увеличение дозы антиокислителя на 0,004 % во II опытном образце по сравнению с I образцом на 1,9 мэкв/г снижала показатель перекисного числа, что может говорить об его антиокислительных свойствах.

Показатель кислотного числа опытных образцов рыжикового масла в конце хранения (12 мес.) представлен на рисунке 3.

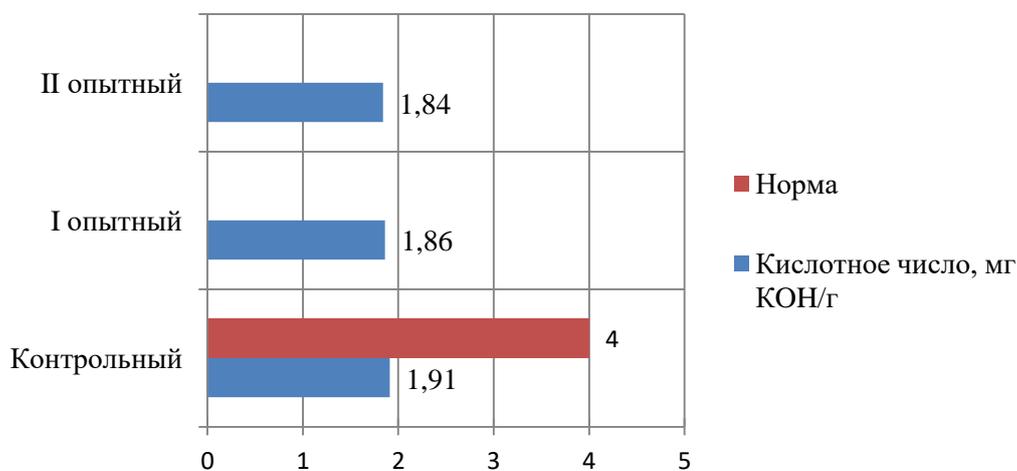


Рис. 3. Показатель кислотного числа опытных образцов рыжикового масла в конце хранения (12 мес.)

Как видно из рисунка 3, показатель кислотного числа в I и II опытных образцах по сравнению с контрольным был ниже соответственно на 0,05 и 0,07 КОН/г, что может свидетельствовать о снижении образования свободных жирных кислот и окислительной стабильности масла в процессе хранения. Увеличение дозы фуллеренола на 0,004 % от массы масла во II опытном образце по сравнению с I образцом незначительно снижало показатель кислотного числа на 0,02 КОН/г.

Заключение. Проведенное исследование влияния фуллеренола на окислительную стабильность рыжикового масла в процессе хранения (12 мес.) показало: использование фуллеренола в дозе 0,004 % (I опытный образец) и 0,008 % (II опытный образец) от массы масла по сравнению с контрольным не влияет на органолептические показатели исследуемых образцов масла, снижает показатель перекисного числа соответственно на 1,9 и 2,9 мэкв/г и кислотного числа соответственно на 0,05 и 0,07 КОН/г. Полученные результаты показывают антиокислительную способность фуллеренола в малых дозах.

Список источников

1. Красноярский край в цифрах в 2021 году: стат. сборник. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/30015> (дата обращения: 09.12.2022).
2. Бурункова Ю.Э., Успенская М.В., Самуйлова Е.О. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 82 с.
3. ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902359401> (дата обращения: 09.12.2022).
4. Фуллерен полигидроксилированный. URL: <https://всероссийская-база-гу.рф/tekhnicheskie-usloviya-na-fulleren-poligidroksilirovannyj> (дата обращения: 10.12.2022).
5. Влияние водорастворимого фуллерена С-60 на качество ржаного хлеба / А.И. Машанов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 148–153.

6. Влияние водорастворимого фуллерена на процесс спиртового брожения при производстве спирта / Е.Г. Федорова [и др.] // Парадигма устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях современных реалий: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию создания ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Красноярск, 2022. С. 382–384.
7. Использование гидроксилированного фуллерена C₆₀(OH)₂₀₋₂₄ в совершенствовании рецептуры и технологии биойогурта / Е.Г. Федорова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 260–266.
8. Ленцова Л.В. Проблемы качества растительных масел. URL: <https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=8182> (дата обращения: 12.12.2022).
9. Железняк А.О., Кудоярова М.Дж., Юсупханова Г.А. О перекисном окислении липидов растительных масел // Ежемесячный научно-практический медицинский журнал. 2013. № 1. С. 59–62.

References

1. Krasnoyarskij kraj v cifrah v 2021 godu: stat. sbornik. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/30015> (data obrascheniya: 09.12.2022).
2. Burunkova Yu. E., Uspenskaya M. V., Samujlova E. O. Rastitel'nye masla: svoystva, tehnologii polucheniya i hraneniya, okislitel'naya stabil'nost': ucheb.-metod. posobie. SPb.: Universitet ITMO, 2020. 82 s.
3. TR TS 029/2012. Trebovaniya bezopasnosti pischevyh dobavok, aromatizatorov i tehnologicheskikh vspomogatel'nyh sredstv. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902359401> (data obrascheniya: 09.12.2022).
4. Fulleren poligidroksilirovannyj. URL: <https://vserossijskaya-baza-tu.rf/tekhnicheskie-usloviya-na-fulleren-poligidroksilirovannyj> (data obrascheniya: 10.12.2022).
5. Vliyanie vodorastvorimogo fullerene S-60 na kachestvo rzhanogo hleba / A. I. Mashanov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 4. S. 148–153.
6. Vliyanie vodorastvorimogo fullerena na process spirtovogo brozheniya pri proizvodstve spirta / E. G. Fedorova [i dr.] // Paradigma ustojchivogo

7. Ispol'zovanie gidroksilirovannogo fullerena $S_{60}(ON)_{20-24}$ v sovershenstvovanii receptury i tehnologii biojogurta / E.G. Fedorova [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 12. S. 260–266.
8. Lencova L.V. Problemy kachestva rastitel'nyh masel. URL: <https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=8182> (data obrascheniya: 12.12.2022).
9. Zheleznyak A.O., Kudoyarova M.Dzh., Yusu-pahunova G.A. O perekisnom okislenii lipidov rastitel'nyh masel // Ezhemesyachnyj nauchno-prakticheskij medicinskij zhurnal. 2013. № 1. S. 59–62.

Статья принята к публикации 07.03.2023 / The article accepted for publication 07.03.2023.

Информация об авторах:

Екатерина Георгиевна Федорова¹, доцент кафедры зоотехнии и технологии переработки продуктов животноводства, кандидат сельскохозяйственных наук

Александр Иннокентьевич Машанов², профессор кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии, доктор биологических наук

Григорий Николаевич Чурилов³, профессор, заведующий лабораторией аналитических методов исследования вещества, доктор технических наук

Наталья Григорьевна Внукова⁴, научный сотрудник лаборатории аналитических методов исследования вещества, кандидат технических наук

Information about the authors:

Ekaterina Georgievna Fedorova¹, Associate Professor at the Department of Animal Science and Technology of Animal Products Processing, Candidate of Agricultural Sciences

Alexander Innokentievich Mashanov², Professor at the Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Doctor of Biological Sciences

Grigory Nikolaevich Churilov³, Professor, Head of the Laboratory of Analytical Methods for the Study of Substances, Doctor of Technical Sciences

Natalya Grigorievna Vnukova⁴, Researcher, Laboratory of Analytical Methods for the Study of Substances, Candidate of Technical Sciences

