




Сравнительный анализ пищевой и кормовой ценности семян рапса, высушенных конвективным способом и с помощью СВЧ-энергоподвода в закрученном потоке теплоносителя




Евгений С. Бунин	¹	zhekabuka@bk.ru	 0000-0003-3477-0401
Геннадий В. Калашников	¹	kagen5@yandex.ru	 0000-0003-0873-5346
Сергей В. Макеев	¹	198668910@mail.ru	 0000-0002-1142-7507

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. При выборе метода сушки семян рапса наряду с производительностью и затратами энергии на процесс необходимо учитывать качество получаемого продукта, которое во многом определяется внешним видом семян, сбалансированностью белкового, витаминного и аминокислотного состава, а также качеством содержащегося в семенах масла. Поэтому необходимо, чтобы в процессе сушки были сохранены, а по возможности и улучшены именно эти показатели. Экспериментальным методом выполнено сравнение качественных показателей семян рапса, высушенных в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя и традиционным методом конвективного теплоподвода. Были исследованы качественные показатели семян рапса и рапсового масла при конвективной и СВЧ-сушке. Изучено влияние СВЧ-энергии на процесс сушки и качество семян рапса в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя. Определены органолептические и физико-химические показатели качества семян рапса, высушенных конвективным способом и с помощью комбинированного СВЧ-энергоподвода. Проведено изучение состава белков, содержания аминокислот и витаминов группы Е, как наиболее важных качественных показателей при производстве пищевых изделий и кормовых добавок с использованием семян рапса. Выполнен сравнительный анализ изменения качественных показателей семян рапса, позволяющий выявить структурные изменения, происходящие в процессе сушки и оценить качество полученного продукта при конвективной сушке и с использованием комбинированного СВЧ-энергоподвода. В результате экспериментальных исследований установлено, что использование СВЧ-энергии в процессе сушки приводит не только к повышению производительности, сокращению продолжительности и энергозатрат, но и способствует сохранению пищевой ценности, полноценного состава белков, аминокислот и витаминов группы Е высушенного продукта.

Ключевые слова: СВЧ-энергия, конвективная сушка, семена рапса, качество, белки, аминокислоты, токоферолы

Comparative analysis of the food and feed value of rapeseed dried by convective method and using microwave power supply in a swirling coolant flow

Eugene S. Bunin	¹	zhekabuka@bk.ru	 0000-0003-3477-0401
Gennadii V. Kalashnikov	¹	kagen5@yandex.ru	 0000-0003-0873-5346
Sergey V. Makeev	¹	198668910@mail.ru	 0000-0002-1142-7507

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. When choosing a method for drying rapeseed seeds, along with the productivity and energy costs of the process, it is necessary to take into account the quality of the resulting product. It is determined by the appearance of seeds, the balance of protein, vitamin and amino acid composition, as well as the quality of the oil contained in the seeds. Therefore, it is necessary that during the drying process, these indicators should be preserved and, if possible, improved. The aim of this work is to compare the quality indicators of rapeseed seeds dried in a microwave device with a swirling flow of heat carrier and the traditional method of convective heat transfer. The qualitative indicators of rapeseed and canola oil during convective and microwave drying were studied. The influence of microwave energy on the drying process and the quality of rapeseed in a microwave device with a swirling coolant flow was studied. Organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of rapeseed dried by convective method and using a combined microwave power supply were determined. The study of the composition of proteins, the content of amino acids and vitamins of group E, as the most important quality indicators in the production of food products and feed additives using rapeseed. A comparative analysis of changes in the quality indicators of rapeseed seeds is performed, which allows identifying structural changes occurring during the drying process and assessing the quality of the resulting product during convective drying and using a combined microwave power supply. In the experimental studies found that the use of microwave energy in the drying process leads not only to increasing productivity, reducing energy costs, but also helps to preserve nutritional value, complete protein, amino acids and vitamin E dried product.

Keywords: microwave energy, convective drying, rape seeds, quality, proteins, amino acids, tocopherols

Для цитирования

Бунин Е.С., Калашников Г.В., Макеев С.В. Сравнительный анализ пищевой и кормовой ценности семян рапса, высушенных конвективным способом и с помощью СВЧ-энергоподвода в закрученном потоке теплоносителя // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 32–38. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-32-38

For citation

Bunin E.S., Kalashnikov G.V., Makeev S.V. Comparative analysis of the food and feed value of rapeseed dried by convective method and using microwave power supply in a swirling coolant flow. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 32–38. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-32-38

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Одним из важных видов сельскохозяйственных культур, которые обладают большим потенциалом использования в пищевой промышленности и биотехнологии, а также получающим всё более широкое распространение в мире является рапс. Это весьма ценная культура с точки зрения, как физиологии питания человека, так и возможностей использования в различных сельскохозяйственных отраслях, техники и биоэнергетики.

Перспективность производства рапса обусловлена возможностями использования рапсового масла в качестве возобновляемого и экологически безопасного вида биотоплива, наличием практически неограниченных рынков сбыта рапсового сырья, возможностью улучшения фитосанитарных и агрофизических свойств почвы, благоприятными почвенно-климатическими условиями во многих регионах мира [1, 2].

Ценность рапса для пищевой промышленности определяется высоким содержанием витаминов группы Е и наиболее оптимальным соотношением всех физиологически важных жирных кислот, содержащихся в масле его семян, особенно ненасыщенной олеиновой кислоты, способствующей снижению уровня холестерина в крови и стимулирующей деятельность сердечно-сосудистой системы человека [3].

Благодаря значительному содержанию протеина и незаменимых аминокислот жмыхи и экстракционные шроты, получаемые в качестве побочных продуктов при производстве растительных масел, являются ценными кормовыми добавками [2, 4].

Наиболее перспективным направлением повышения эффективности и совершенствования процесса сушки дисперсных продуктов при обеспечении требуемого высокого качества высушенного изделия является использование активных тепловых и гидродинамических режимов, существующих в аппаратах с закрученными потоками теплоносителя, а также современных прогрессивных технологий подвода тепловой энергии к высушиваемому материалу [5].

В процессе сверхвысокочастотной (СВЧ) сушки семян рапса более влажные частицы под воздействием СВЧ-энергии нагреваются более интенсивно, чем частицы, имеющие меньшее влагосодержание, таким образом, происходит выравнивание влагосодержания материала. Поэтому температура теплоносителя может быть снижена на (293–313) К, чем в случае только конвективного подвода тепловой энергии, что положительно сказывается на качестве высушиваемого материала [7–15].

Отличительной особенностью сушки семян рапса при воздействии СВЧ-энергии в отличие от влияния температуры сушильного агента на продукт при конвективной сушке является то, что подводимая СВЧ-мощность в меньшей степени оказывает влияние на критическое влагосодержание.

Актуальной задачей производства сушки семян рапса является решение проблем повышения качества продукции и интенсификация технологических процессов сушки

Для изучения процессов сушки семян рапса, происходящих в сушилках, необходимо знать изменение качественных показателей объекта сушки.

Процесс сушки должен обеспечивать не только сохранение нативных свойств материала, но и в ряде случаев он должен улучшать эти свойства. Особенно важно данное условие для растительного сырья, при сушке которого могут происходить биохимические и физико-химические изменения, обусловленные свойствами сырья.

При выборе метода сушки семян рапса наряду с производительностью и затратами энергии на процесс необходимо учитывать качество получаемого продукта, которое во многом определяется внешним видом семян, сбалансированностью белкового, витаминного и аминокислотного состава, а также качеством содержащегося в семенах масла. Поэтому необходимо, чтобы в процессе сушки были сохранены, а по возможности и улучшены именно эти показатели.

Цель работы – исследование качественных показателей семян рапса, высушенных различными способами при конвективной сушке и с комбинированным СВЧ-энергоподводом.

Материалы и методы

Для исследования влияния СВЧ-энергии на качество семян рапса определялись органолептические и физико-химические показатели семян, высушенных конвективным способом и с помощью комбинированного энергоподвода.

В процессе сушки осуществлялось изучение состава белков, содержания аминокислот и витаминов группы Е. Качественный анализ семян рапса проводили аттестованными методиками в испытательной лаборатории АНО «НТЦ» Комбикорм».

Для определения влияния процесса сушки на качество семян рапса исследован процесс сушки в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя и СВЧ-энергоподводом.

Значения параметров процесса сушки были выбраны на основании проведенных экспериментальных исследований из диапазона оптимальных значений: влагосодержание 0.25 кг/кг, температура 355 К и мощность магнетрона 700 Вт [4].

Отбор проб проводили по ГОСТ 13586.3–83; органолептические показатели – при естественном дневном освещении при комнатной температуре визуально и по ГОСТ 13340.1–77. Определение массовой доли влаги – по ГОСТ 13496.3–92; определение белка – по методу Кьельдаля по ГОСТ 1349.4–93; аминокислотный состав – по МВИ М 04–38–2004; содержание витамина группы Е – по МВИ № 8–19/2 от 2.01.84 г. Показатели безопасности рапсового масла: кислотное число – по ГОСТ 13496.18–85; перекисное число – согласно МУ № 13–5–02/0657 [6].

Полученные значения показателей качества пересчитывались на абсолютно сухое вещество для исключения влияния на них различной

массовой доли влаги в семенах, высушенных конвективным способом и с помощью СВЧ-энергоподвода. Коэффициент пересчета зависит от конечного влагосодержания продукта и для конвективной сушки при массовой доле влаги в высушенном продукте 0.1 кг/кг (9.1%) составлял $k = 1.1001$, а для СВЧ-сушки (0.057 кг/кг или 5.4% влаги в конечном продукте) $k = 1.0571$.

Результаты и обсуждение

Органолептические качества семян рапса, высушенных конвективным способом и с помощью СВЧ-энергоподвода, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Органолептические показатели качества семян рапса, высушенных различными способами

Table 1.

Organoleptic quality indicators of rapeseed dried in various ways

Показатели Indicators	Конвективная сушка Convective drying	Комбинированная сушка с СВЧ-энергоподводом Combined drying with microwave power supply
Цвет Colour	Черно-коричневый Black-brown	
Запах Aroma	Ароматический, свойственный нормальным плодам, без постороннего запаха Aromatic, characteristic of normal fruits, without foreign smell	

Физико-химические показатели представлены на рисунке 1 в виде диаграмм распределения по фракциям состава протеинов семян

рапса, высушенных соответственно конвективным способом и с помощью комбинированной СВЧ-сушки.

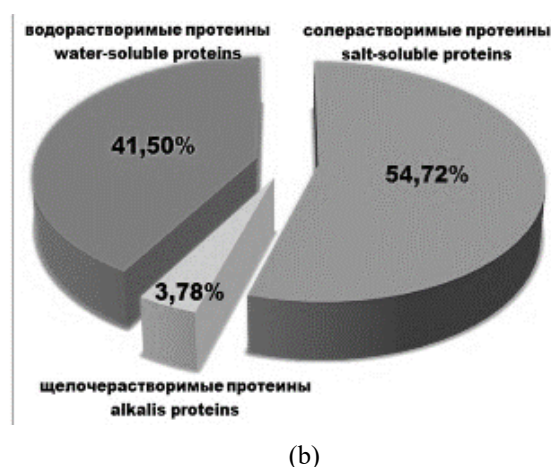
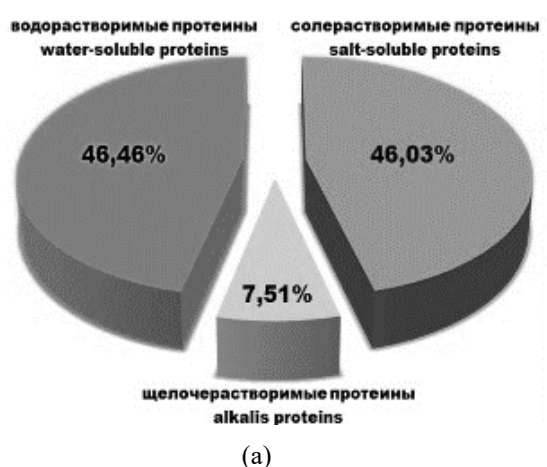


Рисунок 1. Диаграммы распределения по фракциям состава протеинов семян рапса, высушенных конвективным способом (a) и с помощью СВЧ-энергоподвода (b)

Figure 1. Diagrams of distribution by fractions of the composition of rapeseed proteins dried by convective method (a) and using microwave power supply (b)

Погрешность при исследовании содержания протеинов не превышала 15% (ГОСТ 1349.4–93).

Анализ приведенных результатов свидетельствует о возможности перераспределения соотношения протеинов по фракциям в процессе сушки различными способами. Однако,

существенного влияния на общее содержание протеина в семенах рапса СВЧ-сушка не оказывает. Не менее важны и такие показатели качества семян рапса как кислотное и перекисное число. Их изменение при различных способах сушки показано диаграммами на рисунке 2.

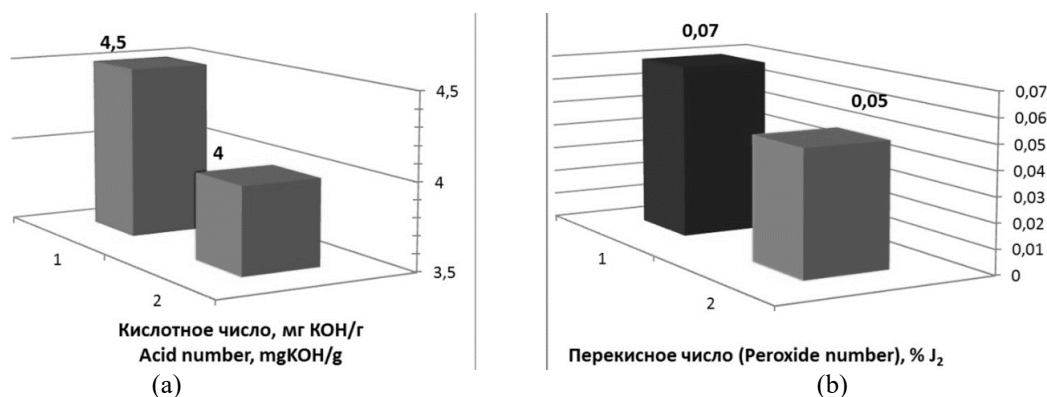


Рисунок 2. Диаграмма изменения показателей кислотного (а) и перекисного (б) чисел в зависимости от выбранного способа сушки: 1 – конвективная сушка; 2 – комбинированная СВЧ-сушка

Figure 2. Diagram of changes in indicators of acid (a) and peroxide (b) numbers depending on the selected drying method: 1-convective drying; 2-combined microwave drying

Показателем количественного содержания свободных жирных кислот является кислотное число. Свободные жирные кислоты могут содержаться в растительном сырье (семена недозревших растений или семена, самосозревающие при хранении во влажном состоянии), а также образовываться в процессе выделения масла в результате частичного гидролиза триглицеридов (высшие жирные кислоты) и их окисления под действием света и длительного хранения.

Суммарное содержание свободных жирных кислот в растительных маслах определяет их кислотность. Кислотное число характеризует содержание в одном грамме растительного масла свободных жирных кислот (т. е. степень липолитической порчи жира (расщепления триглицеридов)) и других титруемых щелочью веществ и выражается в миллиграммах едкого калия, необходимого для их нейтрализации. На основе данного показателя можно выяснить информацию о степени свежести масла. Он нормируется стандартами для большинства пищевых жиров [6].

В соответствии с ГОСТ 8988–2002 кислотное число масла, содержащегося в семенах рапса, не должно превышать 6 мг КОН/г.

В нашем случае кислотное число масла, содержащегося в семенах рапса, составляет для конвективной сушки 4.5 мг КОН/г и комбинированной сушки с СВЧ-энергоподводом – 4.0 мг КОН/г [8].

Перекисное число – показатель, характеризующий изменение качества растительного масла, вследствие окислительной порчи жиров (прогоркание), особенно снижающие органолептические показатели. Перекисное число выражается количеством граммов йода, выделенного из йодистого калия перекисями, содержащимися в 100 граммах масла. С возрастанием значений перекисного числа снижаются органолептические свойства масла и качество готового изделия [6].

Согласно ГОСТ 8988–2002 показатель перекисного числа для рапсового масла не должен превышать 0.13% J₂.

Перекисное число для проб после конвективной сушки составляло 0.07% J₂, а после комбинированной сушки с СВЧ-энергоподводом равно 0.05% J₂.

Погрешность при исследовании кислотного числа составляла ± 0.4 мг КОН/г (ГОСТ 13496.18–85), перекисного числа – ±0.04% J₂ (МУ № 13–5–02/0657) [6].

По результатам исследований физико-химических показателей качества можно сделать вывод, что использование СВЧ-энергии позволяет улучшить показатели кислотного и перекисного числа рапсового масла.

Таким образом, использование СВЧ-энергоподвода приводит не только к сокращению продолжительности и энергозатрат процесса сушки, но и к улучшению качества получаемого продукта.

Аминокислотный состав с точки зрения хозяйственного использования семян рапса характеризует их пищевую и кормовую ценность. В составе масла, содержащегося в семенах рапса, в оптимальном соотношении находятся все аминокислоты, представляющие особый интерес с точки зрения физиологии питания человека.

При производстве растительных масел из семян рапса получают в качестве побочных продуктов жмыхи и экстракционные шроты, которые используются на корм животным. Благодаря значительному содержанию протеина и незаменимых аминокислот они являются ценными кормовыми добавками, одним из основных требований к которым, помимо высоких потребительских свойств, является сбалансированность их состава.

Главная роль в балансе корма отводится протеинам – сложным химическим соединениям, структурной основой которых являются

аминокислоты, оказывающие сильное влияние на процесс обмена веществ.

Особый интерес, в связи с этим, представляет проведение сравнительного анализа аминокислотного состава семян рапса, высушенных конвективным способом и с помощью СВЧ-энергоподвода.

Определение аминокислот в пробах проводят после предварительного щелочного (триптофан) или кислотного гидролиза (все остальные определяемые компоненты). Свободные аминокислоты в гидролизатах переводят в фенилтиокарбамильные производные (ФТК-производные) при помощи фенилизотиоцианата и разделяют их ионные формы в кварцевом капилляре под действием электрического поля. Регистрацию ФТК-производных производят

при длине волны 254 нм в соответствующем буферном растворе (МВИ М 04–38–2004) [6]. Погрешность при исследовании состава аминокислот не превышала 10% (МВИ М 04–38–2004).

Анализируя полученные в результате исследований данные по количественному составу заменимых и незаменимых аминокислот в семенах рапса, с учетом того, что разность полученных значений не превышала величину погрешности измерений, можно прийти к выводу, что сушка семян в закрученном потоке теплоносителя в комбинации с СВЧ-энергоподводом не оказывает влияния на суммарное содержание аминокислот [7]. Аминокислотный состав семян рапса, высушенных конвективным способом и в закрученном потоке теплоносителя в комбинации с СВЧ-энергоподводом приведен в таблице 2.

Таблица 2.

Аминокислотный состав семян рапса, высушенных различными способами

Table 2.

Amino acid composition of rapeseed, dried in various ways

Аминокислоты Amino acids	Конвективная сушка Convective drying	Комбинированная сушка с СВЧ-энергоподводом Combined drying with microwave power supply
Незаменимые аминокислоты (Essential amino acids)		
Аргинин (Arg)	1.9	1.97
Лизин (Lys)	1.38	1.34
Фенилаланин (Phe)	1	0.96
Гистидин (His)	0.76	0.72
Лейцин (Leu)	1.58	1.58
Изолейцин (Ile)	0.81	0.74
Метионин (Met)	0.67	0.66
Валин (Val)	1.49	1.42
Треонин (Thr)	1.17	1.18
Цистин (Cys)	0.35	0.35
Заменимые аминокислоты (Nonessential amino acids)		
Тирозин (Tyr)	0.81	0.74
Пролин (Pro)	1.73	1.72
Серин (Ser)	1.36	1.33
Аланин (Ala)	1.08	1.12
Глицин (Gly)	1.23	1.28
Глутаминовая кислота (Glutamic acid)	5.18	6.01
Аспарагиновая кислота (Aspartic acid)	3.27	3.25
Сумма аминокислот (Sum of amino acids)	25.77	26.37

При использовании рапсового масла в пищевых целях, его переработки на маргарин, майонез и разные жиры для жарения и печения большое значение имеет содержание в масле различных сопутствующих веществ. Среди них особая роль принадлежит антиоксидантам – токоферолам или витаминам группы Е, уровень и изомерный состав которых предопределяет стойкость масла к окислению.

С точки зрения воздействия на живой организм витамины группы Е обладают рядом полезных свойств, как, например, обеспечение нормального развития эмбриона, правильной

работы эндокринной системы, укрепление мышечной системы и нервных клеток.

Известно, что семена рапса обладают достаточно высоким содержанием токоферолов, поэтому представляется особенно интересным изучение влияния температурного воздействия, в том числе посредством СВЧ-излучения, на количественное содержание витаминов группы Е в семенах, высушенных конвективным способом и с помощью СВЧ-сушки. Результаты исследований количественного содержания токоферолов в семенах рапса приведены на рисунке 3.



Рисунок 3. Количественное содержание токоферолов в семенах рапса, высушенных различными способами

Figure 3. Quantitative content of Tocopherols in rapeseed dried by various methods

Погрешность при определении содержания витаминов группы Е не превышала 15% (МВИ № 8–19/2).

Согласно полученным данным, содержание токоферолов в пробах семян рапса, высушенных с помощью СВЧ-нагрева, несколько выше, что само по себе является положительным результатом.

Таким образом, более высокое содержание витаминов группы Е способствует повышению антиоксидантной активности, снижению кислотного и перекисного числа рапсового масла, а следовательно, повышению его качества.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что семена рапса, высушенные в закрученном потоке теплоносителя с применением СВЧ-энергоснабжения, обладают хорошими потребительскими свойствами и имеют высокую пищевую и кормовую ценность.

Использование СВЧ-энергии в процессе сушки приводит к сокращению продолжительности процесса сушки и энергозатрат, возрастанию производительности, а также способствует сохранению полноценного состава белков, аминокислот и витаминов группы Е в конечном продукте.

Предложены эффективные технологическая схема, способ сушки растительного сырья, и конструкция сушилки на основе интеграции активного гидродинамического режима и электромагнитного поля сверхвысокой частоты в сушильной камере [9].

Литература

- 1 Климарев С.И. Интенсификация физико-химических процессов СВЧ-энергией в СЖО. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 252 с.
- 2 Рензеева Т.В. Продукты переработки рапса, рыжика, сурепицы. М.: Palmarium Academic Publishing, 2012. 140 с.
- 3 Нарынбаева А.С., Сигарев М.И. Перспективные направления развития единого аграрного рынка ЕАЭС // Вестник НГУЭУ. 2018. № 3. С. 194-207.
- 4 Hu Q., Hua W., Yin Y., Zhang X. et al. Rapeseed research and production in China // The Crop Journal. 2017. V. 5. № 2. P. 127-135.
- 5 Kalashnikov G.V., Chernyaev O.V. Energy-Efficient Combination Convective Drying Of Disperse Materials // Fibre Chemistry. 2020. V. 51. № 4. P. 289-292. doi 10.1007/s10692-020-10098-6
- 6 Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия (аналитика). Книга 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. Москва: Высшая школа, 2001. 560 с.
- 7 Бунин Е.С., Калашников Г.В., Макеев С.В. Анализ протеинового состава семян рапса при биотехнологической переработке с СВЧ-сушкой // Актуальная биотехнология. 2020. № 3 (34). С. 105-107.
- 8 Joardder M.U.H., Kumar C., Karim M.A. Multiphase transfer model for intermittent microwave-convective drying of food: Considering shrinkage and pore evolution // International Journal of Multiphase Flow. 2017. V. 95. P. 101-119.
- 9 Rodríguez Ó. et al. Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: effects on quality // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. V. 98. №. 5. P. 1660-1673.
- 10 Szadzińska J. et al. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper // Ultrasonics Sonochemistry. 2017. V. 34. P. 531-539.
- 11 Aral S., Beşe A.V. Convective drying of hawthorn fruit (Crataegus spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity // Food Chemistry. 2016. V. 210. P. 577-584.
- 12 Kroehnke J. et al. Ultrasound-and microwave-assisted convective drying of carrots—Process kinetics and product's quality analysis // Ultrasonics sonochemistry. 2018. V. 48. P. 249-258.
- 13 Marchuk A., Likhanov V.A., Lopatin O.P. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. P. 80-86.
- 14 Zhang C. et al. The preparation and physicochemical characterization of rapeseed protein hydrolysate-chitosan composite films // Food chemistry. 2019. V. 272. P. 694-701.
- 15 Józsa V., Kun-Balog A. Stability and emission analysis of crude rapeseed oil combustion // Fuel Processing Technology. 2017. V. 156. P. 204-210.


References

- 1 Klimarev S.I. Intensification of physicochemical processes by microwave energy in LSS. Moscow, LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 252 p. (in Russian).


- 2 Renzyaeva T.V. By-products of rapeseed, camelina, rapeseed. Moscow, Palmarium Academic Publishing, 2012. 140 p. (in Russian).
- 3 Narynbaeva A.S., Sigarev M.I. Prospective directions for the development of the single agricultural market of the EAEU. *Vestnik NSUEM*. 2018. no. 3. pp. 194-207. (in Russian).
- 4 Hu Q., Hua W., Yin Y., Zhang X. et al. Rapeseed research and production in China. *The Crop Journal*. 2017. vol. 5. no. 2. pp. 127-135.
- 5 Kalashnikov G.V., Chernyaev O.V. Energy-Efficient Combination Convective Drying Of Disperse Materials. *Fibre Chemistry*. 2020. vol. 51. no. 4. pp. 289-292. doi 10.1007/s10692-020-10098-6
- 6 Kharitonov Yu.Ya. Analytical chemistry (analytics). Book 2. Quantitative Analysis. Physicochemical (instrumental) methods of analysis. Moscow, Higher School, 2001. 560 p. (in Russian).
- 7 Bunin E.S., Kalashnikov G.V., Makeev S.V. Analysis of the protein composition of rape seeds during biotechnological processing with microwave drying. *Actual biotechnology*. 2020. no. 3 (34). pp. 105-107. (in Russian).
- 8 Joardder M.U.H., Kumar C., Karim M.A. Multiphase transfer model for intermittent microwave-convective drying of food: Considering shrinkage and pore evolution. *International Journal of Multiphase Flow*. 2017. vol. 95. pp. 101-119.
- 9 Rodríguez Ó. et al. Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: effects on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. vol. 98. no. 5. pp. 1660-1673.
- 10 Szadzińska J. et al. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017. vol. 34. pp. 531-539.
- 11 Aral S., Beşe A.V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*. 2016. vol. 210. pp. 577-584.
- 12 Kroehnke J. et al. Ultrasound-and microwave-assisted convective drying of carrots—Process kinetics and product's quality analysis. *Ultrasonics sonochemistry*. 2018. vol. 48. pp. 249-258.
- 13 Marchuk A., Likhanov V.A., Lopatin O.P. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. no. 3. pp. 80-86.
- 14 Zhang C. et al. The preparation and physicochemical characterization of rapeseed protein hydrolysate-chitosan composite films. *Food chemistry*. 2019. vol. 272. pp. 694-701.
- 15 Józsa V., Kun-Balog A. Stability and emission analysis of crude rapeseed oil combustion. *Fuel Processing Technology*. 2017. vol. 156. pp. 204-210.

Сведения об авторах


Евгений С. Бунин к.т.н., доцент, кафедра естественных дисциплин, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zhekabuka@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3477-0401>

Геннадий В. Калашников д.т.н., профессор, кафедра естественных дисциплин, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kagen5@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0873-5346>

Сергей В. Makeev к.т.н., доцент, кафедра естественных дисциплин, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 198668910@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1142-7507>

Вклад авторов

Евгений С. Бунин написал рукопись и несет ответственность за плагиат

Геннадий В. Калашников выполнял обзор литературных источников по исследуемой проблеме, осуществлял подбор методик исследования

Сергей В. Makeev консультировал в ходе исследования, корректировал рукопись до подачи в редакцию

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Eugene S. Bunin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, natural sciences department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zhekabuka@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3477-0401>

Gennadii V. Kalashnikov Dr. Sci. (Engin.), professor, natural sciences department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kagen5@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0873-5346>

Sergey V. Makeev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, natural sciences department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 198668910@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1142-7507>

Contribution

Eugene S. Bunin wrote the manuscript and is responsible for plagiarism

Gennadii V. Kalashnikov review of literature sources on the problem under study, carried out the selection of research methods

Sergey V. Makeev consultation during study, corrected the manuscript before submitting it to the editor

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/07/2020	После редакции 07/08/2020	Принята в печать 17/08/2020
Received 29/07/2020	Accepted in revised 07/08/2020	Accepted 17/08/2020