

Процессы и аппараты пищевых производств

Processes and devices for food production

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-17-22>




Оригинальная статья/Research article

УДК 640

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование теплофизических характеристик зерна тритикале сорта «Горка» методом нестационарного теплового режима





Алексей В. Дранников ¹	drannikov@list.ru	 0000-0002-3060-8688
Татьяна Н. Тертычная ²	tertychnaya@yandex.ru	 0000-0001-8185-3424
Александр А. Шевцов ^{1,3}	shevalol@rambler.ru	 0000-0003-2599-5692
Никита В. Засыпкин ¹	zvnikita24@gmail.com	
Александр А. Рындин ⁴	ryndinaa@mgupp.ru	 0000-0001-6861-9297

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия² Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия³ Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия⁴ Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. В решении проблемы дефицита растительного белка несомненный интерес представляет зерно тритикале – уникальный гибрид, в котором удалось соединить лучшие наследственные качества пшеницы и ржи. Содержание белка в тритикале на 1,0–1,5% выше, чем у пшеницы, и на 3–4%, чем у ржи. Получен новый сорт зерна тритикале – «Горка». Продукты, приготовленные из зерна тритикале, имеют высокую питательную ценность, поскольку белок, входящий в его состав, отличается повышенным содержанием незаменимых аминокислот, не уступает зерну пшеницы по содержанию макро- и микроэлементов. В нем много меди, фосфора, калия, магния, кальция, натрия, цинка, марганца и железа, а также витаминов B9, B5, B1, PP и E. Информация о теплофизических характеристиках как функция температуры играет ключевую роль в инженерных расчетах и математическом моделировании процессов сушки и тепловой обработки зерна тритикале. При определении теплофизических характеристик использован метод нестационарного теплового режима, основанный на решении задачи теплопроводности по двум температурно-временным точкам, разработанный В.С. Волькенштейн. Определение теплофизических характеристик зерна проводилось на измерительной установке Cossfield RT-1394 N (National Instruments). Выявлен характер зависимостей коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и удельной теплоемкости от температуры. Получены уравнения, описывающие теплофизические характеристики зерна при влажности 13,57 и 21,83% в диапазоне температур 293–373 К.

Ключевые слова: зерно тритикале, теплофизические характеристики, тепловой режим, удельная теплоемкость, теплопроводность, коэффициент температуропроводности

Investigation of the thermophysical characteristics of the Gorka variety triticale grain by the non-stationary thermal regime method

Alexey V. Drannikov ¹	drannikov@list.ru	 0000-0002-3060-8688
Tatiana N. Terlychnaya ²	tertychnaya@yandex.ru	 0000-0001-8185-3424
Alexander A. Shevtsov ^{1,3}	shevalol@rambler.ru	 0000-0003-2599-5692
Nikita V. Zasyupkin ¹	zvnikita24@gmail.com	
Aleksandr A. Ryndin ⁴	ryndinaa@mgupp.ru	 0000-0001-6861-9297

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia² Voronezh State agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina street, 394087, Voronezh, Russia³ Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», st. Old Bolsheviks, 54a, Voronezh, 394064, Russia⁴ Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe Highway 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. Triticale grain, a unique hybrid in which it became possible to combine the best hereditary qualities of wheat and rye, is of undoubted interest in solving the problem of vegetable protein deficiency. The protein content of triticale is 1.0–1.5% higher than that of wheat and 3–4% higher than that of rye. A new variety of triticale grain "Gorka" was examined by the authors. Products made from triticale grain have a high nutritional value, since the protein in its composition is distinguished by a high content of essential amino acids, and is not inferior to wheat grain in terms of macro- and microelements content. It is rich in copper, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, zinc, manganese and iron, as well as vitamins B9, B5, B1, PP and E. Information on thermophysical characteristics as a function of temperature plays a key role in engineering calculations and mathematical modeling of triticale grain drying and heat treatment. The non-stationary thermal mode method was used to determine the thermophysical characteristics. It is based on solving the problem of thermal conductivity at two temperature-time points and was developed by V.S. Volkenstein. The determination of the grain thermophysical characteristics was carried out on a Cossfield RT 1394 N measuring device (National Instruments). The nature of the dependences of the coefficients of thermal diffusivity, thermal conductivity and specific heat capacity on temperature was revealed in the work. The equations describing the thermophysical characteristics of grain at a moisture content of 13.57% and 21.83% in the temperature range of 293–373 K were obtained by the authors

Keywords: triticale grain, thermophysical characteristics, thermal conditions, specific heat capacity, thermal conductivity, thermal diffusivity

Для цитирования

Дранников А.В., Тертычная Т.Н., Шевцов А.А., Засыпкин Н.В., Рындин А.А. Исследование теплофизических характеристик зерна тритикале сорта «Горка» методом нестационарного теплового режима // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 17–22. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-17-22

For citation

Drannikov A.V., Terlychnaya T.N., Shevtsov A.A., Zasyupkin N.V., Ryndin A.A. Investigation of the thermophysical characteristics of the Gorka variety triticale grain by the non-stationary thermal regime method. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 17–22. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-17-22

Введение

Зерновые культуры относятся, как правило, к влажным капиллярно-пористым материалам. Определение их теплофизических характеристик является важной метрологической задачей, поскольку в таких материалах осуществляется взаимосвязанный перенос тепла и влаги при наличии источников (стоков) тепла, обусловленных фазовыми превращениями влаги. К теплофизическим характеристикам относят удельную теплоемкость c [Дж/(кг×К)], коэффициент теплопроводности λ [Вт/(м×К)] и коэффициент температуропроводности a (м²/с). В последнее время от теплофизических характеристик переходят к более широкому понятию теплофизических свойств веществ, к которым наряду с указанными характеристиками относят также количество теплоты, выделяющееся или потребляемое при физико-химических процессах, а также функции состояния (внутреннюю энергию, энтальпию и др.) [8–10].

При определении искомых характеристик расчетным путем оценивается влияние только кондуктивной составляющей потока тепла, либо экспериментальным путем сводить к минимуму влияние конвективной составляющей и источников (стоков) тепла. Последнее практически более целесообразно, но накладывает ряд ограничений на метод определения [11,12].

Материалы и методы

Объектом исследований является зерно тритикале сорта Горка урожая 2020 года, предоставленного селекционным центром ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр имени В.В. Докучаева». Включено в Госреестр по Центрально-Чернозёмному (5), Средневолжскому (7) и Уральскому (9) регионам. В Центрально-Чернозёмном регионе прибавка по урожайности зерна составила 2,5%. Средняя урожайность составляет 33,0 ц/га, максимальная – 93,7 ц/га – была получена в Липецкой области в 2016 г. Содержание белка в зерне 14,0%, сбор белка составил 6,2 ц/га [1, 2, 13].

Лабораторные исследования по определению теплофизических характеристик зерна тритикале выполнялись в Орехово-Зуевском филиале федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний» на установке Cossfield RT-1394Н по методу нестационарного теплового режима В.С. Волькенштейна [3], основанному на решении задачи теплопроводности двух температурно-временных точек [4–7, 14–17].

Основу измерительного устройства составляют два коаксиально расположенных цилиндра 1 и 2 (рисунок 1).

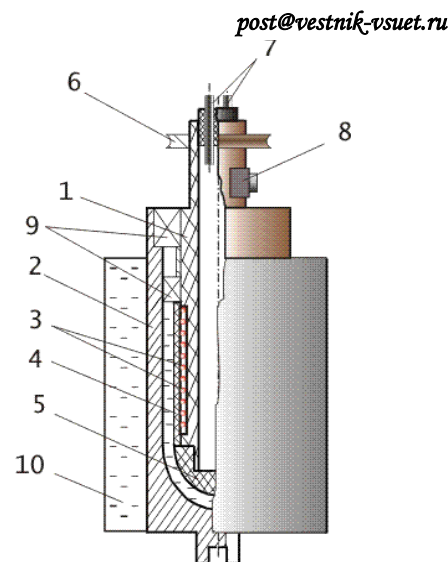


Рисунок 1. Конструкция измерительного устройства: 1, 2 – внутренний и внешний цилиндры, 3 – электрический нагреватель, 4 – гильза, 5 – торцевая часть внутреннего цилиндра, 6 – шкив, 7 – канал, 8 – разъем, 9 – подшипники

Figure 1. Design of the measuring device: 1, 2 – internal and external cylinders, 3 – electric heater, 4 – sleeve, 5 – end part of the internal cylinder, 6 – pulley, 7 – channel, 8 – connector, 9 – bearings

Внутренний цилиндр 1 из капрлона при помощи подшипников 9 установлен соосно по отношению к наружному цилиндру 2 и состоит из трех коаксиальных цилиндрических слоев. На внешней поверхности внутреннего коаксиального цилиндрического слоя по спирали намотаны медным проводом термопреобразователь сопротивления и манганиновым проводом электрический нагреватель 3. Выводы от термопреобразователя сопротивления и электрического нагревателя пропущены через канал на внешней поверхности цилиндра и подключены к разъему 8. Термопреобразователь сопротивления и нагреватель отделены от анализируемой жидкости гильзой 4 из капрлона. Нижний торец 5 внутреннего цилиндра выполнен полусферическим, что способствует наиболее устойчивому режиму течения вязкоупругих жидкостей в зазоре между коаксиальными цилиндрами.

Наружный цилиндр изготовлен из бронзы. К нижней его части прикреплено основание, также из бронзы, имеющее полусферическое углубление. Зазор между внутренним и внешним цилиндрами в нижней части равен зазору между боковыми поверхностями цилиндров. К боковой поверхности наружного цилиндра прикреплена водяная рубашка 10 из нержавеющей стали, предназначенная для термостатирования внешнего цилиндра и поддержания граничных условий первого рода в соответствии с физической и математической моделями измерительного устройства [4, 18].

Метод, применяемый в данной установке, заключается в исследовании ограниченного (пищевой продукт) и полуограниченного (эталон) тел, которые приводятся в соприкосновение по одной общей плоскости. Нагреватель, нагретый до постоянной температуры, приведён в соприкосновение с продуктом и передаёт постоянный поток теплоты, который проходит через толщину пищевого продукта с различной скоростью. В результате температура в плоскости соприкосновения пищевого продукта с эталоном изменяется и записывается на диаграмме потенциометра в виде кривой, по которой определяется время и изменение температуры. Эталон сечением 70×70 мм и длиной 150 мм изготовлен из органического стекла и имеет следующие характеристики: $\alpha_s = 15,7 \text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_s = 0,1839 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $c_s = 10,88 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, $\rho_s = 1075 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент температуропроводности α , коэффициент теплопроводности λ и удельную теплоемкость c для исследуемого продукта определялись по формулам:

$$\alpha_M = \frac{h^2}{4y_1^2\tau_1}; \quad (1)$$

$$\lambda_M = b \cdot \varepsilon \sqrt{\alpha_M}; \quad (2)$$

$$c_M = \frac{\lambda_M}{\alpha_M \cdot \rho_M}; \quad (3)$$

где y и ε – некоторые безразмерные величины, которые определяются по таблицам, исходя из найденных опытных соотношений τ_2/τ_1 ; τ_1 – время, в течение которого температура на границе соприкосновения эталонного тела исследуемого образца достигнет $\Delta T_1 = k_1 \cdot \Delta T$, τ_2 – время, в течение которого эта температура достигнет $\Delta T_2 = k_2 \cdot \Delta T$; k_1 и k_2 – заранее заданные значения, равные 0,75 и 0,5; ΔT – разность между температурой нагревателя T_n и температурой в месте стыка исследуемого продукта и эталона T , т. е. $\Delta T = T_n - T$; ρ_M – плотность исследуемого продукта, кг/м^3 h – вспомогательная величина:

$$h = \frac{t''}{t_{cp} [1 - \Phi(z'')] } - 1, \quad (4)$$

где t'' – температура в плоскости соприкосновения образца продукта и эталона, определяемая по полученной диаграмме, $^{\circ}\text{C}$; t_{cp} – температура греющей поверхности, определяемая по полученной диаграмме аналогично, $^{\circ}\text{C}$; $\Phi(z'')$ – функция Гаусса.

Экспериментальная часть работы проводилась в два этапа. На первом этапе навеска с зерном массой 50 г. помещалась в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки. Затем устанавливался внутренний цилиндр и

включался термостат. Приводился во вращение внешний цилиндр измерительного устройства с заданной линейной скоростью 0,1 м/с, обеспечивающей создание в слое жидкости скорости сдвига 2,5 м/с и включался нагреватель измерительного устройства. Регистрировалась установившаяся среднеинтегральная температура в нагревателе [19, 20].

Второй этап выполнялся в следующей последовательности: отключался нагреватель измерительного устройства; осуществлялась регистрация среднеинтегральной температуры нагревателя через интервалы времени $\Delta t = 20 \text{ К}$; отключался привод вращения внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры; определялись теплофизические характеристики зерна по экспериментальной информации с использованием соотношений (1)–(4), полученных в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0 (таблица).

Таблица 1.

Теплофизические свойства зерна тритикале сорта «Горка»

Table 1.

Thermophysical properties of triticale grain of the Gorka variety

Интервал температур, К Temperature	Образец Sample	
	W = 21,83%	W = 13,57%
Коэффициент температуропроводности, $a \cdot 10^{-8}$, $\text{м}^2/\text{с}$ Thermal diffusivity coefficient, $a \cdot 10^{-8}$, m^2/s		
293	7,91±0,02	7,47±0,02
313	7,96±0,02	7,61±0,02
333	8,12±0,02	7,76±0,02
353	8,25±0,02	7,91±0,01
373	8,31±0,02	8,05±0,01
Коэффициент теплопроводности, λ , $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ Thermal conductivity coefficient, λ , $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$		
293	0,141±0,002	0,136±0,002
313	0,144±0,004	0,138±0,004
333	0,146±0,004	0,141±0,002
353	0,148±0,002	0,144±0,002
373	0,150±0,002	0,147±0,004
Массовая удельная теплоемкость, c , $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ Mass specific heat capacity, c , $\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$		
293	1783,15±0,10	1727,15±0,10
313	1819,17±0,15	1768,57±0,15
333	1843,05±0,15	1809,15±0,10
353	1879,93±0,10	1830,07±0,15
373	1910,09±0,10	1858,32±0,10
Плотность ρ , кг/м^3	973,8	1012,9

Результаты и обсуждение

Полученные опытные данные обработаны на ЭВМ в среде «Microsoft Excel», в результате были получены уравнения (3)–(8), описывающие теплофизические свойства зерна тритикале сорта «Горка» для интервала температур 293–373К: при $W = 13,57\%$:

$$a = (0,0073T + 5,3291) \cdot 10^{-8}; R^2 = 0,999; \quad (5)$$

$$l = 0,00014T + 0,0946; R^2 = 0,997; \quad (6)$$

$$c = 1,6192T + 1259,4584; R^2 = 0,991; \quad (7)$$

при $W=21,83\%$:

$$a = (0,00545T + 6,2952) \cdot 10^{-8}; R^2 = 0,986, \quad (8)$$

$$l = 0,00011T + 0,1092; R^2 = 0,996; \quad (9)$$

$$c = 1,5732T + 1323,2024; R^2 = 0,998; \quad (10)$$

где R^2 - коэффициент детерминации.

Из уравнений (5)–(10) следует, что зависимости коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и теплоемкости от температуры носят линейный характер. Влажность оказывает большее влияние на исследуемые теплофизические характеристики, чем температура. Из анализа данных видно, что с повышением температуры удельная теплоемкость, теплопроводность и коэффициент температуропроводности зерна тритикале «Горка» увеличиваются (рисунок 2).

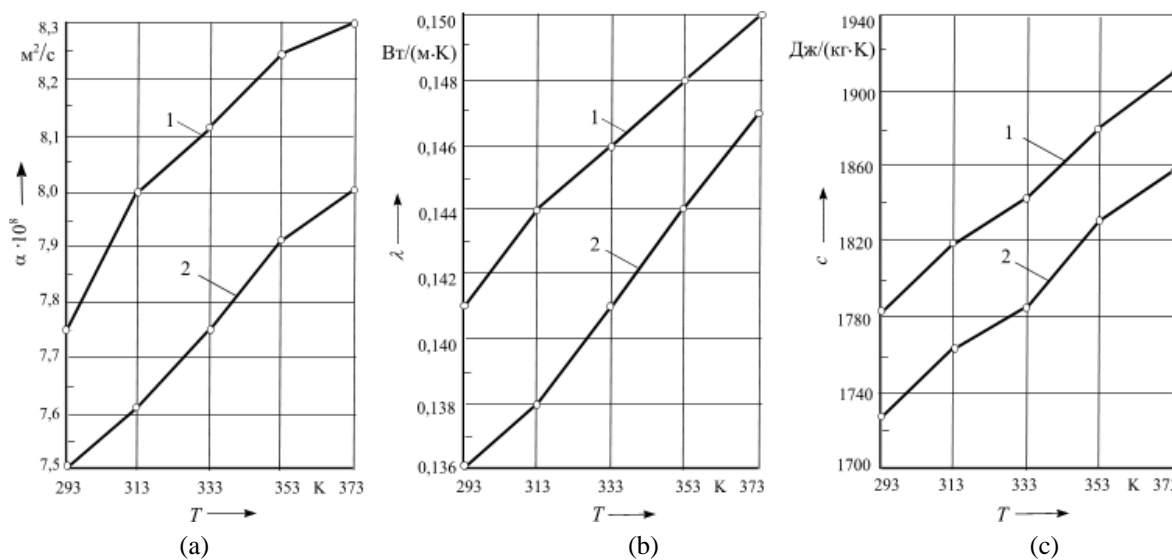


Рисунок 2. Зависимость коэффициента температуропроводности (а), теплопроводности (б) и удельной теплоемкости (с) зерна тритикале сорта «Горка» от температуры для значений влажности $W, \%$: 1 – 21,83; 2 – 13,57%

Figure 2. Dependence of the coefficient of thermal conductivity (a), thermal conductivity (b) and specific heat capacity (c) of the triticale grain of the Gorka variety on the temperature for the humidity values $W, \%$: 1 – 21,83; 2 – 13,57%

Закключение

Определены коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, а также удельная теплоемкость образцов зерна тритикале сорта «Горка» в диапазоне температур от 293 до 373 К для значений влажности 21,83 и 13,57%. Для всех режимов нагрева теплофизические характеристики тритикале аппроксимируются уравнениями линейной регрессии с погрешностью,

не превышающей 5%. С повышением температуры теплофизические характеристики увеличиваются. Полученные знания необходимы для изучения кинетических закономерностей, моделирования и оптимизации режимов процессов сушки зерна тритикале, для проектирования новых конструкций и модернизации действующих сушильных установок, обеспечивающих экономию энергетических ресурсов.

Литература

- 1 Горбунов В.Н., Бочарникова О.Г., Богомолова Т.П., Шишлянников Я.И. Горка – новый сорт озимого тритикале // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12. С. 95–99.
- 2 Характеристики сортов растений, впервые включённых в 2019 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 460 с.
- 3 Makowska A., Waśkiewicz A., Chudy S. Lignans in triticale grain and triticale products // Journal of Cereal Science. 2020. V. 93. P. 102939. doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102939
- 4 Meleshkina E.P., Pankratov G.N., Vitol I.S., Kandrov R.H. et al. Innovative trends in the development of advanced triticale grain processing technology // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. № 2. doi: 10.21603/2308-4057-2017-2-70-82
- 5 Liubych V., Novikov V., Zheliezna V., Prykhodko V. et al. Improving the process of hydrothermal treatment and dehulling of different triticale grain fractions in the production of groats // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. V. 3. № 11. P. 105. doi: 10.15587/1729-4061.2020.203737
- 6 Jaśkiewicz B., Szczepanek M. Amino acids content in triticale grain depending on meteorological, agrotechnical and genetic factors // Research for Rural Development. 2018. V. 2. doi: 10.22616/rrd.24.2018.047

- 7 Зверев В.Г., Назаренко В.А., Теплоухов А.В. Определение теплофизических характеристик материалов при тепловом воздействии постоянной мощности // Теплофизика и аэродинамика. 2011. № 3. С. 493–502.
- 8 Ropelewska E., Zapotoczny P., Bożek K.S., Żuk-Golaszewska K. Thermal, physical and morphological properties of durum wheat // Journal of Consumer Protection and Food Safety. 2019. V. 14. № 2. P. 131-137. doi: 10.1007/s00003-018-1196-3
- 9 Barba A.A., Naddeo C., Caputo S., Lamberti G. et al. Microwave Treatments of Cereals: Effects on Thermophysical and Parenchymal-Related Properties // Foods. 2020. V. 9. № 6. P. 711. doi: 10.3390/foods9060711
- 10 Ropelewska E. Effect of grinding on thermal properties of wheat grain // Journal of Consumer Protection and Food Safety. 2019. V. 14. № 2. P. 139-146. doi: 10.1007/s00003-018-1200-y
- 11 Wu S., Lu S., Liu J., Yang S. et al. Physicochemical Properties and Bioactivities of Rice Beans Fermented by *Bacillus amyloliquefaciens* // Engineering. 2021. V. 7. № 2. P. 219-225. doi: 10.1016/j.eng.2020.10.010
- 12 Roman M.C., Fabani M.P., Luna L.C., Feresin G.E. et al. Convective drying of yellow discarded onion (Angaco INTA): Modelling of moisture loss kinetics and effect on phenolic compounds // Information Processing in Agriculture. 2020. V. 7. № 2. P. 333-341. doi: 10.1016/j.inpa.2019.07.002
- 13 Yang X.H., Zhang Q., Wang J., Deng L.Z. et al. Innovative superheated steam impingement blanching (SSIB) enhances drying rate and quality attributes of line pepper // Information Processing in Agriculture. 2017. V. 4. № 4. P. 283-290. doi: 10.1016/j.inpa.2017.07.004
- 14 Ashtiani S.H.M., Salarikia A., Goltarian M.R. Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments // Information Processing in Agriculture. 2017. V. 4. № 2. P. 128-139. doi: 10.1016/j.inpa.2017.03.001
- 15 Salehi F., Kashaninejad M. Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying // Information Processing in Agriculture. 2018. V. 5. № 4. P. 516-523. doi: 10.1016/j.inpa.2018.05.006
- 16 Omolola A.O., Kapila P.F., Silungwe H.M. Mathematical modeling of drying characteristics of Jew's mallow (*Corchorus olitorius*) leaves // Information processing in agriculture. 2019. V. 6. № 1. P. 109-115. doi: 10.1016/j.inpa.2018.08.003
- 17 Kaveh M., Sharabiani V.R., Chayjan R.A., Taghinezhad E. et al. ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer // Information Processing in Agriculture. 2018. V. 5. № 3. P. 372-387. doi: 10.1016/j.inpa.2018.05.003
- 18 Нехай О.И., Киянова А.В. Оценка сортов озимого тритикале по элементам структуры урожайности и качественным показателям зерна // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. 2019. С. 201-204.
- 19 Гергокаев Д.А.К. Обоснованию режимов сушки зерна тритикале // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. ВМ Кокова. 2019. № 4. С. 59-62.
- 20 Шишлянников Я.И., Богомолова Т.П., Бочарникова О.Г., Горбунов В.Н. и др. Горка – новый сорт озимого тритикале // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12-3 (66). doi: 10.23670/IRJ.2017.66.105

References

- 1 Gorbunov V.N., Bocharnikova O.G., Bogomolova T.P., Shishlyannikov Ya.I. Gorka – a new variety of winter triticale. International research journal. 2017. no. 12. pp. 95–99. (in Russian).
- 2 Characteristics of plant varieties, first included in 2019 in the State Register of Breeding Achievements, Approved for Use: official publication. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotech", 2019. 460 p. (in Russian).
- 3 Makowska A., Waśkiewicz A., Chudy S. Lignans in triticale grain and triticale products. Journal of Cereal Science. 2020. vol. 93. pp. 102939. doi:10.1016/j.jcs.2020.102939
- 4 Meleshkina E.P., Pankratov G.N., Vitol I.S., Kandrov R.H. et al. Innovative trends in the development of advanced triticale grain processing technology. Foods and Raw materials. 2017. vol. 5. no. 2. doi: 10.21603/2308-4057-2017-2-70-82
- 5 Liubych V., Novikov V., Zheliezna V., Prykhodko V. et al. Improving the process of hydrothermal treatment and dehulling of different triticale grain fractions in the production of groats. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. vol. 3. no. 11. pp. 105. doi: 10.15587/1729-4061.2020.203737
- 6 Jaśkiewicz B., Szczepanek M. Amino acids content in triticale grain depending on meteorological, agrotechnical and genetic factors. Research for Rural Development. 2018. vol. 2. doi: 10.22616/rrd.24.2018.047
- 7 Zverev V.G., Nazarenko V.A., Teploukhov A.V. Determination of thermophysical characteristics of materials under thermal effect of constant power. Thermophysics and aerodynamics. 2011. no. 3. pp. 493–502. (in Russian).
- 8 Ropelewska E., Zapotoczny P., Bożek K.S., Żuk-Golaszewska K. Thermal, physical and morphological properties of durum wheat. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 2019. vol. 14. no. 2. pp. 131-137. doi: 10.1007/s00003-018-1196-3
- 9 Barba A.A., Naddeo C., Caputo S., Lamberti G. et al. Microwave Treatments of Cereals: Effects on Thermophysical and Parenchymal-Related Properties. Foods. 2020. vol. 9. no. 6. pp. 711. doi: 10.3390/foods9060711
- 10 Ropelewska E. Effect of grinding on thermal properties of wheat grain. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 2019. vol. 14. no. 2. pp. 139-146. doi: 10.1007/s00003-018-1200-y
- 11 Wu S., Lu S., Liu J., Yang S. et al. Physicochemical Properties and Bioactivities of Rice Beans Fermented by *Bacillus amyloliquefaciens*. Engineering. 2021. vol. 7. no. 2. pp. 219-225. doi: 10.1016/j.eng.2020.10.010
- 12 Roman M.C., Fabani M.P., Luna L.C., Feresin G.E. et al. Convective drying of yellow discarded onion (Angaco INTA): Modelling of moisture loss kinetics and effect on phenolic compounds. Information Processing in Agriculture. 2020. vol. 7. no. 2. pp. 333-341. doi: 10.1016/j.inpa.2019.07.002
- 13 Yang X.H., Zhang Q., Wang J., Deng L.Z. et al. Innovative superheated steam impingement blanching (SSIB) enhances drying rate and quality attributes of line pepper. Information Processing in Agriculture. 2017. vol. 4. no. 4. pp. 283-290. doi: 10.1016/j.inpa.2017.07.004

14 Ashtiani S.H.M., Salarikia A., Goltarian M.R. Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments. Information Processing in Agriculture. 2017. vol. 4. no. 2. pp. 128-139. doi: 10.1016/j.inpa.2017.03.001

15 Salehi F., Kashaninejad M. Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying. Information Processing in Agriculture. 2018. vol. 5. no. 4. pp. 516-523. doi: 10.1016/j.inpa.2018.05.006

16 Omolola A.O., Kapila P.F., Silungwe H.M. Mathematical modeling of drying characteristics of Jew's mallow (Corchorus olitorius) leaves. Information processing in agriculture. 2019. vol. 6. no. 1. pp. 109-115. doi: 10.1016/j.inpa.2018.08.003

17 Kaveh M., Sharabiani V.R., Chayjan R.A., Taghinezhad E. et al. ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer. Information Processing in Agriculture. 2018. vol. 5. no. 3. pp. 372-387. doi: 10.1016/j.inpa.2018.05.003

18 Nekhai O.I., Kiyanova A.V. Assessment of varieties of winter triticale by the elements of the structure of yield and quality indicators of grain. Technological aspects of cultivation of agricultural crops. 2019. pp. 201-204. (in Russian).

19 Gergokaev D.A. On the Substantiation of Triticale Grain Drying Modes. Bulletin of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.I. VM Kokov. 2019. no. 4. pp. 59-62. (in Russian).

20 Shishlyannikov Ya.I., Bogomolova T.P., Bocharnikova O.G., Gorbunov V.N. Gorka – a new variety of winter triticale. International research journal. 2017. no. 12-3 (66).doi: 10.23670/IRJ.2017.66.105(in Russian).

Сведения об авторах

Алексей В. Дранников д.т.н., декан факультет пищевых машин и автоматов, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

Татьяна Н. Тертычная д.с.-х.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, tertychnaya@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8185-3424>

Александр А. Шевцов д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, shevalol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2599-5692>

Никита В. Засыпкин магистр, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zvnikita24@gmail.com

Александр А. Рындин к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных производств и виноделия, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия, ryndinaa@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6861-9297>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Alexey V. Drannikov Dr. Sci. (Engin.), Dean of the Faculty of Food Machines and Automata, associate professor machines and devices for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

Tatiana N. Tertychnaya Dr. Sci. (Agric.), professor, technology for storage and processing of agricultural products department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, tertychnaya@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8185-3424>

Alexander A. Shevtsov Dr. Sci. (Chem.), professor, technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, shevalol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2599-5692>

Nikita V. Zasyepkin master, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, zvnikita24@gmail.com

Aleksandr A. Ryndin Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fermentation and winemaking department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe Highway 11, Moscow, 125080, Russia, ryndinaa@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6861-9297>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2021	После редакции 10/02/2021	Принята в печать 02/03/2021
Received 11/01/2021	Accepted in revised 10/02/2021	Accepted 02/03/2021