

Влияние растительных биокорректоров на состояние влаги в мучных изделиях функционального назначения

Наталья С. Родионова	¹	rodionovast@mail.ru
Евгений С. Попов	¹	e_s_popov@mail.ru
Дмитрий И. Матвеев	¹	matveevd00@mail.ru
Елена С. Певцова	¹	beloch64@mail.ru
Алина В. Соколова	¹	alinasokolova.1999@mail.ru
Андрей А. Дьяков	¹	8-983-182-32-82@mail.ru

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

Аннотация. Разработка новых технологических решений в области ежедневно употребляемых продуктов питания, обладающих направленным корректирующим воздействием в отношении пищевого статуса организма человека и увеличенным сроком годности является важной и актуальной задачей. Одним из альтернативных вариантов решения поставленной проблемы является введение в состав ежедневного рациона мучных изделий (сухари, галеты, хлебцы), обогащенных биологически активными веществами растительного происхождения, являющихся экономически доступными для широких слоев населения и пригодными для реализации в сетевом формате, вследствие значительных сроков годности. В работе проведены экспериментальные исследования по оценке влияния вводимых биологически активных веществ на срок годности мучных изделий посредством исследования изменения содержания и соотношения различных форм связанной влаги. Исследование состояния влаги в мучных изделиях осуществляли методом дифференциально-термического анализа с помощью прибора синхронного термического анализа, с применением методов термогравиметрии, дифференциально-сканирующей калориметрии и неізотермической кинетики. Объектами исследований являлись образцы мучных изделий содержащих композицию из частично обезжиренной муки зародышей пшеницы «Витазар» и отрубей пшеничных, в состав которой дополнительно вводили порошок из морской капусты, изолят соевого белка, изолят горохового белка, муку семян черного тмина. Контролем служили образцы мучных изделий (галеты), изготовленные по традиционной технологии. Количественную оценку соотношения фракций влаги с различной связью проводили методами термогравиметрии, дифференциально-сканирующей калориметрии и неізотермической кинетики. Определены диапазоны эндотермических эффектов, свидетельствующие о ступенчатом удалении влаги, в соответствии с формами и энергией ее связи с биополимерами экспериментальных образцов. Сравнение характеристик тепловых эффектов, зафиксированных в процессе термолитиза образцов мучных изделий, позволяет констатировать возрастание доли химически связанной влаги в опытных образцах, по сравнению с контрольным образцом и как следствие - увеличение срока годности.

Ключевые слова: растительные биокорректоры, мучные изделия, дифференциально-сканирующая калориметрия, термогравиметрия, неізотермическая кинетика

Influence of vegetable biocorrectors on the moisture state in flour products of functional purpose

Natalia S. Rodionova	¹	rodionovast@mail.ru
Evgenij S. Popov	¹	e_s_popov@mail.ru
Dmitrij I. Matveev	¹	matveevd00@mail.ru
Elena S. Pevtsova	¹	beloch64@mail.ru
Alina V. Sokolova	¹	alinasokolova.1999@mail.ru
Andrej A. Diakov	¹	8-983-182-32-82@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The development of new technological solutions in the field of daily consumed food products that have a directed corrective impact on the nutritional status of the human body and an extended shelf life is an important and urgent task. One of the alternative solutions to the problem posed is the introduction to the daily ration of flour products (crackers, biscuits, bread), enriched with biologically active substances of plant origin, which are economically accessible to the general population and suitable for sale in a network format, due to significant shelf life. Experimental studies have been conducted to assess the effect of biologically active substances on the shelf life of flour products through the study of changes in the content and ratio of various forms of bound moisture. The study of the state of moisture in flour products was carried out by the method of differential thermal analysis using a synchronous thermal analysis device, using the methods of thermogravimetry, differential scanning calorimetry and non-isothermal kinetics. The objects of research were samples of flour products containing the composition of partially defatted wheat germ flour "Vitazar" and wheat bran, which also included seaweed powder, soy protein isolate, pea protein isolate, black cumin seed flour. Served as control samples of flour products (biscuits), made by traditional technology. A quantitative assessment of the ratio of moisture fractions with different bonds was carried out using thermogravimetry, differential scanning calorimetry, and non-isothermal kinetics. The ranges of endothermic effects, indicating a stepwise removal of moisture, have been determined in accordance with the forms and energy of its association with the biopolymers of experimental samples. Comparison of the characteristics of thermal effects recorded in the process of thermolysis of samples of flour products allows us to state an increase in the share of chemically bound moisture in the test samples, as compared with the control sample and, as a result, an increase in shelf life.

Keywords: vegetable biocorrectors, flour products, differential scanning calorimetry, thermogravimetry, non-isothermal kinetics

Для цитирования

Родионова Н.С., Попов Е.С., Матвеев Д.И., Певцова Е.С., Соколова А.В., Дьяков А.А. Влияние растительных биокорректоров на состояние влаги в мучных изделиях функционального назначения // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1 190–195. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-190-195

For citation

Rodionova N.S., Popov E.S., Matveev D.I., Pevtsova E.S., Sokolova A.V., Diakov A.A. Influence of vegetable biocorrectors on the moisture state in flour products of functional purpose. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 190–195. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-190-195

Введение

По данным Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, пищевой статус населения РФ не является оптимальным и полноценным, что является алиментарной причиной роста патологических состояний [6, 7]. В настоящее время отмечается снижение содержания витаминов, минеральных веществ, ПНЖК в продуктах питания вследствие применения интенсивных агротехнологий, что приводит к разного рода микроэлементозам, авитаминозам, выражающимся в различных обменных нарушениях и аутоиммунных заболеваниях. Мучные изделия длительного срока хранения – сухари, галеты, хлебцы – важная часть рациона питания. Обогащение этих продуктов минеральными веществами, витаминами, белками открывает возможности направленного позитивного биокорректирующего влияния на различные функции организма с целью профилактики и лечения широкого круга заболеваний алиментарного характера [8–10]. Особенно актуальны высокопротеиновые продукты, обогащенные минеральными элементами и витаминами природного происхождения, источниками которых являются продукты глубокой переработки растительного сырья – зародышей пшеницы, гороха, сои, морской капусты, семян черного тмина. Выбранные биокорректирующие ингредиенты содержат протеины и полисахариды, обладающие высокой влагосвязывающей и влагоудерживающей способностью, что способствует повышению стабильности показателей качества галетных изделий функционального назначения при хранении.

Материалы и методы

Экспериментальное исследование состояния влаги в мучных изделиях проводили с помощью прибора синхронного термического анализа (ТГ-ДТА/ДСк), модель STA 449 F3 Jupiter, методами термогравиметрии, дифференциально-сканирующей калориметрии и неизотермической кинетики с нахождением степени превращения α .

Данный метод позволяет регистрировать тепловые эффекты физико-химических и структурных изменений, происходящих в продукте при управляемом воздействии высокой температурой. Метод термогравиметрии обеспечивает контроль изменения массы исследуемого образца при нагреве или охлаждении в диапазоне температур, соответствующих фазовым превращениям влаги в образце. Для получения дифференциальных зависимостей dTG и dДСК использовали программное обеспечение MS Excel и NETZSCH Proteus. Нагрев производили в диапазоне температур 25–300 °C, скорость нагрева составляла 5 К/мин, использовали тигли из оксидированного алюминия, среда – газообразный азот, класс 5, расход продувочного газа – 60 мл/мин. Количественную оценку фракций влаги различных форм связи проводили по экспериментальным данным в соответствии с методикой [1–5]. В базовый состав исследуемых протеиновых галет, обогащенных минералами и витаминами, входили: тапиоковый крахмал, куриные яйца, сычужный сыр жирностью не менее 45%, композиция растительных масел, оптимизированная по соотношению омега-3-омега-6 жирных кислот, вода (образец 6 – контроль). В качестве биокорректоров – дополнительных источников протеинов, пребиотиков, минералов и витаминов, пролонгирующих сроки годности протеиновых галет, исследовали композицию из частично обезжиренной муки зародышей пшеницы «Витазар» и отрубей пшеничных в соотношении 1:1 (образец № 1). В состав данной композиции дополнительно вводили порошок из морской капусты (образец № 2), изолят соевого белка (образец № 3), изолят горохового белка (образец № 4), муку семян черного тмина (образец № 5).

Результаты и обсуждение

На основе полученных экспериментальных зависимостей было зафиксировано наличие эндотермических эффектов и соответствующих им изменений массы образцов (таблица 1).

Таблица 1.

Тепловые эффекты в процессе термолитиза образцов мучных изделий

Table 1.

Thermal effects in the process of thermolysis of samples of flour products

Образец Sample	Эндотермический эффект Endothermic effect	Температурный интервал, ΔT , °C Temperature interval, ΔT , °C	Энтальпия, Дж/кг Enthalpy, Дж/кг	Изменение массы образца, % Sample weight change, %
1	2	3	4	5
1	I	57–79	2,022	3,1
	II	243–294	18,44	21,2
2	I	54–82	5,044	2,6
	II	264–290	4,367	12,2

3	I	54–83	4,349	2,7
	II	267–294	5,222	17,1
4	I	60–75	5,658	2,3
	II	258–293	5,216	15,2
5	I	53–86	7,007	2,7
	II	247–292	14,21	19,2
6 (контроль control)	I	56–85	3,619	4,5
	II	233–293	19,14	23,3

В результате термического анализа исследуемых образцов выделены эндотермические эффекты I–II, соответствующие процессам удаления свободной и осмотически связанной влаги, в различных температурных диапазонах: № 1 – 57..79 и 243..294 °C; № 2 – 54..82 и 264..290 °C; № 3 – 54..83 и 267..294 °C; № 4 – 60..75 и 258..293 °C; № 5 – 53..86 и 247..292 °C; № 6 (контроль) – 56..85 и 233..293 °C.

По возрастанию величины диапазона температуры, при которой наблюдается эндотермический эффект, исследуемые образцы можно распределить следующим образом: № 6 (контроль), 3, 5, 2, 1 и 4. Полученные данные свидетельствуют о возрастании степени связывания влаги в образцах, содержащих растительные биоактивные компоненты, вследствие дополнительного

связывания влаги содержащимися в составе биополимерами. В процессе термического воздействия масса навесок исследуемых образцов изменялась, остаточная масса контрольного образца составила 59,91%, а опытных образцов – № 1 – 64,11%, № 2 – 63,98%, № 3 – 61,55%, № 4 – 65,54%, № 5 – 62,34%. Наибольшая степень связанности влаги отмечается в образце № 4.

Преобразование участка зависимости изменения массы ТГ, соответствующего процессу дегидратации в указанных выше температурных интервалах, позволило получить зависимость превращения вещества α , мг/мг, от температуры образца Т, К (рисунок 1). Степень превращения вещества вычисляли по отношению текущего изменения массы Δm_i на момент времени t к общему изменению массы Δm_{\max} .

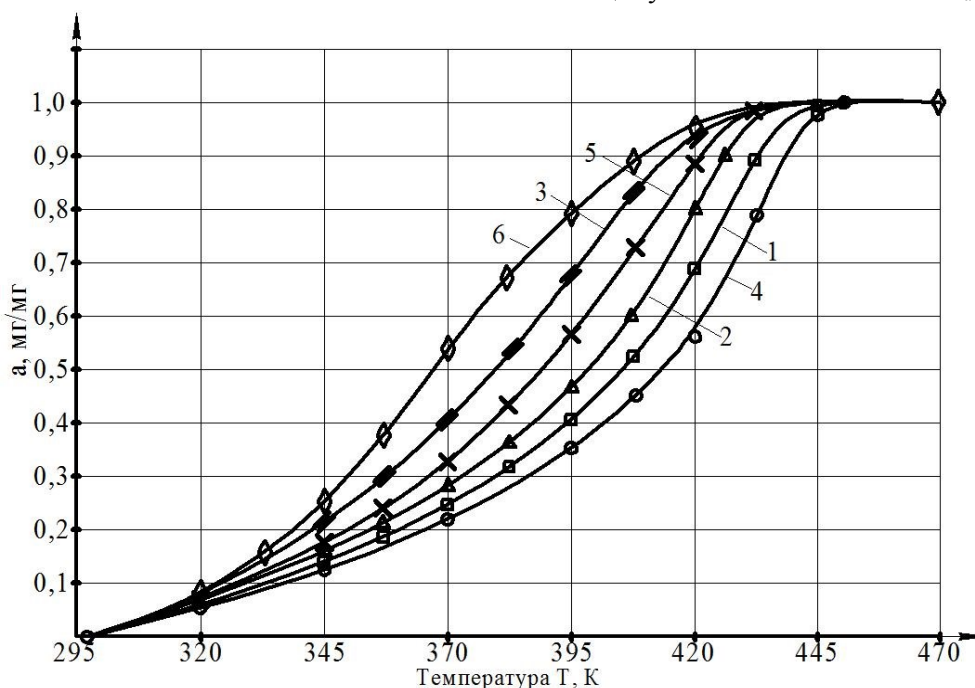


Рисунок 1. Зависимость степени превращения α от абсолютной температуры нагрева – Т образцов мучных изделий с включением растительных компонентов (1–5) и контрольного образца (6)

Figure 1. Dependence of the conversion α on the absolute heating temperature – Т samples of flour products with the inclusion of plant components (1–5) and the control sample (6)

Полученные зависимости $\alpha=f(T)$ имеют S-образный вид, соответствующий сложному процессу дегидратации образцов и высвобождения фракций влаги с различной энергией связи на различных этапах термического анализа.

Интервалы степени превращения $\Delta\alpha$, соответствующей первой (свободной), второй (механически связанной) и третьей (химически связанной) ступени удаления влаги, представлены в таблице 2.

Характеристика дегидратации образцов мучных изделий

Table 2.

Characteristics of the dehydration of samples of flour products

Образец Sample	Номер ступени дегидратации Dehydration stage number	$\Delta T, K$	$\Delta \alpha$	Массовая доля удаляемой влаги, % Mass fraction of moisture removed, %
1	1	298–343	0–0,12	4,30
	2	343–429	0,12–0,82	25,12
	3	429–445	0,82–1,0	6,46
2	1	298–344	0–0,16	5,76
	2	344–430	0,16–0,84	24,49
	3	430–447	0,84–1,0	5,76
3	1	298–349	0–0,21	8,07
	2	349–422	0,21–0,87	25,37
	3	422–451	0,87–1,0	4,99
4	1	298–351	0–0,11	2,79
	2	351–434	0,11–0,78	24,08
	3	434–452	0,78–1,0	7,13
5	1	298–339	0–0,19	7,15
	2	339–426	0,19–0,86	25,23
	3	426–442	0,86–1,0	5,27
6 (контроль control)	1	298–360	0–0,23	11,22
	2	360–434	0,23–0,84	24,45
	3	434–470	0,84–1,0	4,41

Зависимость $\lg \alpha = f(10^3/T)$ позволяет идентифицировать три фазы дегидратации образцов, соответствующие высвобождению влаги различных форм и энергий связи. 1-я фаза процесса – участки $A_i B_i$ – нагрев и удаление свободной влаги, 2-я фаза – участки $B_i C_i$ – удаление адсорбционно и осмотически связанной влаги, частичное разложение продукта, 3-я фаза процесса дегидратации – участки

$C_i D_i$ – разложение продукта, выделение газообразных продуктов термического разложения и удаление физико-химически связанной влаги (рисунок 2, таблица 2). Аппроксимация полученных кривых позволяет получить трехлинейные сплайны. Выделенные участки свидетельствуют о ступенчатом удалении влаги в соответствии с формами ее связи с биополимерами экспериментальных образцов.

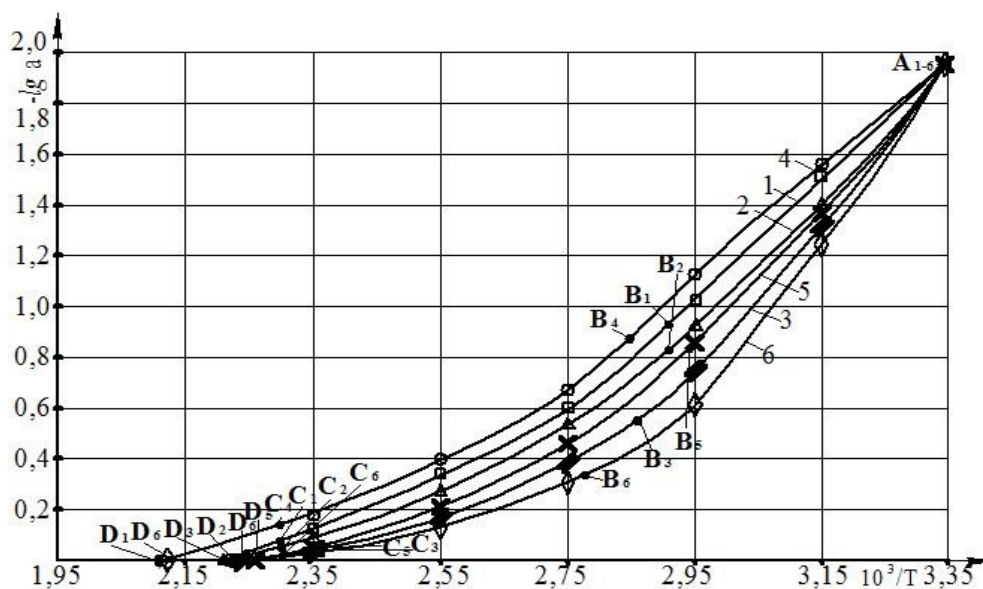


Рисунок 2. Зависимость $-\lg \alpha = f(10^3/T)$ при скорости нагрева среды 5 K/мин для образцов мучных изделий с включением растительных компонентов (1–5) и контрольного образца (6)

Figure 2. The dependence $-\lg \alpha = f(10^3/T)$ at a heating rate of 5 K/min for samples of flour products with the inclusion of plant components (1–5) and the control sample (6)

На участках A₁B₁–A₆B₆ при температуре 298–360 К происходит разрушение связей типа «вода-вода», количество удаляемой влаги составляет 4,30, 5,76, 8,07, 2,79, 7,15% в образцах № 1–5 соответственно и 11,22% – в контрольном образце. Участки B₁ C₁ – B₆ C₆ располагаются в диапазоне температур 343–434 К и соответствуют удалению механически связанной (адсорбционной) влаги, массовая доля удаляемой влаги составила 25,12, 24,49, 25,37, 24,08, 25,23% для исследуемых образцов № 1–5 соответственно и 24,45% – для контрольного образца. Сопоставление участков C₁ D₁ – C₆ D₆ опытных и контрольных образцов, располагающихся в температурном диапазоне 422–470 К, свидетельствует о возрастании доли физико-химически связанной влаги.

ЛИТЕРАТУРА

1 Коротков Е.Г., Пономарев А.Н., Мельникова Е.И. и др. Исследование форм связи влаги в твороге с микропартикулятом сывороточных белков // Молочная промышленность. 2016. № 8. С. 31–32.

2 Магомедов Г.О., Плутникова И.В., Кузнецова И.В., Наумченко И.С. Исследование форм связи зефира различного состава методом термического анализа // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3. С. 42–50.

3 Родионова Н.С., Кузнецова И.В., Зацепилина Н.П. и др. Влияние формы связи влаги фаршевых систем на основе различного рыбного сырья методом DTA // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 12. С. 39–40.

4 Пожидаева Е.А., Илюшина А.В., Болотова Н.В., Иванова Е.В. Исследование форм связи влаги в творожных продуктах методом дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрии // Пищевая промышленность. 2018. № 11. С. 73–77.

5 Ухарцева И.Ю., Кадолич В., Ткачева Л.В. Методы исследования продовольственного сырья и пищевых продуктов и опыт их применения // Потребительская кооперация. 2014. № 1 (44). С. 66–74.

6 Пожидаева Е.А., Швырева М.А., Дымовских Я.А. Разработка технологии замороженного молочного продукта с биокорректирующими свойствами // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы IV Международной заочной научно-технической конференции. Воронеж: ВГУИТ, 2017. С. 677–679.

7 Родионова Н.С., Попов Е.С., Пожидаева Е.А., Колесникова Т.Н. Функциональные композиции биокорректирующего действия на основе продуктов глубокой переработки низкомасличного сырья // Пищевая промышленность. 2017. № 6. С. 54–56.

8 Kaprelants L., Zhurlova O. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients // International Food Research Journal. 2017. V. 24. № 5. P. 1975–1979.

9 Aksenova L.M., Rimareva L.V. Directed conversion of protein modules of plant and animal foods // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 87. № 2. P. 132–134.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что сравнение характеристик рассмотренных температурных интервалов позволяет констатировать возрастание доли химически связанной влаги в опытных образцах по сравнению с контрольным образцом и, как следствие, увеличение срока годности. Полученные данные позволяют предположить наличие развитой пористой структуры у дополнительно вводимых растительных биообъектов, что помогает удерживать влагу внутренним объемом, в том числе капиллярно-связанную.

10 Babinets P.P., Sokolovskiy S.I., Sokolovskiy I.I., Prohorov G.V. et al. Energy and information technologies in regenerative medicine: effect of the interaction of biologically active plant substrates with the human body // Journal of Education, Health and Sport. 2015. V. 5. №. 6.

REFERENCES

1 Korotkov E.G., Ponomarev A.N., Mel'nikova E.I. et al. Study of the forms of communication of moisture in the curd with microparticulate whey proteins. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2016. no. 8. pp. 31–32. (in Russian).

2 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Kuzne-cova I.V., Naumchenko I.S. Investigation of the connection forms of marshmallow of different composition by the method of thermal analysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 3. pp. 42–50. (in Russian).

3 Rodionova N.S., Kuznecova I.V., Zacepilina N.P. et al. Influence of the form of moisture connection of farce systems based on various fish raw materials using the DTA method. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsy'r'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2010. no. 12. pp. 39–40. (in Russian).

4 Pozhidaeva E.A., Iljushina A.V., Bolotova N.V., Ivanova E.V. Investigation of forms of moisture communication in curd products using the method of differential scanning calorimetry and thermogravimetry. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry]. 2018. no. 11. pp. 73–77. (in Russian).

5 Uharceva I. Ju., Kadolich V., Tkacheva L.V. Research methods for food raw materials and food products and experience of their use. *Potrebitel'skaya kooperatsiya* [Consumer cooperation]. 2014. no. 1. pp. 66–74. (in Russian).

6 Pozhidaeva E.A., Shvyreva M.A., Dymovskih Ja.A. Development of technology for frozen dairy product with biocorrective properties. *Innovatsionnyye tekhnologii v pishchevoy promyshlennosti: nauka, obrazovaniye i proizvodstvo* [Innovative technologies in the food industry: science, education and production: materials of the IV International correspondence scientific and technical conference]. Voronezh, VSUET, 2017. pp. 677–679. (in Russian).

7 Rodionova N.S., Popov E.S., Pozhidaeva E.A., Kolesnikova T.N. Functional compositions of biocorrection action on the basis of products of deep processing of low oil raw materials. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry]. 2017. no. 6. pp. 54–56. (in Russian).

8 Kapreliants L., Zhurlova O. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients. International Food Research Journal. 2017. vol. 24. no. 5. pp. 1975–1979.

9 Aksenova L.M., Rimareva L.V. Directed conversion of protein modules of plant and animal foods.

Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. vol. 87. no. 2. pp. 132–134.

10 Babinets P.P., Sokolovskiy S.I., Sokolovskiy I.I., Prohorov G.V. et al. Energy and information technologies in regenerative medicine: effect of the interaction of biologically active plant substrates with the human body. Journal of Education, Health and Sport. 2015. vol. 5. no. 6.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наталья С. Родионова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rodionovast@mail.ru

Евгений С. Попов д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, e_s_popov@mail.ru

Дмитрий И. Матвеев студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, matveevd00@mail.ru

Елена С. Певцова студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, beloch64@mail.ru

Алина В. Соколова студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alinasokolova.1999@mail.ru

Андрей А. Дьяков экстерн, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 8-983-182-32-82@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Наталья С. Родионова предложила методику проведения эксперимента, написала рукопись, корректировал ее до подачи в редакцию

Евгений С. Попов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнил расчеты, несет ответственность за плагиат

Дмитрий И. Матвеев, Елена С. Певцова, Алина В. Соколова, Андрей А. Дьяков провели эксперимент

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 18.02.2019

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Natalia S. Rodionova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, rodionovast@mail.ru

Evgenij S. Popov Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, e_s_popov@mail.ru

Dmitrij I. Matveev student, service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, matveevd00@mail.ru

Elena S. Pevtsova student, service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, beloch64@mail.ru

Alina V. Sokolova student, service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, alinasokolova.1999@mail.ru

Andrej A. Diakov extern, service and restaurant business department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, 8-983-182-32-82@mail.ru

CONTRIBUTION

Natalia S. Rodionova suggested the methodology for conducting the experiment, wrote the manuscript, corrected it before filing to the editorial office

Evgenij S. Popov review of the literature on the problem, performed calculations, is responsible for plagiarism

Dmitrij I. Matveev, Elena S. Pevtsova, Alina V. Sokolova, Andrej A. Diakov conducted an experiment

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.10.2019

ACCEPTED 2.18.2019