

Изучение химического состава запаха молочно-растительного экстракта люпина на «Пьезоэлектронном носе»

Юлиан И. Шишацкий¹

Татьяна А. Кучменко¹ tak1907@mail.ru

Сергей А. Никель¹

Руслан У. Умарханов¹

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

Реферат. Большую популярность в пищевой промышленности последних лет получил люпин благодаря уникальному сочетанию технологических и пищевых свойств и доступности. Люпин характеризуется высокой массовой долей белков, в его семенах преобладают легко растворимые фракции белка: 20,65% альбуминов, 50,5% глобулинов с высоким содержанием незаменимых аминокислот. Обогащение молочно-растительного экстракта нативными компонентами люпина проводится в процессе экстрагирования с интенсификацией его низкочастотными механическими колебаниями. Высокое содержание в люпине белков в процессе обработки приводит к негативному технологическому изменению органолептических свойств изделий – запаха. Измерение состава легколетучей фракции запаха в равновесной газовой фазе над образцами проведено в НИЛ на экспериментальном анализаторе запахов «МАГ 8» с методологией «электронный нос» (производство ООО «Сенсорика – новые технологии», Воронеж). Для установления различий в составе (качественном и количественном) легколетучей фракции запаха проследили изменение общего содержания легколетучих компонентов в равновесной газовой фазе над пробами. По форме фигуры «визуального отпечатка» максимальных откликов всех сенсоров в массиве установлены не значимые различия в химическом составе равновесной газовой фазы над пробами. Нативный запах молочной сыворотки остался без изменений, но стал качественнее мягче при дегустационной оценке вследствие того, что 50% состава легколетучей фракции запаха изменены приемом пастеризации. Выполненное изучение запаха нативного и пастеризованного молочно-растительного экстракта позволяет заключить, что выбранный прием пастеризации можно рекомендовать в технологии продуктов питания с использованием молочно-растительного экстракта, обогащенного белками люпина.

Ключевые слова: анализатор запахов, «электронный нос», молочно-растительный экстракт

Study of the chemical composition of the smell of the dairy-vegetable extract of lupine on the “Piezoelectronic nose”

Yulian I. Shishatskii¹

Tat'yana A. Kuchmenko¹ tak1907@mail.ru

Sergei A. Nikel'¹

Ruslan U. Umarhanov¹

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

Summary. A great popularity in the food industry in recent years has received lupins due to a unique combination of technological and food properties and accessibility. Lupine is characterized by a high proportion of proteins, its seeds are dominated by readily soluble protein fractions: 20.65% albumins, 50.5% globulins with a high content of essential amino acids. Enrichment of the milk-vegetable extract with native components of lupine is carried out during extraction with intensification by its low-frequency mechanical oscillations. The high content of proteins in the lupine during processing leads to a negative technological change in the organoleptic properties of products - odor. The measurement of the composition of the volatile fraction of odor in the equilibrium gas phase over the samples was carried out in the NIL on the experimental analyzer of smells "MAG 8" with the methodology "electronic nose" (manufactured by LLC Sensorika - New Technologies, Voronezh). To establish the differences in the composition (qualitative and quantitative) of the volatile fraction of smell, the change in the total content of volatile components in the equilibrium gas phase over the samples was traced. According to the shape of the "visual fingerprint" of the maximum responses of all sensors in the array, there are no significant differences in the chemical composition of the equilibrium gas phase over the samples. The native smell of milk whey remained unchanged, but became more qualitatively softer with a tasting assessment due to the fact that 50% of the composition of the volatile fraction of odor was changed by the method of pasteurization. The study of the smell of the native and pasteurized milk and vegetable extract allows us to conclude that the chosen method of pasteurization can be recommended in food technology using a milky-vegetable extract enriched with lupine proteins.

Keywords: odor analyzer, "piezoelectronic nose", dairy-vegetable extract

Для цитирования

Шишацкий Ю.И., Кучменко Т.А., Никель С.А., Умарханов Р.У. Изучение химического состава запаха молочно-растительного экстракта люпина на «Пьезоэлектронном носе» // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3. С. 97–103. doi:10.20914/2310-1202-2017-3-97-103

For citation

Shishatskij Ju.I., Kuchmenko T.A., Nikel' S.A., Umarhanov R.U. Study of the chemical composition of the smell of the dairy-vegetable extract of lupine on the “Piezoelectronic nose”. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 3. pp. 97–103. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-3-97-103

Введение

Актуальной социальной, промышленной задачей в пищевой промышленности является разработка и внедрение качественно новых, безопасных пищевых продуктов, максимального использования биохимических свойств сырья и компонентов, способствующих сохранению и укреплению здоровья нации. Необходима разработка новых научно-практических подходов к максимальному вовлечению молочного белкового-углеводного сырья в производство пищевых продуктов.

Модификация подсырной сыворотки биологически активными веществами, микроэлементами растений направлена на ее изменение при изготовлении продуктов функционального питания.

Тепловая обработка (пастеризация) молочно-растительного экстракта (МРЭ) представляет собой необходимую технологическую операцию, например, в технологии йогуртов, с целью получения безопасных продуктов. В аппаратно-технологических схемах производства йогуртов [5] после сборника для нативного МРЭ последний пастеризуется в кожухотрубчатом теплообменнике, а затем через холодильник поступает в емкость для заквашивания и сквашивания до образования сгустка. В [5] показана целесообразность выбора рекуперативного теплообменника.

Изучение кинетики, оптимизация и математическое описание процесса экстрагирования из люпина подсырной сывороткой в совокупности с разработкой и успешным внедрением технологии йогуртов и других молочно-растительных продуктов на основе МРЭ на ряде молочных предприятий определяют практическую значимость и широкое применение молочно-растительного экстракта люпина в различных отраслях пищевой промышленности [4].

Ранее обоснованы параметры различных режимов тепловой обработки молока [6], которые применимы и для МРЭ, поскольку он по химическому составу, физико-химическим, органолептическим свойствам, массовой доле сухих веществ, белков, лактозы максимально приближен к цельному молоку.

Для обработки молочно-растительного экстракта выбран режим кратковременной пастеризации продолжительностью 15 с при температуре 72 °С. Условия обеспечивают разрушение почти всех патогенных микроорганизмов, присутствующих в экстракте, при этом вкус и сывороточные белки не изменяются, но происходит активация некоторых ферментов [6].

Большую популярность в пищевой промышленности последних лет получил люпин благодаря уникальному сочетанию технологических

и пищевых свойств, доступности; он характеризуется высокой массовой долей белков (более 30% в сухом веществе). В семенах люпина преобладают легкорастворимые фракции белка: 20,65% альбуминов, 50,5% глобулинов с высоким содержанием незаменимых аминокислот. Белок люпина значительно дешевле белков сои и практически равнозначен по питательной ценности.

Обогащение МРЭ нативными компонентами люпина проводится в процессе экстрагирования с интенсификацией его низкочастотными механическими колебаниями.

Высокое содержание в люпине белков в процессе обработки приводит к негативному технологическому изменению органолептических свойств изделий – запаха. Контроль этого параметра, как правило, не проводится инструментальными методами, так как в стандартах прописаны дегустационные испытания. Применение газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии также не целесообразно при решении различных внутренних задач производства.

Экспериментальная часть

Измерение состава легколетучей фракции запаха в равновесной газовой фазе (РГФ) над образцами проведено в НИЛ на экспериментальном анализаторе запахов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» (производство ООО «Сенсорика – новые технологии», Воронеж). На рис. 4 представлен общий вид рабочего места с анализатором «МАГ-8».

На рисунке 1 представлен общий вид рабочего места с анализатором «МАГ-8».

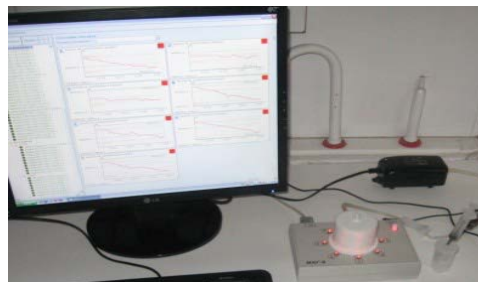


Рисунок 1. Общий вид рабочего места с анализатором «Маг-8»

Figure 1. General view of the workplace with the analyzer "Mag 8"

В качестве измерительного массива применены 8 сенсоров на основе пьезокварцевых резонаторов, генерирующих объемные акустические волны с базовой частотой колебаний 10,0 МГц с разнохарактерными пленочными сорбентами на электродах [1–3]. Покрывания выбраны в соответствии с задачей испытаний (возможна эмиссия из проб разных органических соединений):

- Сенсор 1 Поливинилпирролидон, ПВП.
- Сенсор 2 Полиэтиленгликоль ПЭГ-2000.
- Сенсор 3 Полиэтиленгликольадипинат, ПЭГА.
- Сенсор 4 Твин-40, Tween.
- Сенсор 5 Полиэтиленгликольсукцинат, ПДЭГС.
- Сенсор 6 Дициклогенсан-18-Краун-6, ДЦГ18К6.
- Сенсор 7 Пчелиный клей (прополис), ПчК.
- Сенсор 8 Бромкрезоловый зеленый, БКЗ.

Подготовка проб к анализу. Средние пробы объемом 20 см³ помещали в стеклянный пробоотборник, выдерживали при комнатной температуре 20 ± 1 °С в герметичном сосуде с полимерной мягкой мембраной не менее 20 мин. Отбирали индивидуальным шприцем 3 см³ равновесной газовой фазы (не затрагивая образец!) и вводили в ячейку детектирования. Проба характеризуется высоким содержанием легколетучих веществ в равновесной газовой фазе без нагревания. Температура воздуха в лаборатории 20 ± 1 °С (фон массива сенсоров от 30 до 50 Гц·с).

Режим измерения Время измерения 60 с, режим фиксирования откликов сенсоров – равномерный с шагом 1 с, оптимальный алгоритм представления откликов – сенсоров – матрица максимальных откликов отдельных сенсоров. Погрешность измерения – 5%.

Суммарный аналитический сигнал: сформирован с применением интегрального алгоритма обработки сигналов 8-ми сенсоров в виде «визуального отпечатка» (круговая диаграмма). Для установления общего состава запаха проб применяли полные «визуальные отпечатки», максимумов (наибольшие отклики 8-ми сенсоров). В качестве критериев для оценки различия в запахе анализируемых проб выбраны:

Качественные характеристики: форма «визуального отпечатка» с характерными

распределениями по осям откликов, определяется набором соединений в РГФ; параметры эффективной сорбции A_{ij} .

Для распознавания в смеси отдельных классов соединений применены параметры идентификации A_{ij} , рассчитанные по сигналам сенсоров в анализируемых пробах [7].

Количественные характеристики: 1) S_{Σ} , Гц·с – суммарная площадь полного «визуального отпечатка» – оценивает общую интенсивность запаха, концентрацию легколетучих веществ; 2) максимальные сигналы сенсоров с наиболее активной или специфической пленками сорбентов F_i , Гц – для оценки содержания отдельных классов органических соединений в РГФ методом нормировки [2, 3].

«Визуальные отпечатки» максимумов – построены по максимальным откликам сенсоров в РГФ образцов за время измерения (не более 1 мин). Позволяет установить похожесть и различие состава легколетучей фракции запаха над анализируемыми образцами [1].

Отклики сенсоров зафиксированы, статистически обработаны и сопоставлены в программном обеспечении анализатора «MAG Soft», $n = 3$, $p = 0,95$.

В качестве проб для проверки правильности измерения, полноты регенерации системы и реакции сенсоров применяли лабораторный воздух после длительной вентиляции.

Результаты и обсуждение

Для установления различий в содержании и природе легколетучих соединений в равновесной газовой фазе под образцами МРЭ, изготовленных по различной рецептуре, сравним величины откликов всех выбранных сенсоров в массиве (таблица 1).

Таблица 1.

Средние отклики сенсоров (F_i , Гц) и площадь «визуального отпечатка» сигналов сенсоров в РГФ над пробами

Table 1.

The average responses of the sensors (F_i , Hz) and the area of the “visual print” of the sensor signals in the RGF above the samples

№ пробы (Sample)	ПВП	ПЭГ-2000	ПЭГА	Tween	ПДЭГС	ДЦГ18К6	ПчК	БКЗ	$S_{\Sigma} \pm 30$, Гц·с
1	15	22	16	17	23	15	10	7	712
2	15	21	17	15	22	18	9	8	709

Установлено близкое содержание легколетучих органических соединений в равновесной газовой фазе над пробами. Большую интенсивность запаха имеет проба 1 (нативный МРЭ), однако различия между пробами незначимы и не регистрируются органолептически.

Особенность методологии «электронный нос» заключается в отсутствии классической аналитической информации и последовательности получения информации о качественном

и количественном составе образцов. Общепринятым является подход кластеризации проб по совокупности всех откликов «Электронного носа» с применением хемометрических методов (метода главных компонент, искусственных нейронных сетей и т. д.).

Предложено применять для полуколичественной относительной характеристики пробы метод нормировки, широко распространенный в хроматографии. При этом отклик

каждого сенсора будет интерпретировать как отдельный пик на хроматограмме. Различие заключается в том, что отклик каждого сенсора является суммарным, отражающим эффект из околосенсорного пространства с пленкой сорбента на сенсоре.

Неспецифическая избирательность пленок сорбентов к летучим соединениям не позволяет получать однозначную функцию для связи отклика с содержанием отдельных соединений. Однако, так как чувствительность

микровзвешивания сенсоров различается, то совокупность информации всех сенсоров в массиве позволяет сравнить вклад отдельных классов соединений в суммарный сигнал «носа» и их относительное содержание в различных пробах, анализируемых в одинаковых условиях.

Проследим изменения в количественном составе РГФ над пробой по относительному содержанию основных классов летучих соединений (таблица 2).

Таблица 2.

Относительное содержание компонентов в пробах, ω масс. ($\pm 0,2\%$)

Table 2.

Relative content of components in samples, ω mass. ($\pm 0.2\%$)

№ пробы (sample)	ПВП	ПЭГ-2000	ПЭГА	Tween	ДЦГ18К6	ПчК	ПДЭГС	БКЗ
1	12,0	17,6	12,8	13,6	12,0	8,0	18,4	5,6
2	12,0	16,8*	13,6	12,0	14,4	7,2	17,6	6,4

* – выделены отличающиеся от стандарта характеристики

Установлено, что количественный состав равновесной газовой фазы над пробами в представленной выборке различен по содержанию основных классов – соединений. Так, в РГФ над пробой 2 (пастеризованный МРЭ), по сравнению с пробой 1 меньше спиртов, кетонов, ацетатов, короткоцепочечных кислот, алкиламинов.

Технологический процесс пастеризации МРЭ

В стерильный стеклянный сосуд заливали 50 см³ МРЭ с температурой 20 °С помещали в термостат, в котором предварительно устанавливалась температура 72 °С, соответствующая кратковременной пастеризации. Температура

контролировалась универсальным измерителем ОВЕН ТРМ, термопары которого помещались в экстракт. По истечении 7 с процесс тепловой обработки завершился.

Для установления различий в составе (качественном и количественном) летучей фракции запаха проследим изменение общего содержания летучих компонентов в РГФ над пробами (рисунок 2). По форме фигуры «визуального отпечатка» максимальных откликов всех сенсоров в массиве установлены не значимые различия в химическом составе равновесной газовой фазы над пробами (в большей степени по интенсивности аромата).

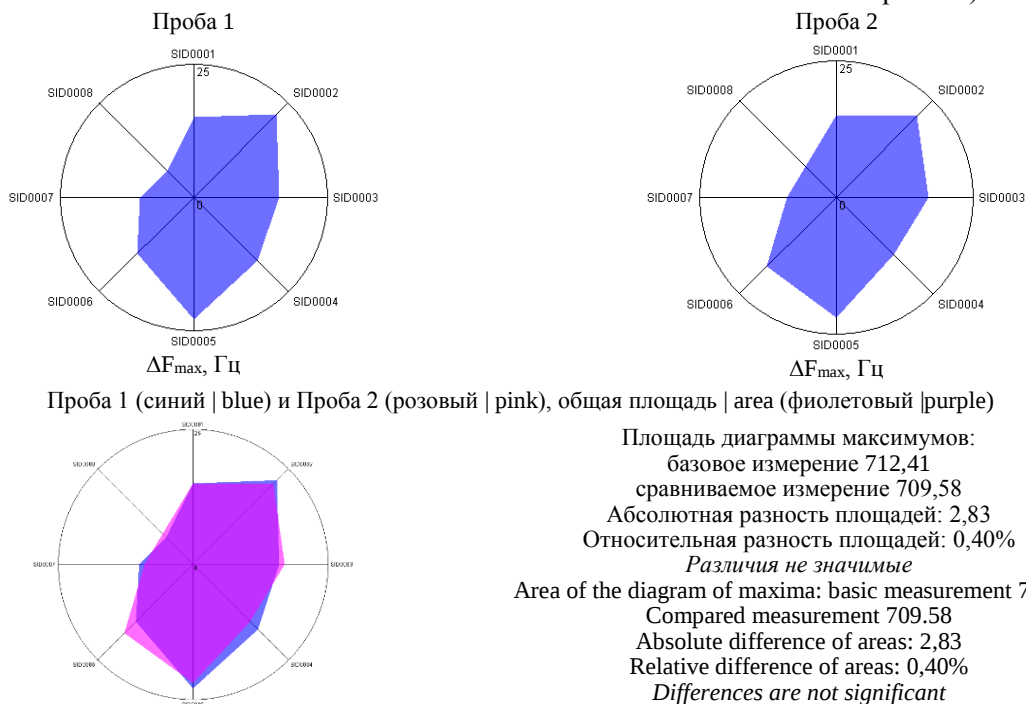


Рисунок 2. Визуальные отпечатки максимальных сигналов сенсоров в РГФ над пробами. По осям указаны номера сенсоров в матрице. По вертикали – максимальные отклики сенсоров (Гц)

Figure 2. Visual fingerprints of the maximum sensor signals in the RGF over the samples. The axes indicate the number of sensors in the matrix. Vertical – maximum sensor responses (Hz)

Такие особенности связаны с тем, что «визуальные отпечатки» отражают одновременно и качественный (природа) и количественные (содержание) состав РГФ. И изменения их в совокупности могут не существенно повлиять на геометрические обобщенные характеристики «носа» – $S_{в.о.}$, при этом отдельные группы соединений могут существенно уменьшаться, а другие увеличиваться по содержанию в результате отдельных технологических циклов и стадий.

Проследим изменения в качественном составе РГФ над пробами и появление/исчезновение соединений легколетучей фракции по параметрам A_{ij} , показывающих постоянство соотношения концентраций отдельных классов легколетучих соединений в РГФ (таблица 3).

Параметры A_{ij} являются расчетными и сравнивают избирательность двух сенсоров в массиве. Как правило, выбирают для расчета сигналы тех сенсоров, пленки которых характеризуются большей селективностью к отдельным классам соединений и, напротив, более универсальные. Минимальные значения A_{ij} , полученные для индивидуальных соединений, служат надежным идентификационным параметром их для смесей. В случае малой выборки проб воспользуемся методологией различения отпечатков пальцев. В качестве реперных выберем именно параметры A_{ij} , так как они максимально отражают постоянство качественного состава запаха проб (таблица 3).

Таблица 3.

Параметры A_{ij} для тестируемых проб

Table 3.

Parameters A_{ij} for the tested samples

№пробы (sample)	Показатель стабильности аромата (Stability of aroma)				
	ПДЭГС/ПВП	Tween/ПВП	ПЭГ-2000/ДЦГ18К6	БКЗ/ПДЭГС	ПчК/ПЭГА
	1	2	3	4	5
1	4,53	1,13	1,47	0,30	0,62
2	1,47	1,00	1,17	0,36	0,53
Для содержания For content	аминов среди всех полярных соединений и воды amines among all polar compounds and water	кислот среди всех полярных соединений и воды acids among all polar compounds and water	доля спиртов, кетонов среди всех кислородсодержащих соединений fraction of alcohols, ketones among all oxygen-containing compounds	циклических аминов среди всех азотсодержащих соединений cyclic amines among all nitrogen-containing compounds	кетонс среди спиртов, кислот, кетонов ketones among alcohols, acids, ketones

Установлено, что по качественному составу пробы различаются более значительно по группам соединений (таблица 3). Проба 2 обеднена указанными группами соединений по сравнению с пробой 1.

Для более наглядной демонстрации различий в запахе проб до и после обработки сопоставим пронормированные различающиеся показатели ω и A_{ij} пробы 2 относительно пробы 1.

Изменение формы нормированного интегрального образа, построенного по относительным количественным и качественным критериям пьезокварцевого микровзвешивания запаха однозначно подтверждает различия в составе равновесных газовых фаз над пробами сыворотки до и после обработки (рисунок 3).

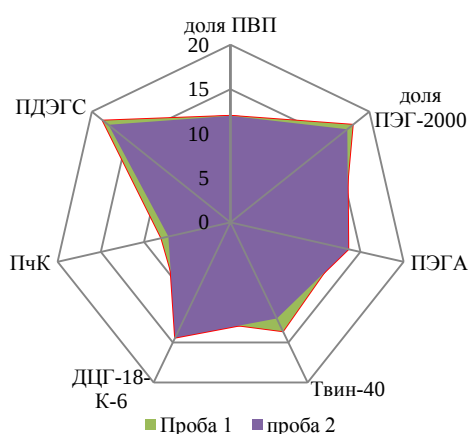


Рисунок 3. Интегральный образ нормированных количественных и качественных показателей для проб 1 (стандарт) и 2 (опыт)

Figure 3. The integral image of the standardized quantitative and qualitative indicators for samples 1 (standard) and 2 (experience)

Для оценки эффективности пастеризации с выбранными условиями рассчитаем степень подобия геометрических фигур ($\varepsilon = 0,165$).

Нативный запах молочной сыворотки остался без изменений, но стал качественнее мягче при дегустационной оценке вследствие того, что 50% состава ЛЛФ запаха изменены приемом пастеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шишацкий Ю.И. Обоснование целесообразности применения молочно-растительного экстракта люпина, полученного экстрагированием, в качестве сырья для функциональных продуктов питания // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2016. № 3(61). С. 203–208.

2 Кучменко Т.А., Шуба А.А., Бельских Н.В. Пример решения идентификационных задач в методе пьезокварцевого микровзвешивания смесей некоторых органических соединений // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16. № 2. С. 1–11.

3 Коломникова Я.П., Дерканосова А.А., Мануковская М.В., Литвинова Е.В. Влияние нетрадиционного растительного сырья на биотехнологические свойства и структуру сдобного теста // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 3 (65). С. 157–160.

4 Kuznetsova L. et al. On the potential of lupin protein concentrate made by enzymatic hydrolysis of carbohydrates in dairy-like applications // Agronomy Research. 2014. V. 12. № 3. P. 727–736.

5 Ochoa-Rivas A. et al. Microwave and Ultrasound to Enhance Protein Extraction from Peanut Flour under Alkaline Conditions: Effects in Yield and Functional Properties of Protein Isolates // Food and Bioprocess Technology. 2017. V. 10. № 3. P. 543–555.

6 Lindner J. D. D. et al. 11 Fermented Foods and Human Health Benefits of Fermented Functional Foods // Fermentation processes engineering in the food industry. 2013. P. 263.

7 deMoraesFilho A. F., Shirai A. H., Sturm W. Fermentative Processes // Fermentation Processes Engineering in the Food Industry. 2013. P. 237.

8 Мельникова Е.И., Богданова Е.В., Бурцева М.И., Иванов С.С. Молочно-растительный экстракт люпина - сырье для функциональных продуктов питания // Пищевая промышленность. 2014. № 5. С. 70–72.

9 Черников В.В., Лебедева Л.В., Стряпчих Е.С. Повышение конкурентоспособности отраслевых предприятий на основе продуктовых инноваций // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 2. С. 191–193.

10 Бойник В.В., Акритиду Х.П. Микроскопическое исследование корней люпина многолистного // Вестник фармации. 2013. № 2 (60). С. 31–34.

Заключение

Выполненное изучение запаха нативного и пастеризованного МРЭ позволяет заключить, что выбранный прием пастеризации можно рекомендовать в технологии продуктов питания с использованием молочно-растительного экстракта, обогащенного белками люпина.

REFERENCES

1 Shishatsky Yu.I. Substantiation of the expediency of using lupine milk extract, obtained by extraction, as raw material for functional food products. *Voprosy sovremennoi nauki* [Issues of modern science and practice] 2016. no. 3 (61). pp. 203–208. (in Russian)

2 Kuchmenko T.A., Shuba A.A., Belskih N.V. An example of the solution of identification problems in the method of piezoquartz micro-weighting of mixtures of some organic compounds. *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control]. 2012. vol. 16. no. 2. pp. 1–11. (in Russian)

3 Kolomnikova Ya.P., Derkanosova A.A., Manukovskaya M.V., Litvinova E.V. Influence of non-dietary vegetative raw materials on biotechnological properties and the structure of buttery dough. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies] 2015. no. 3 (65). pp. 157–160. (in Russian)

4 Kuznetsova L. et al. On the potential of lupin protein concentrate made by enzymatic hydrolysis of carbohydrates in dairy-like applications. *Agronomy Research*. 2014. vol. 12. no. 3. pp. 727–736.

5 Ochoa-Rivas A. et al. Microwave and Ultrasound to Enhance Protein Extraction from Peanut Flour under Alkaline Conditions: Effects in Yield and Functional Properties of Protein Isolates. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. vol. 10. no. 3. pp. 543–555.

6 Lindner J. D. D. et al. 11 Fermented Foods and Human Health Benefits of Fermented Functional Foods. *Fermentation processes engineering in the food industry*. 2013. pp. 263.

7 deMoraesFilho A. F., Shirai A. H., Sturm W. Fermentative Processes. *Fermentation Processes Engineering in the Food Industry*. 2013. pp. 237.

8 Melnikova E.I., Bogdanova E.V., Burtseva M.I., Ivanov S.S. Milk-vegetable extract of lupine - raw materials for functional food products. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry] 2014. no. 5. pp. 70–72. (in Russian)

9 Chernikov V.V., Lebedeva L.V., Stryapchikh E.S. Increase of competitiveness of the branch enterprises on the basis of product innovations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies]. 2012. no 2. pp. 191–193. (in Russian)

10 Boinik VV, Akritidu H.P. Microscopic examination of the roots of lupine multilayer. *Vestnik farmatsii* [Bulletin of Pharmacy] 2013. no 2 (60). pp. 31–34. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юлиан И. Шишацкий д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Татьяна А. Кучменко д.х.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tak1907@mail.ru

Сергей А. Никель к.т.н., доцент, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

Руслан У. Умарханов к.т.н., инженер, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия,

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 13.09.2017

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yulian I. Shishatskii doctor of technical sciences, professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Tat'yana A. Kuchmenko doctor of chemical sciences, professor, head of department, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tak1907@mail.ru

Sergei A. Nikel' candidate of technical sciences, assistant professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Ruslan U. Umarkhanov candidate of chemical sciences, engineer, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia,

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2017

ACCEPTED 9.13.2017