

*ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ БЕЛКОВЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ СЕМЯН КУНЖУТА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ НА ИХ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА*

Н.А. БУГАЕЦ, А.К. КАЛОЕВА, И.А. БУГАЕЦ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: (861) 274-67-45,
электронная почта: kubanochka23@yandex.ru*

В настоящее время перспективным источником белка и продуктов из него является растительное сырье. Значительное содержание растительного белка при относительно дешевом способе его производства позволяет восполнить дефицит белка в питании людей. Целью исследований является изучение влияния электромагнитного поля крайне низких частот (ЭМП КНЧ) на функциональные свойства белковых продуктов из семян кунжута. Предложен формальный алгоритм решения указанной задачи, реализованный средствами пакетов Statistica v.10 и MathCAD v.15. Использование предложенных математических моделей, описывающих процессы обработки ЭМП КНЧ, позволило установить эффективные параметры (продолжительность, частота, сила тока), интенсифицирующие модификацию белка. Установлено, что обработка полножирной муки из семян кунжута ЭМП КНЧ увеличивает показатели водоудерживающей и жироземмульгирующей способности.

Ключевые слова: кунжут, белковые продукты, электромагнитные поля крайне низких частот, функциональные свойства.

В решении проблем связанных с продовольственной безопасностью, экологией и экономической устойчивостью важную роль играет использование вторичных ресурсов как источника нетрадиционного пищевого белка. Одним из таких источников растительного белка являются семена кунжута, в которых содержание незаменимых аминокислот выше, чем в эталонном белке, и наибольшее количество таких аминокислот, как триптофан, фенилаланин и тирозин [1].

Из масличных культур вырабатывают белковые продукты, отличающиеся по способу производства, степени очистки от сопутствующих компонентов, характеристики сырья и общему содержанию белка. Из растительного сырья получают белковые препараты с различным содержанием белка: полножирная мука (от 40 % до 45 %), белковый концентрат (от 60 % до 65 %) и белковый изолят (более 90 %).

При производстве пищевых продуктов белок осуществляет две главные функции – пищевую и структурную. Биологическая ценность белка характеризует его способность осуществлять пищевую ценность. Структурная функция белка – это совокупность его физико-химических и реологических свойств, которые используются в технологическом процессе производства пищевых продуктов. Характеристики белка, определяющие его поведение при переработке и производстве продуктов питания, называют «функциональные свойства» белка.

В настоящее время одним из научных направлений является изучение функциональных свойств белка с целью получения новых пищевых продуктов с заданным составом, разработки рецептур и технологий многокомпонентных пищевых систем с повышенной пищевой и биологической ценностью.

Решение вопросов связанных с регулированием таких функциональных свойств белка как влагосвязывающая и гелеобразующая, жиросодерживающая и эмульгирующая способность, растворимость, играет важную роль при производстве пищевой продукции. Обработка растительного сырья с использованием биотехнологических методов и физического воздействия при оптимальных физико-химических и термодинамических параметрах является одним из решений поставленных технологических задач [2].

Целью исследований является регулирование функциональных свойств белковых продуктов из семян кунжута электрофизическим воздействием – обработкой электромагнитными полями крайне низких частот (ЭМП КНЧ).

В качестве объектов исследования использована полножирная мука из семян кунжута I типа (ПЖМ) с масличностью (М) 59,5 %.

Предварительная обработка исследуемых образцов ЭМП КНЧ проведена на экспериментальной установке, разработанной учеными Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, и характеризуется следующими параметрами: ω – частота, Гц; Т – продолжительность обработки, мин; I – сила тока, А [3].

Оценка эффективности модификации белка ЭМП КНЧ произведена путем определения функциональных свойств белковых продуктов: водо- (ВУС), жирудерживающей (ЖУС) и жирозэмульгирующей (ЖЭС) способности.

Для определения эффективных параметров обработки ЭМП КНЧ (частоты тока, продолжительности обработки, силы тока) белковых продуктов из семян кунжута (ПЖМ) при масличности (М, %) с целью регулирования их функциональных свойств (ВУС, ЖУС, ЖЭС) построен трехуровневый план эксперимента при комбинации параметров $N = 2k + 2k + 1 = 15$.

Обозначена $P(\omega, T, I)$ как искомая зависимость $P = \text{ВУС}$, $P = \text{ЖУС}$, $P = \text{ЖЭС}$ от ω , T , I . Использована простейшая квадратическая модель, способная отображать экстремумы. Это квадратическая модель от одного комбинированного фактора, образованного произведением трех исходных параметров, имеет следующий вид (1).

$$P(\omega, T, I) = \frac{a_0 + a \frac{\omega}{\omega_{\max} \cdot T}}{\frac{T_{\max} \cdot I}{I^2 \left(\frac{\omega}{\omega_{\max} \cdot T} \right)_{\max} + b}}, \quad (1)$$

где a_0, a, b – коэффициенты регрессии;

ω – фактор 1, частота, Гц;

T – фактор 2, продолжительность обработки, мин;

I – фактор 3, сила тока, А.

Частоту тока при обработке ПЖМ варьировали в интервале от 0 Гц до 40 Гц (x_1 – частота тока, Гц, $x_{1\min} = \text{уровень } -1 = 0$ Гц, $x_{1\max} = \text{уровень } +1 = 40$ Гц, $x_{1c} = \text{уровень } 0 = 20$ Гц).

Продолжительность обработки ПЖМ варьировали в интервале от 0 мин до 30 мин (x_2 – продолжительность обработки, мин, $x_{2\min} = \text{уровень } -1 =$

0 мин, $x_{2\max}$ = уровень +1 = 30 мин, x_{2c} = уровень 0 = 15 мин).

Силу тока при обработке семян кунжута варьировали в интервале от 0 А до 30 А (x_3 – сила тока, А, $x_{3\min}$ = уровень -1 = 0 А, $x_{3\max}$ = уровень +1 = 30 А, x_{3c} = уровень 0 = 15 А).

Варьируя значения параметров обработки ЭМП КНЧ, согласно трехуровневому плану, проведен эксперимент и определены функциональные свойства ПЖМ (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на функциональные свойства полножирной муки из семян кунжута

№ опыта	Фактор 1 – частота тока	Фактор 2 – продолжительность обработки	Фактор 3 – сила тока	Значения функциональных свойств ПЖМ, %			Введенные показатели		
	x_1 , Гц	x_2 , мин	x_3 , А	ВУС	ЖУС	ЖЭС	T/T _{max}	ω/ω_{\max}	I/I _{max}
1	0	0	0	259,00	184,50	60,0	0	0	0
2	20	15	15	282,95	195,45	60,0	0,5	0,5	0,5
3	20	15	30	268,34	210,22	62,2	0,5	0,5	1
4	20	30	15	257,74	201,70	57,8	1	0,5	0,5
5	20	30	30	266,79	202,45	58,1	1	0,5	1
6	40	15	15	270,20	223,65	60,0	0,5	1	0,5
7	40	15	30	304,15	187,22	59,1	0,5	1	1
8	40	30	15	301,75	201,41	57,8	1	1	0,5
9	40	30	30	279,99	184,63	61,0	1	1	1
10	20	15	0	259,00	184,50	60,0	0,5	0,5	0
11	0	30	15	259,00	184,50	60,0	0	1	0,5
12	40	0	30	259,00	184,50	60,0	1	0	1
13	20	0	15	259,00	184,50	60,0	0,5	0	0,5
14	0	15	30	259,00	184,50	60,0	0	0,5	1
15	40	30	0	259,00	184,50	60,0	1	1	0

По полученным экспериментальным данным проведена идентификация регрессионной модели изменения функциональных свойств (ВУС, ЖУС, ЖЭС) ПЖМ в композиции со степенным влиянием факторов: частоты тока (ω , Гц), продолжительности обработки (T, мин) и силы тока (I, А).

Параметры регрессионной модели по значениям функциональных свойств ПЖМ (таблица 1) рассчитаны средствами пакета STATISTICA, имеют вид (2) и для ВУС представлены в таблице 2.

$$V_1 = a_0 + a \cdot (V_6 \cdot V_7 \cdot V_8) + b \cdot (V_6 \cdot V_7 \cdot V_8)^2 \quad (2)$$

Таблица 2 – Параметры регрессионной модели для ВУС полножирной муки

Model is: $v1 = a_0 + a \cdot (V_6 \cdot V_7 \cdot V_8) + b \cdot (V_6 \cdot V_7 \cdot V_8)^2$ (1 ЭМП КНЧ М = 28.sta)						
Deo. Var. : ВУС, %						
Level of confidence: 95,0 % (alpha = 0.050)						
	Estimate	Standard error	t-value df = 12	p-value	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a0	258,7336	4,19714	61,64521	0,000000	249,589	267,8783
a	82,6809	28,13899	2,93831	0,012411	21,371	143,9905
b	-58,9525	31,62387	-1,86418	0,086935	-127,855	9,9500

Используя рассчитанные коэффициенты, получено уравнение (3).

$$ВУС_{59,50}(\omega, T, I) = 258,73 + 82,68 \frac{\omega T I}{403030} - 58,95 \left(\frac{\omega T I}{403030} \right)^2 \quad (3)$$

Средствами пакета STATISTICA произведены и расчеты параметров регрессионной модели и для функциональных свойств ЖУС и ЖЭС ПЖМ и получены уравнения (4) и (5).

$$ЖУС_{59,50}(\omega, T, I) = 186,26 + 81,18 \frac{\omega T I}{403030} - 86,87 \left(\frac{\omega T I}{403030} \right)^2 \quad (4)$$

$$ЖЭС_{59,50}(\omega, T, I) = 60,16 - 5,23 \frac{\omega T I}{403030} + 5,74 \left(\frac{\omega T I}{403030} \right)^2 \quad (5)$$

На следующем этапе исследований произведена скалярная оптимизация функциональных свойств ВУС, ЖУС, ЖЭС для ПЖМ в программе MathCAD.

Определены параметры обработки ЭМП КНЧ, при которых наблюдается максимальное значение функциональных свойств ПЖМ (таблица 3).

Таблица 3 – Эффективные параметры ЭМП КНЧ

Наименование показателя	Значение показателя, % max	Параметры ЭМП КНЧ		
		частота, Гц	продолжительность обработки, мин	сила тока, А
ВУС	287,72	35,54	26,65	26,65
ЖУС	205,23	31,04	23,28	23,28
ЖЭС	60,67	40,00	30,00	30,00

Произведена сравнительная характеристика функциональных свойств полножирной муки из семян кунжута до и после обработки ЭМП КНЧ (таблица 4).

Таблица 4 – Функциональные свойства полножирной муки из семян кунжута

Функциональные свойства	Значения показателя, %	
	без обработки	после обработки ЭМП КНЧ
водоудерживающая способность	257,038	287,72
жироудерживающая способность	265,300	205,23
жироэмульгирующая способность	53,389	60,67

В результате проведенных исследований установлено, что при обработке белковых продуктов из семян кунжута ЭМП КНЧ увеличиваются водоудерживающая и жироэмульгирующая способность. Данное наблюдение объясняется тем, что белок становится лабильным за счет образования на поверхности белка связанной воды, что приводит к увеличению его водоудерживающей способности. Разрушение молекулярной структуры под действием ЭМП КНЧ также усиливает гидрофобные свойства липидов, что объясняет увеличение ЖЭС полножирной муки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегеулов М.Ш., Кармашова Е.О. Эффективность использования побочных продуктов переработки растительного сырья в хлебопечении [Микрокристаллическая целлюлоза и жмыхи (кунжутный, тыквенный, кедровый)] // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. – 2014. – № 5. – С. 79-94.

2. Бугаец Н.А., Калоева А.К. Модификация белка семян кунжута с применением физико-химического метода // Сборник материалов XV

Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2019», посвященной Международному Году Периодической таблицы элементов Д.И. Менделеева (Россия, г. Красноярск, 22-26 апреля 2019 г.). – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, Торг.-эконом. ин-т, 2019. – С. 85-87.

3. Любимова Л.В., Купин Г.А., Власов П.А., Бугаец Н.А. Обработка электромагнитным полем кулинарной продукции для управления процессами микробиологической порчи // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2016. – № 14. – С. 204-209.

REFERENCES

1. Begeulov M.Sh., Karmashova E.O. Effektivnost ispolzovaniya pobochnykh produktov pererabotki rastitelnogo syrya v khlebopechenii [Mikrokristallicheskaya tsellyuloza i zhmykhi (kunzhutnyy, tykvennyy, kedrovyy) // Izv. Timiryazev. s.-kh. akad. – 2014. – № 5. – S. 79-94.

2. Bugaets N.A., Kaloeva A.K. Modifikatsiya belka semyan kunzhuta s primeneniem fiziko-khimicheskogo metoda // Sbornik materialov KhV Mezhdunarodnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Prospekt Svobodnyy – 2019», posvyashchennoy Mezhdunarodnomu Godu Periodicheskoy tablitsy elementov D.I. Mendeleeva (Rossiya, g. Krasnoyarsk, 22-26 aprelya 2019 g.). – Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, Torg.-ekonom. in-t, 2019. – S. 85-87.

3. Lyubimova L.V., Kupin G.A., Vlasov P.A., Bugaets N.A. Obrabotka elektromagnitnym polem kulinarnoy produktsii dlya upravleniya protsessami mikrobiologicheskoy porchi // Elektronnyy setevoy politematicheskiy zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". – 2016. – № 14. – S. 204-209.

EFFECT OF PROCESSING OF PROTEIN PRODUCTS FROM SESAME SEEDS BY ELECTROMAGNETIC FIELDS OF EXTREMELY LOW FREQUENCIES ON THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES

N.A. BUGAETS, A.K. KALOEVA, I.A. BUGAETS

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072, ph.: (861) 274-67-45,
e-mail: kubanochka23@yandex.ru*

Vegetable raw materials are currently one of the most promising sources of protein and protein products. A large number of proteins of plant origin and relatively low production costs make it possible to significantly compensate for their protein deficiency in the diet of people. The aim of the research is to study the effect of the electromagnetic field of extremely low frequencies (EMF) on the functional properties of protein products from sesame seeds. We propose a formal algorithm for solving this problem, implemented by means of packages Statistica V. 10 and MathCAD V. 15. The use of the proposed mathematical models describing the processes of processing EMF knch, allowed to establish effective parameters (duration, frequency, current), intensifying the modification of the protein. It is established that processing of full-fat flour from sesame seeds ELF EMFs increase water retention and fat emulsion ability.

Key words: sesame, protein products, electromagnetic fields of extremely low frequencies, functional properties.