

Влияние параметров процесса экструзии на водопоглощительную способность зерновых экструдатов

Фролов Д.И., Пияйко П.И.

Аннотация. В статье исследовалось влияние температуры, влажности теста и скорости вращения шнека на водопоглощительную способность экструдированных смесей. Все эксперименты по экструзии проводили с использованием одношнекового лабораторного экструдера ЭК-40 (диаметр шнека 40 мм) с использованием фильеры диаметром 3 мм. Статистическая обработка эксперимента была произведена с помощью плана поверхности отклика. В качестве независимых факторов были использованы такие факторы влияния на параметры экструзии как: температура процесса, влажность теста, скорость вращения шнека. Линейные компоненты в значительной степени объясняют большую часть изменений показателя индекса водопоглощения. Наибольшая вариабельность объяснялась температурой процесса для смеси 1. Влажность теста составляла наибольшее количество вариаций для смесей 2 и 3. Максимальные прогнозируемые значения индекса водопоглощения были получены при низких уровнях влажности теста.

Ключевые слова: экструзия, пшеничная мука, гречневая мука, смесь, водопоглощение, влажность.

Для цитирования: Фролов Д.И., Пияйко П.И. Влияние параметров процесса экструзии на водопоглощительную способность зерновых экструдатов // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 3. С. 18–22.

Influence of the parameters of the extrusion process on the water absorption capacity of grain extrudates

Frolov D.I., Piyayko P.I.

Abstract. The article investigated the influence of temperature, moisture content of the dough and the speed of rotation of the screw on the water absorption capacity of extruded mixtures. All extrusion experiments were carried out using a single-screw laboratory extruder EK-40 (screw diameter 40 mm) using a die with a diameter of 3 mm. Statistical processing of the experiment was performed using the response surface plan. As independent factors, such factors influencing the extrusion parameters as: process temperature, dough moisture, screw rotation speed were used. Linear components largely explain most of the changes in the water absorption index. The greatest variability was explained by the process temperature for mix 1. The moisture content of the dough was the largest number of variations for mixes 2 and 3. The maximum predicted values of the water absorption index were obtained at low levels of moisture in the test.

Keywords: extrusion, wheat flour, buckwheat flour, mix, water absorption, moisture.

For citation: Frolov D.I., Piyayko P.I. Influence of the parameters of the extrusion process on the water absorption capacity of grain extrudates. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2021. Vol. 8. No. 3. pp. 18–22. (In Russ.).

Введение

Интерес к гречке как к разнообразному и натуральному продукту в последнее время возрастает. Белки гречихи - один из наиболее известных источников высокой биологической ценности. Аминокислотный состав гречихи хорошо сбалансирован и по питательности превосходит таковой у других злаков. Белки гречихи содержат более высокий

процент лизина (6%), чем зерновые злаки (2,4-4%). Из-за высокого содержания сырой клетчатки и дубильных веществ истинная усвояемость белка в цельном зерне гречихи относительно низкая. Однако шелушение зерна гречихи повысило его истинную усвояемость до 89%. Белки гречихи испытывают дефицит метионина, но при смешивании с белками кукурузы или казеином их биологическая ценность возрастает. Ингибиторы трипсина присут-

ствуют в зерне гречихи, и их активность исчезает во время прорастания семян. Разные исследователи сообщали о присутствии ингибиторов трипсина и химотрипсина в трех формах, две из которых были термостабильными, а одна - термолабильной.

Ранее были описано производство кукурузно-гречневых хлопьев методом экструзионной варки. Использовали рецептуры с добавлением 18, 22 и 30% гречневой муки. Наилучшие органолептические свойства дала добавка 30% гречневой муки [1, 2, 3].

Соотношение затрат и выгод экструзионной технологии дает производителям, переработчикам и потребителям более широкий выбор за счет увеличения разнообразия ингредиентов, используемых в зерновых продуктах, включая гречку [3].

Целью исследования был анализ технологических параметров процесса экструзии на водопоглотительную способность экструдированных смесей.

Объекты и методы исследования

Кукурузная мука, гречневая мука, пшеничная мука и обезжиренное сухое молоко закупались на местном рынке или магазине.

Предварительные экспериментальные испытания экструзии проводились со смесями, включающими 25-60% кукурузной муки, 30-100% гречневой муки, 40-60% пшеничной муки и 5-10% обезжиренного сухого молока. Обезжиренное сухое молоко было добавлено для улучшения питательных качеств и вкуса, а также функциональности смесей. Были выбраны три смеси (гречишная мука : пшеничная мука : обезжиренное сухое молоко): смесь 1 – 55:40:5; смесь 2 – 40:55:5 и смесь 3 – 30:60:10. Перед экструзией, смеси перемешивали в течение 20 мин в смесителе.

Таблица 2 – Дисперсионный анализ для соответствия экспериментальных данных моделям поверхности отклика

Зависимая переменная	Множеств R	Множеств R2	Скоррект R2	F	p
WAI	0,959	0,919	0,917	320,6	0

Коэффициенты

	EI - Парам.	EI - Ст. Ош.	EI - t	EI - p
Св.член	-27,766	2,661	-10,435	0
W	-0,412	0,076	-5,448	0
W ²	-0,007	0,002	-4,086	0,000
T	0,061	0,011	5,632	0
T ²	0	0,000	0,259	0,796
S	0,225	0,017	13,219	0
S ²	-0,000	0,000	-16,062	0
W*T	-0,003	0,000	-11,270	0
W*S	0,003	0,000	21,203	0
T*S	0	0,000	-3,163	0,002

Таблица 1- Предварительный анализ сырья

Образец	Влажность (%)	Белок (%)	Жир (%)	Зола (%)
Гречневая мука	11,02	10,03	2,02	1,64
Кукурузная мука	11,43	8,37	1,02	0,6
Пшеничная мука	11,81	13,21	0,93	0,47
Обезжиренное сухое молоко	3,04	35,82	0,42	-

Все эксперименты по экструзии проводили с использованием одношнекового лабораторного экструдера ЭК-40 (диаметр шнека 40 мм) с использованием фильеры диаметром 3 мм.

Условия работы экструдера были выбраны из факторных комбинаций параметров: температуры процесса (95-150 °С), влажности теста (15-22%) и скорости вращения шнека (260-390 об/мин). Параметры экструзии и их уровни в плане эксперимента представлены в таблице 1. После экструзии материал сушили в сушилке периодического действия с принудительной подачей воздуха при 50 °С в течение 18 часов. Экструдированный материал охлаждали до комнатной температуры и хранили при 20 °С в пластиковых пакетах для дальнейшего анализа.

Влажность теста и содержание белка, сырого жира и золы определяли согласно утвержденным методам. При выполнении работы были использованы общепринятые стандартные методы исследований.

Индекс водопоглощения определяли следующим образом: 2,5 грамма измельченного образца растворяли в 30 мл дистиллированной воды, перемешивали и затем центрифугировали при 3000 об/мин в течение 15 минут. Супернатант отделяли и сушили на плите, затем сушили при 105 °С в печи с горячим воздухом до постоянного веса [7]. Индекс водопоглощения (WAI) был рассчитан по уравнению:

$$WAI = \frac{P_o}{P_s} \quad (1)$$

где WAI – индекс водопоглощения, г/г;
P_o – масса осадка, г;
P_s – сухой вес экструдата, г;

Центральное композиционное планирование эксперимента использовалось для оценки влияния переменной процесса экструзии на температуру процесса (T), влажность теста (W) и скорость вращения шнека (N).

Программы Statistica 10 и OriginPro были использованы для составления плана эксперимента, проведения статистического анализа и использовались для разработки, оценки эффектов и получения поверхностей отклика.

Таблица 3 – План эксперимента и полученные экспериментальные данные

№	Т			W			N			WAI 1	WAI 2	WAI 3
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3			
1.	105	120	110	19	16	16	280	330	280	4,508	5,085	5,1
2.	105	120	110	19	16	16	320	370	320	5,057	3,534	5,301
3.	105	120	110	21	18	18	280	330	280	4,037	4,876	4,675
4.	105	120	110	21	18	18	320	370	320	4,813	3,552	5,103
5.	125	140	130	19	16	16	280	330	280	4,25	4,991	5,045
6.	125	140	130	19	16	16	320	370	320	4,765	3,406	5,212
7.	125	140	130	21	18	18	280	330	280	3,645	4,648	4,486
8.	125	140	130	21	18	18	320	370	320	4,387	3,29	4,88
9.	115	130	120	20	17	17	300	350	300	4,612	4,352	5,155
10.	115	130	120	20	17	17	300	350	300	4,612	4,352	5,155
11.	95	110	100	20	17	17	300	350	300	4,958	4,534	5,297
12.	135	150	140	20	17	17	300	350	300	4,273	4,177	5,019
13.	115	130	120	18	15	15	300	350	300	5,01	4,488	5,507
14.	115	130	120	22	19	19	300	350	300	4,161	4,163	4,749
15.	115	130	120	20	17	17	260	310	260	3,273	5,113	4,163
16.	115	130	120	20	17	17	340	390	340	4,564	2,203	4,758

T - температура процесса, °C; W - влажность теста; N – скорость шнека (об/мин); WAI 1, WAI 2, WAI 3 – индекс водопоглощения экструдата смеси 1, 2 ил 3; C1, C2, C3 – Смесь 1, 2 и 3.

Предварительный анализ сырья, используемого в смесях представлен в таблице 1.

Результаты и их обсуждение

Независимыми переменными, выбранными для эксперимента, были: температура процесса (Т) – 95-150 °C; влажность теста (W) – 15-22%; скорость вращения шнека (N) – 260-390 об/мин.

Переменной отклика являлся индекс водопоглощения (WAI).

Все параметры показали высокую адекватную точность. Достаточно хороший коэффициент детерминации R2 показал, что разработанные модели оказались адекватными. Дисперсионный анализ для соответствия экспериментальных данных моделям поверхности отклика приведен в таблице 2.

План эксперимента и полученные данные индекса расширения экструдата (EI) показаны в таблице 3.

Значения водопоглощения составляли от 3,8 до 5,18 г воды на грамм сухого образца для смеси 1. Диапазоны для смесей 2 и 3 были аналогичными (3,98-4,76 и 3,69-4,70 соответственно). Прямое сравнение значений водопоглощения в литературе затруднено из-за различий в условиях обработки и используемом сырье. Значения водопоглощения в литературе колеблются от 4,1 до 6,4 для кукурузной муки и от 8 до 11 для пшеничного крахмала. Как правило, модели поверхности отклика, применяемые к водопоглощению, плохо подходят, при этом лучшие модели для смесей 1 и 3 являются базовой моделью первого порядка. Лучшая модель для смеси 2 имеет только три члена, причем линейный

член для скорости вращения шнека заменен квадратичным членом для температуры процесса. Только модель смеси 3, по-видимому, обладает хорошей предсказательной способностью, что подтверждается коэффициентом детерминации R2 прогнозного значения равного 0,87.

Контурные графики показали, что более низкие значения водопоглощения связаны с высокой влажностью теста для всех трех смесей (рис. 1). Сравнение графиков индекса расширения, полученных в аналогичном исследовании, с соответствующими графиками водопоглощения позволило предположить, что более высокие значения индекса расширения были связаны с высоким водопоглощением. Это подтверждается относительно высокой корреляцией между этими двумя измерениями качества, особенно для смесей 1 и 3. Контурные графики предполагают, что экструдаты смеси 1 и 3 с высоким индексом расширения также были более пористыми, о чем свидетельствуют высокие значения водопоглощения. Количество воды, абсорбированной измельченным экструдатом, использовалось как косвенная оценка пористости материала. По мере увеличения пористости экструдированного материала водопоглощение также будет увеличиваться. В экструдированных хлопьях для завтрака желательна низкая скорость водопоглощения для сохранения хрусткости, в то время как в закусовых продуктах также важны другие свойства текстуры, такие как ощущение во рту и твердость.

Водопоглощение экструдированных продуктов можно интерпретировать на основе взаимодействий крахмал-вода-белок, которые определяют твердофазную структуру. Водопоглощение обычно

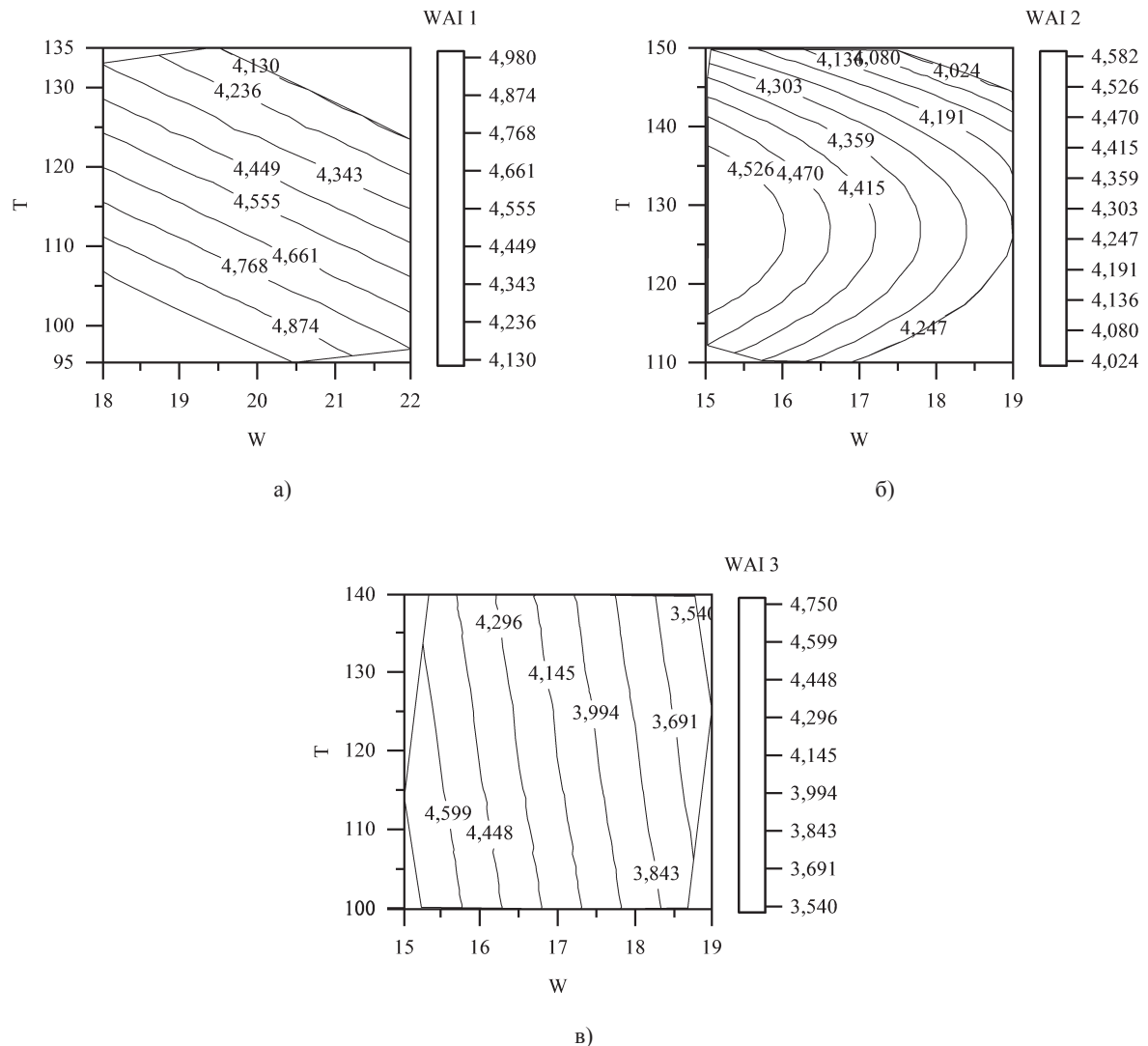


Рис. 1. Контурные графики индекса водопоглощения экструдата (а) WAI 1, б) WAI 2, в) WAI 3) в зависимости от влажности теста, температуры процесса и скорости вращения шнека для трех смесей

приписывают диспергированию крахмала в избытке воды, и дисперсия увеличивается за счет степени повреждения крахмала из-за желатинизации и фрагментации, вызванной экструзией, то есть снижения молекулярной массы молекул амилозы и амилопектина. В экструдированной пшеничной муке фрагментация крахмала происходила в большей степени, чем в кукурузной муке. Основной уменьшенной фракцией был амилопектин, молекулярная масса которого снизилась с 107-108 до 105-107. Среди других факторов, влияющих на водопоглощение, - тип белков, степень денатурации и количество присутствующей клетчатки. Содержание растворимой и нерастворимой клетчатки в используемом сырье

составляло 1,16 и 2,56% для гречневой муки и 0,50 и 1,43% для пшеничной муки.

Выводы

Влияние трех переменных процесса (температура процесса, влажность теста и скорость шнека) на качество экструзии трех смесей, содержащих гречку, показало, что компонент линейного члена этих факторов объясняет большинство наблюдаемых изменений. Наибольшей изменчивостью переменных отклика в смеси 1 была температура процесса, в то время как в смесях 2 и 3 эта изменчивость была вызвана в основном влажностью теста.

Литература

- [1] Effect of partial substitution of buckwheat on cooking characteristics, nutritional composition, and in vitro starch digestibility of extruded gluten-free rice noodles / M. Fu [et al.] // LWT. 2020. Vol. 126. P. 109332.

References

- [1] Effect of partial substitution of buckwheat on cooking characteristics, nutritional composition, and in vitro starch digestibility of extruded gluten-free rice noodles / M. Fu [et al.] // LWT. 2020. Vol. 126. P. 109332.

- [2] Mineral bio-accessibility and intrinsic saccharides in breakfast flakes manufactured from sprouted wheat / E. Lemmens [et al.] // LWT. 2021. Vol. 143. P. 111079.
- [3] A review of extrusion-modified underutilized cereal flour: chemical composition, functionality, and its modulation on starchy food quality / Q. Wang, L. Li, T. Wang, X. Zheng // Food Chemistry. 2022. Vol. 370. A review of extrusion-modified underutilized cereal flour. P. 131361.
- [4] Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: Its potential use as food ingredients / W. Cheng [et al.] // LWT. 2020. Vol. 133. Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour. P. 109872.
- [2] Mineral bio-accessibility and intrinsic saccharides in breakfast flakes manufactured from sprouted wheat / E. Lemmens [et al.] // LWT. 2021. Vol. 143. P. 111079.
- [3] A review of extrusion-modified underutilized cereal flour: chemical composition, functionality, and its modulation on starchy food quality / Q. Wang, L. Li, T. Wang, X. Zheng // Food Chemistry. 2022. Vol. 370. A review of extrusion-modified underutilized cereal flour. P. 131361.
- [4] Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: Its potential use as food ingredients / W. Cheng [et al.] // LWT. 2020. Vol. 133. Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour. P. 109872.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>
<p>Пияйко Павел Игоревич студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: E-mail: p.a.v.e.l_p@mail.ru</p>	<p>Piyayko Pavel Igorevich student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: E-mail: p.a.v.e.l_p@mail.ru</p>