

Изменение прочности на разрыв зерновых экструдатов при разных условиях экструзии

Фролов Д.И., Кручинина Н.Э.

Аннотация. В статье рассматривалось влияние технологических параметров экструзии (температуры, влажности теста и скорости вращения шнека) на конечные показатели экструдированных смесей (прочность на разрыв экструдата). Для проведения исследований использовался одношнековый лабораторный экструдер ЭК-40 (диаметр шнека 40 мм, диаметр фильеры матрицы 3 мм). Статистическая обработка эксперимента была произведена с помощью комбинированного ротатбельного плана поверхности отклика. В качестве независимых факторов были использованы факторы влияния на параметры экструзии: температура процесса (Т), влажность теста (W), скорость вращения шнека (N). Переменной отклика являлась прочность на разрыв (BSI). Взаимодействие влажности теста и скорости вращения шнека значительно повлияло на прочность на разрыв смеси 1. Высокие значения прочности на разрыв экструдата, для смеси 2 наблюдались при низкой влажности и экстремальных (низких и высоких) температурах процесса.

Ключевые слова: экструзия, мука, смесь, прочность на разрыв, зерно, скорость вращения шнека.

Для цитирования: Фролов Д.И., Кручинина Н.Э. Изменение прочности на разрыв зерновых экструдатов при разных условиях экструзии // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 3. С. 23–27.

Change in tensile strength of grain extrudates under different extrusion conditions

Frolov D.I., Kruchinina N.E.

Abstract. The article considered the influence of the technological parameters of extrusion (temperature, moisture content of the dough and the speed of rotation of the screw) on the final indicators of extruded mixtures (tensile strength of the extrudate). A single-screw laboratory extruder EK-40 (screw diameter 40 mm, die diameter 3 mm) was used for the research. Statistical processing of the experiment was performed using a combined rotatable response surface plan. The factors influencing the extrusion parameters were used as independent factors: process temperature (T), dough moisture (W), screw rotation speed (N). The response variable was the tensile strength (BSI). The interaction between the moisture content of the dough and the speed of rotation of the screw significantly influenced the tensile strength of mix 1. High values of the extrudate tensile strength, for mix 2, were observed at low humidity and extreme (low and high) process temperatures.

Keywords: extrusion, flour, mix, tensile strength, grain, screw speed.

For citation: Frolov D.I., Kruchinina N.E. Change in tensile strength of grain extrudates under different extrusion conditions. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2021. Vol. 8. No. 3. pp. 23–27. (In Russ.).

Введение

Гречневая мука в некоторых странах используется для приготовления лапши из цельной гречихи или смеси 10-50% с пшеничной мукой. В странах Восточной Европы гречневая крупа используется в качестве жареной крупы (каши). Крупа, пригото-

ленная из круп, используются для завтрака и каш, а также в качестве загустителей.

Ранее исследователи сообщали о влиянии температуры экструзии на химические и физико-химические свойства крахмалов и на образование комплексов крахмал-белок и крахмал-липид в экструдированных смесях, содержащих гречневую

муку, гречиху, ячмень и кукурузный крахмал, и 25 % молочных белков [1, 2, 3]. Комплексы крахмал-белок, образующиеся при экструзии, играют важную роль в стабильности пористой структуры экструдированных продуктов, содержащих гречишный крахмал.

Были изучено влияние процесса экструзии (одношнекового типа) на питательную ценность белков из гречневой муки. Экструзия при 100 °С и 120 °С привела к небольшому, но статистически значимому ($P < 0,05$) увеличению кажущейся и истинной усвояемости гречишного белка. Оптимизация режимов экструзии позволит сохранить качество готовой продукции, повысить пищевую ценность и придать продуктам профилактические свойства [4].

Целью этого исследования было оценить влияние температуры, влажности теста и скорости вращения шнека на качество смесей на основе гречихи, в частности прочности на разрыв, полученных с помощью одношнекового экструдера, с использованием плана поверхности отклика.

Объекты и методы исследований

В качестве сырья для смесей были использованы: кукурузная, гречневая и пшеничная мука, также обезжиренное сухое молоко, которые закупались на рынке и в магазине.

Экспериментальные исследования 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 : обе-

зжиренное 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. 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 [5]. При выполнении работы были использованы общепринятые стандартные методы исследований.

Усилие, необходимое для определения сдвига экструдата, регистрировали с помощью универсальной испытательной машины. Экструдаты подвергали испытанию и измеряли пиковое усилие. Скорректированная прочность на разрыв экструдата (H/cm^2) была рассчитана путем деления силы сдвига на общую площадь поперечного сечения экструдата, подвергнутого сдвигу. Каждое значение представляло собой среднее значение 10 независимых измерений.

Центральный составной план второго порядка использовался для сбора данных в 16 различных

Таблица 1 – План эксперимента и полученные экспериментальные данные

№	Кодирование факторов			T			W			N		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
1.	-1	-1	-1	105	120	110	19	16	16	280	330	280
2.	-1	-1	1	105	120	110	19	16	16	320	370	320
3.	-1	1	-1	105	120	110	21	18	18	280	330	280
4.	-1	1	1	105	120	110	21	18	18	320	370	320
5.	1	-1	-1	125	140	130	19	16	16	280	330	280
6.	1	-1	1	125	140	130	19	16	16	320	370	320
7.	1	1	-1	125	140	130	21	18	18	280	330	280
8.	1	1	1	125	140	130	21	18	18	320	370	320
9.	-1,68	0	0	115	130	120	20	17	17	300	350	300
10.	1,68	0	0	115	130	120	20	17	17	300	350	300
11.	0	-1,68	0	95	110	100	20	17	17	300	350	300
12.	0	1,68	0	135	150	140	20	17	17	300	350	300
13.	0	0	-1,68	115	130	120	18	15	15	300	350	300
14.	0	0	1,68	115	130	120	22	19	19	300	350	300
15.	0	0	0	115	130	120	20	17	17	260	310	260
16.	0	0	0	115	130	120	20	17	17	340	390	340

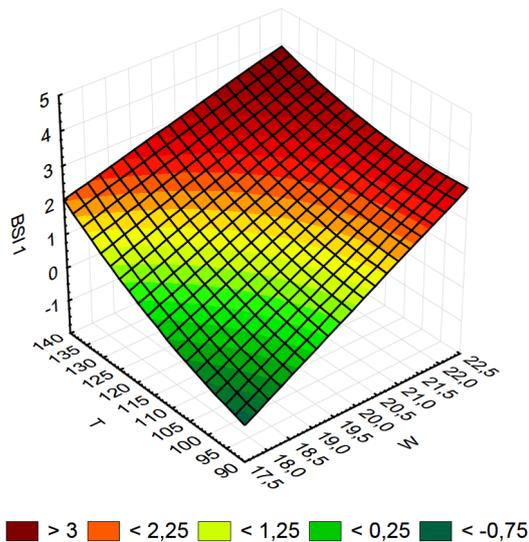


Рис. 1. 3М График поверхности для BSI 1 и W и T

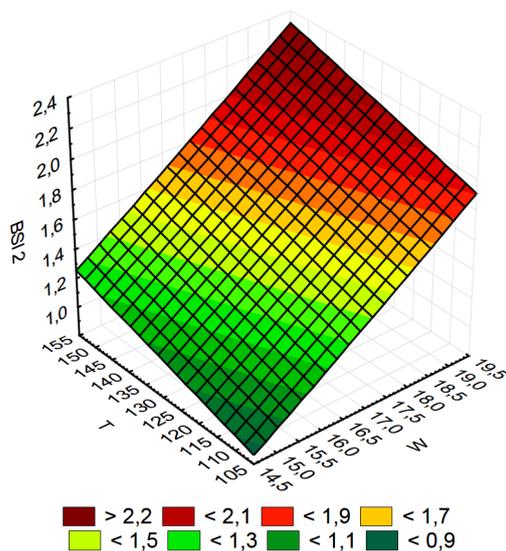


Рис. 2. 3М График поверхности для BSI 2 и W и T

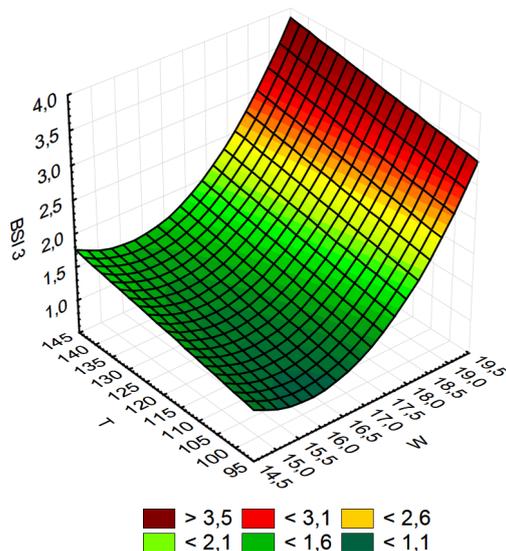


Рис. 3. 3М График поверхности для BSI 3 и W и T

расчетных точках (восемь точек для 23-х факторных частей куба, шесть центральных точек и две звездных точек). Каждую смесь обрабатывали в условиях экструзии, более подходящих для этой конкретной смеси, и условия варьировались между смесями. Центральное композиционное планирование эксперимента было использовано 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.

Результаты и их обсуждение

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

Переменной отклика являлась прочность на разрыв (BSI).

Все полученные уравнения показали высокую адекватную точность. Достаточно хороший коэффициент детерминации R² показал, что разработанные модели оказались адекватными. Были получены уравнения регрессии для экструдированных смесей 1, 2 и 3, где x соответствует влажности теста (W), y соответствует температуре процесса экструзии (T):

$$BSI\ 1 = -25,8413 + 1,5432 \cdot x + 0,0713 \cdot y - 0,0018 \cdot x^2 - 0,0078 \cdot x \cdot y + 0,0005 \cdot y^2$$

$$BSI\ 2 = -2,4647 + 0,1495 \cdot x + 0,007 \cdot y + 0,0015 \cdot x^2 + 8,3192E-5 \cdot x \cdot y - 1,1989E-6 \cdot y^2$$

$$BSI\ 3 = 566 - 5,1368 \cdot x + 0,0081 \cdot y + 0,1628 \cdot x^2 + 0,0001 \cdot x \cdot y - 5,911E-8 \cdot y^2$$

План эксперимента и полученные данные прочности на разрыв экструдата (BSI) показаны в таблице 3.

Наблюдаемые значения прочности на разрыв смесей 1 и 3 были относительно близкими в пределах 1-3 Н/см². Смесь 2 имеет гораздо более узкий диапазон 1,18–2,04 Н/см². Модели смесей 1 и 2 дали значения прогноза коэффициента детерминации R² < 0,5, что свидетельствует о том, что эти модели не могут хорошо прогнозировать новые данные. Влажность теста оказалась наиболее влиятельной переменной экструзии при определении прочности на разрыв для смесей 2 и 3, тогда как скорость шнека была более важной для смеси 1.

Высокие значения индекса расширения для смеси 1 наблюдались при низкой влажности теста, низкой температуре процесса и относительно высокой скорости вращения шнека. Графики для смеси 1 предполагают, что эта область связана с низкими прогнозируемыми значениями прочности на разрыв (рис. 1). Высокие значения прочности на разрыв наблюдаются при высокой влажности теста

и высокой температуре процесса. Как правило, значения прочности на разрыв смеси 1 предполагают область с низкой влажностью и температурой, с более хрустящими характеристиками. Более высокая влажность и температура обычно приводили к получению экструдата смеси 1 с увеличивающимися характеристиками хрусткости.

Высокие значения индекса расширения для смеси 2 наблюдались при низкой влажности и экстремальных (низких и высоких) температурах процесса. Хотя уравнение, изображающее график, имело ограниченные возможности прогнозирования, значения прочности на разрыв смеси 2 были относительно низкими в этой области пространства. Это говорит о том, что продукт, полученный с высоким индексом расширения, будет скорее хрустящим, чем нет, что было подтверждено фактическим тестированием экструдатов. Смесь 3 демонстрирует аналогичную картину с относительно низкой прочностью на разрыв, связанной с желательными значениями индекса расширения. Отрицательная связь между индексом расширения и прочностью на разрыв подтверждается коэффициентами корреляции.

Исследователями сообщается, что прочность на разрыв зависит от структуры клетки, то есть от размера клетки и толщины стенки клетки. Высокие значения прочности на разрыв обычно связаны с большими ячейками с более толстыми стенками ячеек, создающими хрустящую текстуру. Низкие значения прочности на разрыв обычно связаны с

большим количеством мелких ячеек на единицу площади с более тонкими стенками ячеек, что приводит к хрустящей текстуре. Среди факторов, влияющих на хрусткость, - способность разорвать клеточные стенки продукта, что коррелирует с общей приложенной энергией (термической и механической). Данный фактор определяет форму клеточных стенок, то есть аморфный материал по сравнению с организованным материалом клеточной стенки. В продуктах из вспученного риса влажность теста считается наиболее важным фактором, влияющим на хрусткость, объемную плотность, твердость и внешний вид. Рисунок 1 показывает, что, как правило, влажность теста оказывала более сильное влияние на прочность на разрыв, чем температура процесса для продуктов, содержащих кукурузную муку (смеси 2 и 3).

Выводы

Взаимодействие влажности теста и скорости вращения шнека значительно повлияло на прочность на разрыв смеси 1. Высокие значения прочности на разрыв экструдата, для смеси 2 наблюдались при низкой влажности и экстремальных (низких и высоких) температурах процесса. Использование гречневой муки в экструдированных закусках и готовых к употреблению сухих завтраках предлагает желаемое изменение вкуса и может использовать преимущества питательных качеств гречихи.

Литература

- [1] Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour / D. Yu [et al.] // LWT. 2018. Vol. 92. P. 220–226.
- [2] Nikolić N., Sakač M., Mastilović J. Effect of buckwheat flour addition to wheat flour on acylglycerols and fatty acids composition and rheology properties : Innovative baking technologies: new starches, functional bread and cereal products // LWT - Food Science and Technology. 2011. Vol. 44. № 3. P. 650–655.
- [3] Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by different flour types and extrusion conditions / A. Peřsa [et al.] // LWT - Food Science and Technology. 2016. Vol. 72. P. 26–36.
- [4] Бакуменко О.Е., Алексеенко Е.В., Рубан Н.В. Возможности использования сублимированных растительных порошков при производстве зерновых экструдированных продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 1. С. 116–129.
- [5] Шабурова Г.В., Воронина П.К., Шешницан И.Н. Влияние экструзионной обработки на химический состав и функционально-технологические свойства семян тыквы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4. С. 55–59.

References

- [1] Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour / D. Yu [et al.] // LWT. 2018. Vol. 92. P. 220–226.
- [2] Nikolić N., Sakač M., Mastilović J. Effect of buckwheat flour addition to wheat flour on acylglycerols and fatty acids composition and rheology properties : Innovative baking technologies: new starches, functional bread and cereal products // LWT - Food Science and Technology. 2011. Vol. 44. № 3. P. 650–655.
- [3] Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by different flour types and extrusion conditions / A. Peřsa [et al.] // LWT - Food Science and Technology. 2016. Vol. 72. P. 26–36.
- [4] Bakumenko O.E., Alekseenko E.V., Ruban N.V. Possibilities of using sublimated plant powders in the production of grain extruded products // Storage and processing of agricultural raw materials. 2019. No. 1. P. 116–129.
- [5] Shaburova G.V., Voronina P.K., Sheshnitsan I.N. Influence of extrusion processing on the chemical composition and functional and technological properties of pumpkin seeds // Izvestia of the Samara State Agricultural Academy. 2016. No. 4. P. 55–59.

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>Кручинина Наталья Эдуардовна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(962) 473-86-96 E-mail: kruchininane@gmail.com</p>	<p>Kruchinina Natalia Eduardovna postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(962) 473-86-96 E-mail: kruchininane@gmail.com</p>