

Определение индекса расширения экструдатов из гречихи

Фролов Д.И., Соболев Е.Г.

Аннотация. В статье исследовалось влияние температуры, влажности теста и скорости вращения шнека на качество смесей на основе гречихи. 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. Наибольшая вариабельность объяснялась температурой процесса для смеси 1. Влажность теста составляла наибольшее количество вариаций для смесей 2 и 3. Максимальные прогнозируемые значения индекса расширения были получены при низких уровнях влажности теста.

Ключевые слова: экструзия, гречиха, смесь, мука, индекс расширения, влажность.

Для цитирования: Фролов Д.И., Соболев Е.Г. Определение индекса расширения экструдатов из гречихи // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 4. С. 33–37.

Determination of the expansion index of buckwheat extrudates

Frolov D.I., Sobolev E.G.

Abstract. The article investigated the effect of temperature, dough moisture and screw rotation speed on the quality of buckwheat-based 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. The greatest variability was attributed to the process temperature for Blend 1. Dough moisture was the most varied for Blends 2 and 3. The maximum predicted expansion index values were obtained at low dough moisture levels.

Keywords: extrusion, buckwheat, mix, flour, expansion index, moisture.

For citation: Frolov D.I., Sobolev E.G. Determination of the expansion index of buckwheat extrudates. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2021. Vol. 8. No. 4. pp. 33–37. (In Russ.).

Введение

Питательные и органолептические свойства гречихи делают это зерно подходящим кандидатом для расширенных возможностей переработки и сбыта в пищевой промышленности. Ежегодно во всем мире собирают около 3 миллионов гектаров гречихи. Ведущими производителями гречки являются Россия, Китай, Япония, Польша, Канада, Бразилия и США.

Гречневая мука смешивается с зерновой мукой и используется для изготовления блинов, печенья, хлеба, лапши, спагетти, макарон и готовых к употреблению хлопьев для завтрака [1, 2]. Ранее исследова-

тели заменяли до 50% пшеничной муки - гречишной мукой в хлебопечении [3]. В целом хлеб, выпеченный с содержанием до 25% гречневой муки в рецептуре и включающий сыворотку или простоквашу, был приемлемым [4].

Экструзионная варка - это универсальный процесс, улучшающий органолептические и питательные качества пищевых продуктов. 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 [5].

Цель исследования было оценить влияние тем-

пературы, влажности теста и скорости вращения шнека на качество смесей на основе гречихи.

Объекты и методы исследований

Гречневая мука, кукурузная мука, пшеничная мука и обезжиренное сухое молоко закупались на местном рынке и магазине.

Предварительные экспериментальные испытания экструзии проводились со смесями, включающими 30-100% гречневой муки, 25-60% кукурузной муки, 40-60% пшеничной муки и 5-10% обезжиренного сухого молока. Основным критерием, использованным в предварительных испытаниях, был индекс расширения экструдатов.

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.

При выполнении работы были использованы общепринятые стандартные методы исследований.

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

Таблица 1 – Дисперсионный анализ для соответствия экспериментальных данных моделям поверхности отклика

Размеры эффектов

| Зависимая переменная | Множественность R | Множественность R2 | Скорректированный R2 | F | p |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------|---|
| EI | 0,990 | 0,980 | 0,980 | 1305,89 | 0 |

Коэффициенты

| | EI - Парам. | EI - Ст. Ош. | EI - t | EI - p |
|----------------|-------------|--------------|---------|--------|
| Св.член | -88,185 | 2,538 | -34,740 | 0 |
| W | 0,034 | 0,111 | 0,306 | 0,760 |
| W ² | -0,011 | 0,002 | -4,860 | 0,000 |
| T | -0,072 | 0,012 | -6,077 | 0 |
| T ² | 0,001 | 0,000 | 20,491 | 0 |
| S | 0,646 | 0,015 | 44,049 | 0 |
| S ² | -0,001 | 0,000 | -45,019 | 0 |
| W*T | -0,002 | 0,000 | -3,973 | 0,000 |
| W*S | 0,001 | 0,000 | 10,093 | 0 |
| T*S | -0,000 | 0,000 | -17,931 | 0 |

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.

Диаметр экструдатов измеряли штангенциркулем. Индекс диаметрального расширения рассчитывали путем деления диаметра экструдата на диаметр сопла фильеры. Каждое значение рассчитывали как среднее по 10 показаниям.

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

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

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 являлся индекс расширения экструдата (EI).

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 1.

План эксперимента и полученные данные индекса расширения экструдата (EI) показаны в таблице 2.

Наблюдаемые (фактические данные) значения индекса расширения для смесей 2 и 3 в значительной степени перекрывались с диапазонами 2,6–3,2 единиц. Смесь 1 имела наблюдаемые значения с более широким диапазоном 2,9–3,9 единиц, что указывает на большее расширение смеси, что является желаемой характеристикой. Модели первого порядка (линейные компоненты) для смесей 1 и 3 объясняют большую часть изменчивости индекса расширения со значениями R²>0,85. Поверхностные модели второго порядка, по-видимому, обеспечивают значительное улучшение для всех трех смесей с коэффициентами детерминации 0,957, 0,887 и 0,990 соответственно. Хотя тесты на отсутствие соответствия были несущественными для моделей второго порядка всех

Таблица 2 – План эксперимента и полученные экспериментальные данные

| № | Т | | | W | | | N | | | EI 1 | EI 2 | EI 3 |
|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| | C1 | C2 | C3 | C1 | C2 | C3 | C1 | C2 | C3 | | | |
| 1. | 105 | 120 | 110 | 19 | 16 | 16 | 280 | 330 | 280 | 4,199 | 4,626 | 4,615 |
| 2. | 105 | 120 | 110 | 19 | 16 | 16 | 320 | 370 | 320 | 4,96 | 0,918 | 5,188 |
| 3. | 105 | 120 | 110 | 21 | 18 | 18 | 280 | 330 | 280 | 3,753 | 4,391 | 4,286 |
| 4. | 105 | 120 | 110 | 21 | 18 | 18 | 320 | 370 | 320 | 4,613 | 0,782 | 4,959 |
| 5. | 125 | 140 | 130 | 19 | 16 | 16 | 280 | 330 | 280 | 3,943 | 4,639 | 4,575 |
| 6. | 125 | 140 | 130 | 19 | 16 | 16 | 320 | 370 | 320 | 4,548 | 0,774 | 4,992 |
| 7. | 125 | 140 | 130 | 21 | 18 | 18 | 280 | 330 | 280 | 3,435 | 4,342 | 4,185 |
| 8. | 125 | 140 | 130 | 21 | 18 | 18 | 320 | 370 | 320 | 4,139 | 0,577 | 4,701 |
| 9. | 115 | 130 | 120 | 20 | 17 | 17 | 300 | 350 | 300 | 4,568 | 3 | 5,057 |
| 10. | 115 | 130 | 120 | 20 | 17 | 17 | 300 | 350 | 300 | 4,568 | 3 | 5,057 |
| 11. | 95 | 110 | 100 | 20 | 17 | 17 | 300 | 350 | 300 | 5,181 | 3,345 | 5,454 |
| 12. | 135 | 150 | 140 | 20 | 17 | 17 | 300 | 350 | 300 | 4,451 | 3,152 | 5,156 |
| 13. | 115 | 130 | 120 | 18 | 15 | 15 | 300 | 350 | 300 | 4,951 | 3,172 | 5,322 |
| 14. | 115 | 130 | 120 | 22 | 19 | 19 | 300 | 350 | 300 | 4,096 | 2,74 | 4,703 |
| 15. | 115 | 130 | 120 | 20 | 17 | 17 | 260 | 310 | 260 | 2,155 | 5,056 | 2,831 |
| 16. | 115 | 130 | 120 | 20 | 17 | 17 | 340 | 390 | 340 | 3,62 | 0,534 | 3,92 |

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

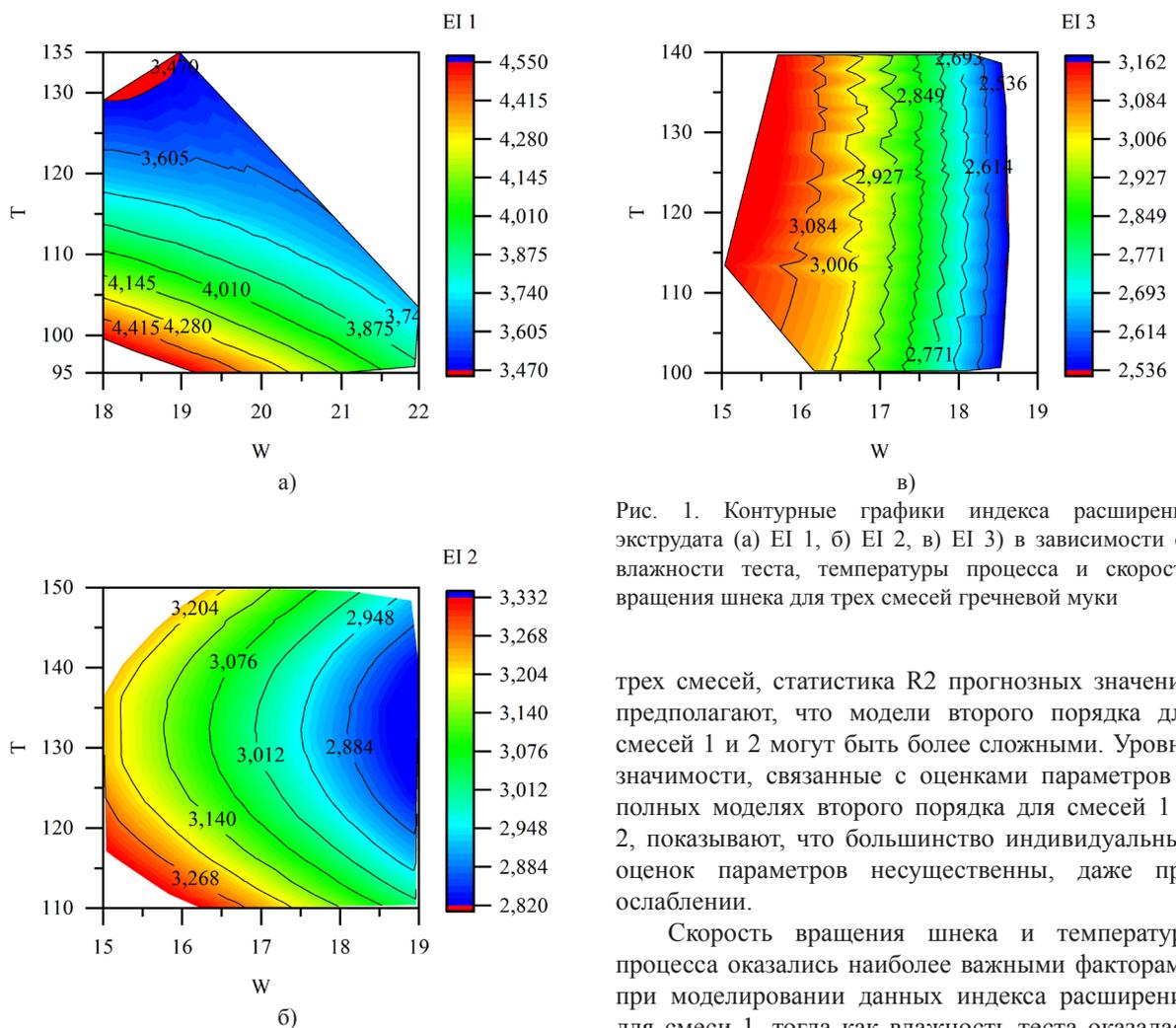


Рис. 1. Контурные графики индекса расширения экструдата (а) EI 1, б) EI 2, в) EI 3) в зависимости от влажности теста, температуры процесса и скорости вращения шнека для трех смесей гречневой муки

трех смесей, статистика R2 прогнозных значений предполагают, что модели второго порядка для смесей 1 и 2 могут быть более сложными. Уровни значимости, связанные с оценками параметров в полных моделях второго порядка для смесей 1 и 2, показывают, что большинство индивидуальных оценок параметров незначительны, даже при ослаблении.

Скорость вращения шнека и температура процесса оказались наиболее важными факторами при моделировании данных индекса расширения для смеси 1, тогда как влажность теста оказалась наиболее важным фактором в модели смеси

2. Смесь 3 продемонстрировала значительные эффекты по всем трем факторам. Влажность теста была наиболее важным фактором, основанным на очень значимом F-тесте и на том факте, что три наиболее значимых отдельных члена в модели содержали влажность теста.

Анализ поверхности отклика дал точку в качестве стационарной точки для каждой из трех смесей. Использование методов визуализации данных индекса расширения для смеси 1 показало, что самые высокие прогнозируемые значения индекса расширения наблюдались при более низкой влажности теста, низкой температуре процесса и от умеренной до высокой скорости вращения шнека. Визуализация фактических данных, а также множественные диаграммы разброса фактических данных подтвердили эти результаты.

Цель использования контурных графиков состояла в том, чтобы изобразить регионы, которые, по прогнозам, будут оптимальными, на основе моделей, которые мы подбираем. Оптимальные области были определены с использованием как традиционной методологии поверхности отклика, так и методов визуализации. Методы визуализации сыграли важную роль в определении областей в пространстве дизайна, где можно найти оптимальные предсказанные ответы. Это связано с тем, что модели со значительными членами взаимодействия и седловыми точками для стационарной точки предполагают, что не существует четкой области для оптимумов.

Смеси 2 и 3 содержат большое количество кукурузы, и наши контурные графики показывают,

что индекс расширения снижается при высокой влажности теста. Наши результаты показали, что влияние на индекс расширения из-за температуры процесса казалось умеренно важным для смеси 1, не столько для смеси 2, и не важным фактором для смеси 3.

Гречневая мука содержит в среднем 42-58% амилозы, что в 1,6-2,0 раза больше, чем ожидается в кукурузной и пшеничной муке. Возможно, что за счет изменения соотношения амилоза-амилопектин и введения амилопектина с разным размером молекул, в расплавленном состоянии смеси 1 образуется система, более способствующая расширению в условиях испытанного процесса.

Таким образом, мы объясняем физические различия экструдатов, такие как расширение, реологическими изменениями во время плавления крахмала и белков в условиях экструзии трехкомпонентных смесей.

Выводы

Использование гречневой муки в экструдированных закусках и готовых к употреблению сухих завтраках предлагает желаемое изменение вкуса и может использовать преимущества питательных качеств гречихи. Это исследование показало, что индекс расширения был наиболее важным показателем общего качества экструдата, содержащего гречку.

Литература

- [1] Comparison of pregelatinization methods on physicochemical, functional and structural properties of tartary buckwheat flour and noodle quality / X. Sun [et al.] // *Journal of Cereal Science*. 2018. Vol. 80. P. 63–71.
- [2] Physically modified common buckwheat starch and their physicochemical and structural properties / W. Li [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 40. P. 237–244.
- [3] 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.
- [4] 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.

References

- [1] Comparison of pregelatinization methods on physicochemical, functional and structural properties of tartary buckwheat flour and noodle quality / X. Sun [et al.] // *Journal of Cereal Science*. 2018. Vol. 80. P. 63–71.
- [2] Physically modified common buckwheat starch and their physicochemical and structural properties / W. Li [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 40. P. 237–244.
- [3] 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.
- [4] 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.

[5] 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.

[5] 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>Соболев Егор Георгиевич магистрант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p> | <p>Sobolev Egor Georgievich undergraduate of the department «Food productions» Penza State Technological University</p> |