

ТЕКСТУРНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРУДАТОВ ИЗ СМЕСИ КУКУРУЗНОЙ МУКИ И СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА

Фролов Д.И.

Текстура является важным свойством обогащенных экструдированных продуктов и зависит от условий процесса экструзии, свойств сырья и свойств различных ингредиентов. Основной целью этого исследования было использование двухшнековой экструзии для получения экструдата на основе смесей кукурузной муки и концентрата сывороточного белка с приемлемыми текстурными свойствами. Были приготовлены три различные смеси кукурузной муки и концентрата сывороточного белка. Доля концентрата сывороточного белка в смеси составляла 7,5%, 15% и 22,5%. Смесью обрабатывали в совместно вращающемся двухшнековом экструдере при следующих условиях: расход воды 10,08 л/ч, 12,2 л/ч, 14,3 л/ч; скорость шнека 300 об/мин; температура на выходе экструдера 120 °С; скорость подачи 70 кг/ч. Текстурные свойства определялись индикаторами качества экструдера: индекс прочности на разрыв и коэффициент расширения. Индекс прочности на разрыв имел наибольшее значение для образца с 22,5% концентрата сывороточного белка 22,5% и потреблением воды 14,3 л/ч. Образец с 7,5% концентратом сывороточного белка и 10,08 л/ч воды имел наибольший коэффициент расширения. Полученные результаты подтвердили качество всех тестируемых образцов. Результаты показали, что обогащенные экструдаты могут быть получены с концентратом сывороточного белка до 22,5%, получая продукт, обогащенный незаменимыми аминокислотами, недостающими в кукурузной муке.

Ключевые слова: текстура, кукурузная мука, сывороточные белки, экструзия.

Введение

Начало экструзии в пищевой промышленности относится к девятнадцатому веку, в процессе производства макарон (холодная экструзия). Правильное расширение использования экструдеров в пищевой промышленности произошло во второй половине двадцатого века с использованием одношнековых экструдеров при производстве различных продуктов [1].

Перерабатываемый продукт нагревается за счет превращения механической энергии в тепло, которое выделяется при преодолении внутреннего трения и пластической деформации продукта или за счет внешнего нагрева (политронный режим работы).

Двухшнековые экструдеры обладают лучшими свойствами, чем одношнековые экструдеры. Их больший угол передачи создает большие возможности обработки с большим количеством элементов. Усовершенствованная обработка сырья также происходит из-за равномерности сдвига через канал экструдера и улучшенного смешивания в канале улитки [2].

Мука пшеничная (10,33% белка), пшеничная мука (8,16% белка), кукурузная мука (9,42% белка), кукурузная дробилка (8,98% белка), ячменная мука (9,91% белка) Мука из белого риса (5,95% белка), обжаренная мука (9,39% белка), соевая мука (8,74% белка) являются наиболее широко используемым сырьем для экструдированных продуктов [3, 4].

Свойства эластичности исходного материала позволяют смеси конвертировать объем водяного пара для увеличения объема экструдированного материала при выходе из форсунки, что приводит к расширению сырья из-за внезапного падения давления и создания готового непосредственно расширенного продукта [5, 6].

Сывороточные белки являются побочным продуктом в производстве сыра и в настоящее время недостаточно используются в питании человека. Сывороточные белки считаются питательными наиболее ценными белками, так как они имеют аминокислотную композицию, близкую к биологическому оптимуму. На рынке существует несколько различных типов концентратов сывороточного белка, которые отличаются содержанием белка (от 34 до 80%).

Многочисленные исследования последних лет показали, что белки молочной сыворотки обладают биологической активностью. Эти биоактивные свойства отвечают определенным компонентам сывороточного белка (β -лактоглобулин, α -лактальбумин, иммуноглобулин, альбумин бычьей сыворотки, лактоферин, лактопероксидаза, биоактивные пептиды). Многочисленные исследования были проведены по положительным эффектам сывороточного белка в рационе людей, согласно которым подтверждены следующие биологически активные свойства: антиканцероген, антимикробный, снижение артериального давления, снижение аппетита, снижение уровня холестерина.

Использование сывороточного белка в некоторых типах продуктов оказывает положительное влияние на здоровье большого числа людей всех возрастов. Поскольку экструдаты содержат 6-10% белка, добавление сывороточного белка значительно улучшает питательную ценность экструдата. Кроме того, сывороточные белковые добавки также влияют на текстуру, вкус и цвет экструдата.

При обогащении экструдата сывороточным белком чаще используется двухшнековая экструзия, чем одношнековая. Двухшнековая экструзия может улучшить передачу механической энергии, что приведет к уменьшению отрицательного воздействия на текстурные свойства при добавлении больших количеств белка. Текстурные характеристики таких продуктов также могут быть улучшены путем оптимизации параметров процесса, которые относятся к потреблению воды и ее конфигурации и скорости отжима. В производстве экструдированных продуктов с повышенным содержанием белка, предпочтительно повышать температуру обработки в каждой секции экструдера, чтобы увеличить потребление воды, что приводит к лучшему расширению экструдата.

Добавление сывороточного белка значительно уменьшает расширение экструдированных продуктов. Было также обнаружено, что взаимодействие этих двух факторов влияет на диаметр экструдата и прочность экструдата, из которого определяется индекс разрыва экструдата.

Объекты и методы исследований

Для получения экструдата использовали кукурузную муку и смеси кукурузной муки с сывороточным белком (WPC).

Таблица 1 - Описание образцов экструдата

Образцы	Описание
1 К/С*	10,8 л/ч вода
2 К/С	12,2 л/ч вода
3 К/С	14,3 л/ч вода
1 WPC**	10,8 л/ч вода; 7,5% WPC
2 WPC	12,2 л/ч вода; 7,5% WPC
3 WPC	14,3 л/ч вода; 7,5% WPC
4 WPC	10,8 л/ч вода; 15% WPC
5 WPC	12,2 л/ч вода; 15% WPC
6 WPC	14,3 л/ч вода; 15% WPC
7 WPC	10,8 л/ч вода; 22,5% WPC
8 WPC	12,2 л/ч вода; 22,5% WPC
9 WPC	14,3 л/ч вода; 22,5% WPC

К/С* - Экструдаты для контроля из кукурузной муки
WPC** - Экструдаты с добавлением концентрата сывороточного белка

Экструзию проводили в ступенчатом двойном экструдере, при следующих условиях:

- Потребление воды 10,08 л/ч, 12,2 л/ч, 14,3 л/ч;
- Смесь 70 кг/ч
- скорость шнека 300 об/мин.
- температура на выходе из экструдера 120 °С
- диаметр сопла - 4 x 2 мм

Для экструзии смеси кукурузной муки и концентратов сывороточных белков готовили в следующих пропорциях:

- Контрольные образцы кукурузной муки
- 7,5% WPC и 92,5% кукурузной муки
- 15% WPC и 85% кукурузной муки
- 22,5% WPC и 77,5% кукурузной муки

Определение текстурных свойств.

Определение диаметра экструдата (de). Прямо расширенный экструдат разрезали, и диаметр измеряли с помощью измерителя смещения (в миллиметрах). Измерения производятся для каждого образца экструдатов 3 раза и вычисляется среднее значение. Измерения производятся для десяти образцов экструдатов, полученных при тех же производственных условиях, и вычисляется их среднее значение.

Определение коэффициента расширения (EO). Коэффициент расширения представляет собой величину диаметра экструдата, деленную на диаметр сопла (ds) экструдера (2 мм). Образцы берутся отдельно от каждого сопла и выполняются измерения. Отклонения от каждого сопла не должны превышать 10% от других сопел.

Определение эквивалентной массы экструзии (EWE). Эквивалентную массу экструдата определяли для десяти экструдатов каждого образца. Десять экструдатов каждого образца, предварительно определяемых диаметром (de) и коэффициентом расширения (EO), сбрасываются в аналитическом масштабе. Значение выражается как значение измерения, т. е. массовая сумма всех десяти добавок и выражается в граммах.

Для определения текстурно-механических свойств использовался метод «Изгиб». Этот метод используется для материалов, которые обладают открытыми свойствами разрушения. Образец помещается на нижние лезвия так, чтобы концы были так же далеки от основания основы анализатора текстуры. Таким образом, верхний нож загружает точно посередине, что не обязательно означает, что образец будет трескаться. Этот метод имитирует укус во рту.

Статистический анализ. Экспериментальные данные были проанализированы с использованием программного пакета STATISTICA 10.

Результаты и их обсуждение

Смесь подвергается экстремальным условиям обработки за очень короткий промежуток времени и при высоких температурах. Температура расширения 120 °С, скорость 300 об/мин. и вход 70 кг/ч

был постоянным для всех образцов. Вход WPC и потребление воды изменялись. Экструдаты получали по формулам, показанным в таблице 1.

Независимо от высокой температуры расширения 120 °С и большой контактной поверхности частиц муки кукурузы, которая была после посева и размером частиц (200-450 мкм), все образцы были успешно экструдированы.

В таблице 2 приведены результаты для трех контрольных образцов, экструдированных только как экструдат с непосредственным расширением кукурузы без добавления WPC, с другим водозабором. Они показаны в таблице 2 как образцы 1К-3К. Очевидно, что во всех трех образцах имеется большой диаметр экструдата, так как нет единого образца, к которому добавляются белки. Измерения для каждого образца экструдата производятся три раза, потому что разрезанный образец не имеет форму идеального круга. Наибольший диаметр составлял 1 К (13,22 мм) с коэффициентом расширения 6,61 мм, который является показателем однородности и точности сопла экструдера, а также хорошо налаженные условия для производства двухкомпонентного высокоскоростного экструдера и эквивалентного веса экструдата 0,38 г. Причиной этого являются условия процесса, так как этот экструдат получают при минимальном потреблении воды в экструдере 10.08 л/ч. В таких экстремальных условиях, когда торсионный экструдер достигает предельных значений, большая часть вводимой воды должным образом распределяется по смеси и сразу же испаряется после расширения. Вода, оставшаяся

в таком экструдате, распределена по всей поверхности экструдата надлежащим образом, создавая надлежащую сетчатую структуру. Этот продукт также показывает лучшее качество текстуры по сравнению с двумя другими экструдерами без добавления WPC. Механические свойства экструдата 1К-3К также показаны в таблице 2.

Основываясь на этих двух свойствах, которые фактически показывают, что происходит во время потребления пищи во рту, рассчитывается BSI. Также важно изучить, какой метод наиболее подходит для этой модели, потому что то, что происходит во рту с механическими движениями, необходимо адаптировать к анализатору текстуры.

Метод «Изгиб» лучше всего определяет укус, возможный изгиб и поломку пищи (для этого типа продукта). После измеренной прочности образцов, соответствующих значению, указывающему на необратимый коллапс структуры образца (истинный разрыв), рассчитываются значения BSI, представляющие сопротивление образца силе, с которой загружаются образцы.

Самый низкий BSI (таблица 2) имел образец 1К и составлял 0,294 Н/мм, а самый большой образец BSI 3К и составлял 0,399 Н/мм. Эти значения понятны, поскольку образец 1К имел наименьшее потребление воды, а образец 3К был самым высоким потреблением воды. Разница сохраненной воды в образце 3К, увеличивает ее прочность и, следовательно, значение BSI.

Экструзия с добавлением сывороточного белка (WPC).

Таблица 2 - Текстульные свойства экструдата с прямым расширением чистой кукурузы

Образец	de (мм)	EWE** (г)	BSI*** (Н/мм)
1 К/С	13,22	0,38	0,294
2 К/С	12,65	0,4	0,326
3 К/С	12,09	0,44	0,399

de* - Диаметр экструдата

EWE** - Эквивалентный вес экструдата

BSI*** - Прочность на разрыв экструдатов в режиме изгиба

Таблица 3 - Текстульные свойства расширенных экструдатов кукурузы с добавлением WPC

Образец	de (мм)	EWE** (г)	BSI*** (Н/мм)
1 WPC	11,58	0,65	0,438
2 WPC	9,71	0,61	1,167
3 WPC	7,66	0,53	3,003
4 WPC	9,26	0,62	2,663
5 WPC	7,71	0,53	2,779
6 WPC	6,87	0,49	3,062
7 WPC	9,09	0,69	2,428
8 WPC	7,72	0,58	3,369
9 WPC	7,04	0,52	4,498

de* - Диаметр экструдата

EWE** - Эквивалентный вес экструдата

BSI*** - Прочность на разрыв экструдатов в режиме изгиба

Экструзию с добавлением WPC проводили с тремя объемами воды, а также тремя контрольными образцами только с кукурузной мукой и тремя различными концентрациями WPC (таблица 1). Образцы обозначены как 1 WPC - 9 WPC, а их свойства показаны в таблицах. Образец 4 WPC показал лучшие свойства при рассмотрении количества добавленных свойств белка, прочности и текстуры.

Некоторые экструдаты расширялись сильнее, а некоторые слабее. Большое количество белка и максимальная дозировка воды с высокой скоростью вращения создают экструдаты с небольшим расширением и неблагоприятными текстурными свойствами. По мнению некоторых авторов, экструзия WPC может быть выполнена при различных параметрах процесса с максимальным добавлением WPC 25-30%.

В таблице 3 показаны все значения текстурных свойств, и видно (если сравнивать только экструдаты с добавлением WPC), как они растут, поэтому ЕО падает.

Увеличение потребления воды существенно повлияло на уменьшение диаметра экструдата, но также и на другие текстурные значения. В таблице 3 показано, как эти свойства изменяются в зависимости от параметров процесса. Из-за увеличения концентрации белка (сравнение 1 WPC и 4 WPC) можно наблюдать такое же потребление воды так как диаметр экструдера, ЕО и EWE уменьшается, чтобы увеличить BSI. Причиной этого является повышенная концентрация вводимого белка, который при тех же условиях производства вызывает упрочнение стенки образца. Здесь не было полной денатурации белка, и оно остается в качестве строительного элемента в экструдате. Если мы сравним этот образец 7 WPC с уже ограниченным потреблением белка (22,5%) для этой температуры расширения, экспериментальные данные показывают (Таблица 3), что увеличение потребления белка приводит к созданию более надежного образца, где BSI составляет 2428 Н/мм, а EWE 0,69 г.

Когда WPC вводят в непосредственно расширенный экструдат кукурузы, аналогичные изменения также происходят. Ниоим образом не было обнаружено, чтобы можно было экструдировать белок путем экструзии, не влияя на увеличение прочности экструзии, что, является нежелательным для текстуры.

Примерами, которыми это подтверждается, являются образцы 6 WPC и 9 WPC. В этих образцах значения BSI очень велики. Это связано с высоким потреблением воды 14, 28 л/ч для обоих образцов и 15% (6 WPC) и 22,5% (9 WPC) для приема WPC. В этих образцах после экструзии наблюдалось неравномерное распределение воды и белков, так что образцы имели малые диаметры. Поскольку в таких случаях не может быть надлежащей сшитой структуры кукурузной муки, воды и белка, все результаты измерения прочности должны были визуальнo контролироваться во время измерений на анализа-

торе текстуры. Капли воды и белка в некоторых из вышеупомянутых экструдеров создавали твердые утечки, и для некоторых измерений анализатора текстуры (параллельно) результаты не были репрезентативными.

Сравнение всех образцов с добавлением концентрата сывороточного белка (1 WPC-9 WPC) с образцами непосредственно расширенных экструдатов без добавления сывороточного белка (1К-3К) в таблицах 2 и 3, наблюдаются определенные тенденции в текстурных свойствах. Видно, что в образцах 1К-3К диаметр значительно больше, чем в образцах сывороточного белка. В частности, это относится к сравнению образца 3К с образцами 3 WPC, 6 WPC и 9 WPC. Все эти образцы имеют равное потребление воды 14,3 л/ч. Диаметр образца 3К составлял 12,09 мм; образец 3 WPC 7,66 мм; образец 6 WPC 6,87 мм и образец 9 WPC 7,04 мм. Коэффициент расширения экструдата показывает тенденцию к уменьшению стоимости. Чем больше воды и белка (9 WPC-образец), тем больше падает ЕО. Снижение значений ЕО определяется как нежелательный результат, но необходима дополнительная добавка белка WPC. На рисунке 5 показана тенденция падения ЕО. Образец 4 WPC (10,08 л / ч воды и 15% WPC) показывает наибольшее значение для ЕО для экструдеров с добавлением 15% WPC. И значение BSI для образцов с добавлением 15% WPC является лучшим для экструдата 4 WPC (2,663 Н / мм).

Выводы

Можно сделать вывод, что концентрат сывороточного белка с четко определенными параметрами процесса экструзии значительно увеличивает ценность полученного продукта - экструдатов. В результате добавления сывороточного белка изменяются текстурные свойства экструдата. Изменения в диаметре, коэффициент расширения и особенно значительное увеличение прочности экструзии не могут быть устранены основным расширенным экструдатом без добавления сывороточного белка. Но белковая добавка в кукурузной муке значительно увеличивает питательную ценность обогащенного экструдата. Увеличивая использование белка и воды, масса экструдатов увеличивается, что выражается увеличением эквивалентных весовых значений. Как правило, можно сделать вывод, что увеличение содержания сывороточного белка в исходном сырье для экструдата (кукурузная мука) увеличивает прочность экструдата. Самые высокие значения прочности, показанные через значение индекса внеклеточного разлома, были для образцов с самым высоким потреблением воды и белка. Наиболее приемлемые, с учетом полученных текстурных результатов, показал экструдат, полученный в результате добавления 15% концентрата сывороточного белка и 10,8 л/ч воды.

Список литературы

- [1] Onwulata, C. I., Smith, P. W., Konstance, R. P., Holsinger, V. H. (2001): Co-Extrusion Of Dietary Fiber And Milk Proteins In Expanded Corn Products. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Tehnologie*, 34(7), 424-429.
- [2] O'Connell, R (2003): Shake-Down For A Better Results In Fine Powders. *Technical Trends*, 4, 82-85.
- [3] Курочкин А.А., Фролов Д.И., Воронина П.К. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 172–177.
- [4] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 29–34.
- [5] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 3 (42). С. 104–111.
- [6] Способ производства хлебобулочных изделий : пат. 2579488 Российская Федерация : МПК А 21 D 8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шмагкова ; 2014146596/13 ; заявл. 19.11.2014 ; опубл. 10.4.2016, Бюл. №10. 8 с.

TEXTURE PROPERTIES OF EXTRUDATES FROM A MIXTURE OF CORNMEAL AND WHEY PROTEIN

Frolov D.I.

Texture is an important property of enriched extruded products and depends on the conditions of the extrusion process, the properties of the raw materials and the properties of the various ingredients. The main purpose of this study was the use of twin-screw extrusion to produce an extrudate based on mixtures of cornmeal and whey protein concentrate with acceptable texture properties. Three different mixtures of cornmeal and whey protein concentrate were prepared. The share of whey protein concentrate in the mixture was 7.5%, 15% and 22.5%. The mixtures were treated in a co-rotating twin-screw extruder under the following conditions: water flow rate 10.08 l / h, 12.2 l / h, 14.3 l / h; the screw speed is 300 rpm; temperature at the exit of the extruder 120 ° C; feed rate 70 kg / h. The texture properties were determined by the extruder quality indicators: the tensile strength index and the expansion coefficient. The tensile strength index was greatest for the sample with 22.5% whey protein concentrate 22.5% and water consumption 14.3 l / h. A sample with 7.5% whey protein concentrate and 10.08 l / h water had the largest expansion coefficient. The obtained results confirmed the quality of all tested samples. The results showed that enriched extrudates can be obtained with a whey protein concentrate to 22.5% to produce a product enriched with essential amino acids lacking in cornmeal.

Keywords: *texture, corn flour, whey proteins, extrusion.*

References

- [1] Onwulata, C. I., Smith, P. W., Konstance, R. P., Holsinger, V. H. (2001): Co-Extrusion Of Dietary Fiber And Milk Proteins In Expanded Corn Products. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Tehnologie*, 34(7), 424-429.
- [2] O'Connell, R (2003): Shake-Down For A Better Results In Fine Powders. *Technical Trends*, 4, 82-85.
- [3] Kurochkin A.A., Frolov D.I., Voronina P.K. Opredelenie osnovnykh parametrov vakuumnoi kamery modernizirovannogo ekstrudera // Vestnik Ul'yansovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. № 4 (32). P. 172–177.
- [4] Teoreticheskoe opisanie protsesssa vzryvnogo ispareniya vody v ekstrudere s vakuumnoi kameroy / D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina // Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya. 2015. № 1 (02). P. 29–34.
- [5] Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym sodержaniem lipidov i pishchevykh volokon / A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2016. № 3 (42). P. 104–111.
- [6] Sposob proizvodstva khlebobulochnykh izdelii : pat. 2579488 Rossiiskaya Federatsiya : MPK A 21 D 8/02 / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova ; 2014146596/13 ; zayavl. 19.11.2014 ; opubl. 10.4.2016, Byul. №10. 8 p.