

ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА В КАМЕРЕ ЭКСТРУДЕРА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО СЫРЬЯ

Иванов Виктор Витальевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

e-mail: ivanov.v.v@li.ru

Шариков Антон Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

e-mail: anton.sharikov@gmail.com

Амелякина Мария Валентиновна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

e-mail: masha.am@mail.ru

Поливановская Дарья Викторовна, младший научный сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, Россия

e-mail: DashPol@mail.ru

Аннотация. В работе показано, что использование термостабильных амилолитических ферментов позволяет осуществлять гидролиз крахмала непосредственно в камере экструдера при температурах 100-120°C и низком влагосодержании 20-36% с сохранением остаточной амилолитической активности. Проведение последующей инкубации в оптимальных условиях действия ФП позволяет получать экструдаты с декстрозным эквивалентом до 18. Разработанный способ биокатализа крахмала позволяет исключить из технологического процесса энергозатратные стадии разваривания, водно-тепловой обработки, упаривания в емкостных реакторах в периодическом режиме, распылительной сушки.

Ключевые слова: экструзия, крахмал, реактор, гидротермомеханические режимы, разваривание, фермент, биокатализ

ENZYMATIC HYDROLYSIS OF STARCH IN THE EXTRUDER CHAMBER UNDER LOW MOISTURE CONTENT OF THE PROCESSED MATERIAL

Ivanov Viktor Vitalievich, candidate of technical sciences, leading researcher, department of food production equipment and membrane technologies

VNIIPBT - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

e-mail: ivanov.v.v@li.ru

Sharikov Anton Yurievich, candidate of technical sciences, head of the department of food production equipment and membrane technologies

VNIIPBT - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

e-mail: anton.sharikov@gmail.com

Amelyakina Maria Valentinovna, candidate of technical sciences, senior researcher, department of food production equipment and membrane technologies

VNIIPBT - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

e-mail: masha.am@mail.ru

Polivanovskaya Daria Viktorovna, junior researcher, department of food production equipment and membrane technologies

VNIIPBT - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

e-mail: DashPol@mail.ru

Abstract. The current investigation shows that the use of thermostable amylolytic enzymes makes it possible to hydrolyze starch directly in the extruder chamber at low moisture content of 20-40%. Hydrolyzed starch extrudates have residual amylolytic activity. Extrudates with a dextrose equivalent of up to 18 were obtained after subsequent incubation under optimal conditions for the enzyme action. The developed method

of starch biocatalysis makes it possible to exclude from the technological process the energy-consuming stages of liquefaction, water-heat treatment, evaporation, and spray drying.

Key words: extrusion, starch, reactor, hydrothermomechanical regimes, liquefaction, enzyme, biocatalysis

Перспективы развития технологий и системы оборудования для получения продуктов гидролиза крахмала методом биокатализа связаны с повышением концентрации перерабатываемых сред и адаптации эффективных процессов для подготовки сырья к гидролизу [1,3]. Повышение концентрации субстрата при ферментации крахмалсодержащих субстратов имеет ряд технологических недостатков. Увеличение концентрации продуктов гидролиза может ингибировать скорость биокаталитических реакций, ухудшаются массоперенос, реология жидких сред и, соответственно, возможности перемешивания и перекачивания гидролизатов [2,3].

Актуальность исследования обусловлена тем, что принятые в промышленности способы модификации и биокатализа крахмала предполагают проведение процесса в условиях высокого содержания влаги (от 65% и выше) и высокой длительности, что требует использования большого количества емкостного оборудования и высоких тепло- и энергозатрат на поддержание требуемых тепловых и массообменных условий осуществления процесса. Экструзия, объединяющая в себе несколько технологических операций (перемешивание, термо-, баро-, влагообработка, формование), позволяет использовать экструдер как стадию предподготовки сырья без низкоконцентрированного разваривания или как универсальный биокаталитический реактор, заменяя тем самым большое количество оборудования и значительно упрощая технологическую схему переработки сырья [4,5]. Целью работы было исследование влияния режимов экструзии и дозировки термостабильной α -амилазы на эффективность ферментативного гидролиза крахмала в экструдере.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлся кукурузный крахмал по ГОСТ 32159-2013 «Крахмал кукурузный» влажностью 12% и гидролизаты экструдированного кукурузного крахмала.

Исследование осуществлялось с использованием экструзионного биокаталитического реактора на основе двухшнекового экструдера Werner&Pleiderer Continua 37 с диаметром шнеков 37 мм, удельной длиной шнеков 27, через матрицу с отверстиями 2×8 мм. В процессе экспериментальных работ варьировали режимные параметры: температуру, скорость вращения шнеков и общее влагосодержание перерабатываемого материала. Схема устройства для проведения процесса представлена на рисунке 1.

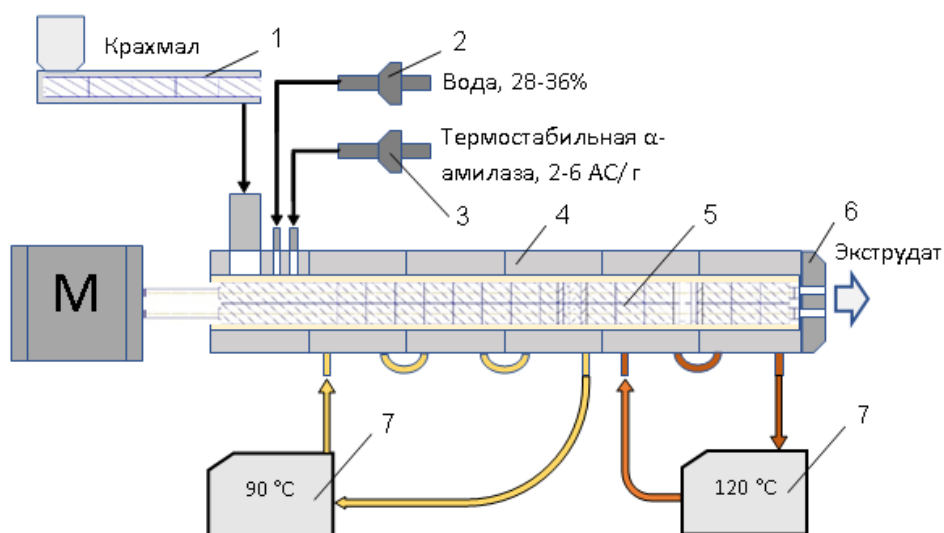


Рисунок 1 Экструзионный биокаталитический реактор

1-дозатор крахмала; 2-дозатор воды; 3-дозатор термостабильной α -амилазы; 4-камера экструдера; 5-шнеки экструдера; 6-фильтра матрицы, 7 -масляные нагревательные станции

В качестве биокатализатора использовался ферментный препарат (ФП) термостабильной α -амилазы Неозим АА 180. Активность ФП определяли в соответствии с ГОСТ Р 54330-2011 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилазной

активности». Метод постоянного титра Лейна и Эйнара» использовали для определения декстрозного эквивалента (ДЭ) продуктов гидролиза. Содержание влаги в сырье, экструдатах и гидролизатах определяли термографическим методом с использованием анализатора влажности ML-50 (A&D, Япония

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли методами дисперсионного анализа, расчет коэффициентов модели, анализ значимости коэффициентов модели по критерию Стьюдента и адекватность модели по критерию Фишера при уровне значимости $p < 0,05$ выполнены с использованием пакетов программ Scilab 6.1.0, Statistica 6.0.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1, представлены режимные параметры проведения экструзии в диапазоне 112-130 °С. На всех уровнях дозировки ФП увеличение влагосодержания вызывало снижение температуры экструдирования, также существенно снижалось значение момента сдвига, определяющего энергетические затраты на процесс. При этом увеличение дозировки ФП обеспечивало дополнительное уменьшение энергозатрат. Экструзия крахмала при влагосодержании 36% показала удельные энергозатраты 0,38-0,52 кВт·час/кг. Минимальное значение энергозатрат соответствовало дозировке α -амилазы 6 ед.АС/г крахмала. Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что изменение обоих факторов значимо влияет на удельный расход электроэнергии, но в заданном факторном пространстве варьирования влагосодержанием 20-36% и дозировкой ФП 2-6 ед.АС/г крахмала, большое влияние оказывает изменение подачи воды, т.е увеличение ее количества в реакторе.

Таблица 1 - Режимные параметры экструдирования

Влаго-содержание	Дозировка α -амилазы	Скорость вращения шнеков	Температура	Момент	Удельный расход электроэнергии
%	ед. АС/ г СВ	об/мин	°С	%	кВт·час/кг
20	0	150	120	63	0,149
20	2	150	130	62	0,147
28	2	150	126	45	0,107
36	2	150	120	22	0,052
20	4	150	118	64	0,152
28	4	150	118	42	0,100
36	4	150	112	22	0,052
20	6	150	122	62	0,147
28	6	150	118	38	0,090
36	6	150	116	16	0,038

На рисунке 2 представлены данные по значениям ДЭ, соответствующие различным комбинациям управляющих факторов процесса. Установлено, что значимыми являются оба фактора, но влияние изменения дозировки ФП оказывает большее влияние на образование редуцирующих сахаров. При дозировке 6 ед.АС/г крахмала различие значений ДЭ образцов, проэкструдированных при разном влагосодержании, статистически не достоверно. При данной дозировке уровень ДЭ находится в диапазоне 12,6 – 13,6. При дозировке α -амилазы 2 и 4 ед. АС/ г крахмала фактор влагосодержания также становится значимым, его увеличение существенно повышает ДЭ экструдатов. Т.е. при более высоком влагосодержании нет необходимости увеличивать дозировку ФП для достижения аналогичной степени гидролиза крахмала.

Анализ остаточной ферментативной активности термостабильной α -амилазы в экструдатах с целью определения возможности дальнейшей постэкструзионной выдержки в оптимальных для действия ФП условиях определяли в образцах с влажностью 28 и 36%. Активность амилазы в образцах, проэкструдированных с дозировкой 2 ед. АС/г крахмала находилась в диапазоне 0,2-0,3 ед. АС, для 4 ед. – 0,33-0,44; для 6 ед. – 0,5-0,55, соответственно. Таким образом экструдирование при температуре 112-126 °С не вызывает полной инактивации ФП.

Проведены исследования по инкубации экструдатов после экструдера в герметичной емкости при рекомендуемой температуре действия ФП для более глубокого гидролиза крахмала. Согласно результатам, представленным на рисунке 2, после выдержки экструдатов в течение 4 часов ДЭ образцов заметно увеличивается для всех вариантов экструдатов, кроме образца, полученного при 20% влажности и 2 ед. АС. Отмечено, что при большей дозировке фермента даже при 20% влажности ДЭ экструдатов увеличивается до 14. Максимальные значения ДЭ достигали 18 при 36% влаги и 4-6 ед. АС. Дополнительно проведенная инкубация гидролизата крахмала дает возможность использовать остаточную активность ФП после экструзии приводящую к увеличению ДЭ на 20-25%.

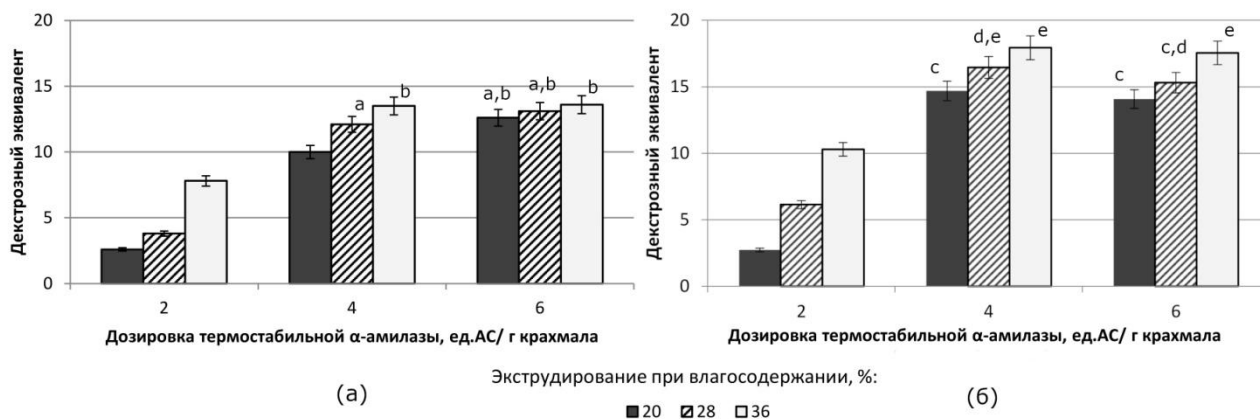


Рисунок 2 – Влияние дозировки α -амилазы и влагосодержания в камере экструдера на значение декстрозного эквивалента после экструзии (а) и после 4 часов инкубации при температуре 95 °С *различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при $p < 0,05$

Заключение

Результаты исследования показали, что термопластическая экструзия является эффективным способом термомеханической модификации крахмала.

В результате проведенных исследований установлено, что при экструдировании кукурузного крахмала совместно с термостабильной α -амилазой и последующей инкубацией действия остаточного ферментного препарата возможно получение экструдатов с декстрозным эквивалентом до 18. Полученные результаты показывают перспективность разработки одностадийных технологий гидролиза крахмала на основе совмещения процесса экструзии и биокатализа, исключая принятые стадии разваривания крахмала, разжижения амилитическими ферментами, охлаждения, выпаривания и сушки.

На основании результатов проведенных исследований разработана комбинированная технология переработки крахмала с совмещением процессов термопластической экструзии и биокатализа в камере экструдера в условиях низковлажной среды (20-36%).

Исследования проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (Тема № 0410-2022-0006).

Список литературы

1. Chmielewska J. Ethanol fermentation of maize mashes /J. Chmielewska [и др.] // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2007. 57, 4, С. 85-89.
2. Peralta-Contreras M. Ethanol production from extruded thermoplastic maize meal by high gravity fermentation with *Zymomonas mobilis* /M. Peralta-Contreras [и др.]// Biotechnology Research International. 2014. 2014, 8 С.
3. Шариков А.Ю. Влияние режимов экструзионной обработки зернового сырья на эффективность биотехнологических процессов в перерабатывающих отраслях АПК / А.Ю. Шариков [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. 5, С. 18-21
4. Шариков А.Ю., Степанов В.И., Иванов В.В. Термопластическая экструзия в процессах пищевой биотехнологии // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019;9(3). С.447-460.<https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>

5. Шариков А. Ю., Амеякина М. В. Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. №6. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22>.