

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ДОЗИРОВКИ ГЛЮКОАМИЛАЗЫ И ВРЕМЕНИ ГИДРОЛИЗА НА ДЕКТРОЗНЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ГЛЮКОЗНЫХ СИРОПОВ ЭКСТРУДИРОВАННОГО КРАХМАЛА

М.В. Амелякина, В.В. Иванов, А.Ю. Шариков

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Россия

Альтернативой традиционной технологии сахаристых продуктов из крахмала, основанной на многостадийных процессах водно-тепловой и ферментативной обработки, является использование термопластической экструзии с интегрированной в нее системой биокатализа. В рамках развития технологии проведено исследование влияния факторов гидролиза на декстрозный эквивалент получаемых сахаристых продуктов и их реологические свойства. Важным аспектом исследования является изучение процесса гидролиза в условиях высокой концентрации среды – 50 % сухих веществ. Принцип переработки высококонцентрированных сред в биотехнологии имеет технико-экономические предпосылки, способствует снижению потребления тепло- и энергоресурсов, повышает эффективность использования емкостного оборудования. На основании проведенных в исследовании экспериментальных работ получены математические модели зависимости декстрозного эквивалента и динамической вязкости гидролизатов от дозировки осаживающего фермента глюкоамилазы и времени обработки. Анализ полученных моделей показал равнозначность влияния обоих факторов на изучаемые выходные параметры. Максимальное значение декстрозного эквивалента в опыте составило 95, соответствующее дозировке глюкоамилазы 12 ед.ГлС/ г крахмала и 8 часам инкубирования. Варьирование дозировки глюкоамилазы от 6 до 12 ед. ГлС/ г крахмала и времени гидролиза от 4 до 8 часов позволяет получать продукты с декстрозным эквивалентом в диапазоне от 38 до 95. Отмечено значимое снижение динамической вязкости гидролизатов после 4 часов гидролиза до 0,18–0,26 Па·с относительно начальных значений 2,5–2,6 Па·с. Полученные модели изменения степени гидролиза и реологии гидролизатов могут использоваться для оценки и варьирования входных факторов при получении сиропов из экструдированного крахмала с заданным значением декстрозного эквивалента.

Ключевые слова: экструзия, крахмал, декстрозный эквивалент, фермент, глюкоамилаза, глюкозный сироп, динамическая вязкость, гидролиз, биокатализ, высокая концентрация.

Введение

Глюкозные сиропы являются востребованным продуктом крупнотоннажного пищевого биотехнологического производства. Значительным является не только их использование в качестве подслащивающих веществ в индустрии безалкогольных напитков или как функциональных технологических ингредиентов в других отраслях пищевой промышленности. Глюкозные сиропы также являются распространенными субстратами для дальнейшего биокатализа ферментными препаратами, как в случае производства глюкозно-фруктозных сиропов, и биоконверсии с использованием микроорганизмов в биотехнологиях получения аминокислот, витаминов,

пищевых кислот и красителей и других продуктов высокой добавленной стоимости [1, 2].

Промышленные технологии получения глюкозных сиропов предполагают два способа конверсии крахмала: кислотно-ферментативный и двойной ферментативный [3]. При этом биотехнологический способ с использованием ферментных препаратов [4] включает стадию разваривания крахмала в разварнике струйного типа, где в тонком слое происходит смешение крахмальной суспензии с потоком греющего пара при температуре 105–110 °С, стадию разжижения среды термостабильной α -амилазой для снижения вязкости и начала биокатализа, а также стадию осахаривания с применением фермента глю-

коамилазы. Таким образом, как и большинство биотехнологий, использующих крахмалосодержащее сырье, технология глюкозных сиропов является многооперационной, предусматривающей стадии водно-тепловой обработки в разных температурных диапазонах, что требует не только энергозатрат на нагрев водно-крахмальных суспензий, но и необходимость включения в производственные линии испарителей для оперативного охлаждения клейстеризованного крахмала и разжиженного субстрата.

Исследователями предлагается ряд инноваций для оптимизации технологических процессов и снижения энергозатрат. Например, использование дезинтеграторов позволяет произвести предварительную механохимическую активацию крахмала, что потенциально способствует снижению температуры гидролиза и снижению потребности в ферментных препаратах [5]. Степановым с коллегами предложен альтернативный тренд развития технологии биокатализа крахмалсодержащего сырья – использование экструзии гидротермомеханической клейстеризации и частичной декстринизации крахмала с последующим гидролизом, что особенно важно, в условиях повышенных концентраций субстрата [6, 7]. Такое комплексное решение позволяет исключить пики роста динамической вязкости, нет необходимости нагревать и охлаждать большие объемы воды, так как клейстеризация крахмала при экструзии происходит при влагосодержании 15–25 %. Фактор высокой концентрации также позволяет снизить потребности в воде и энергоресурсах на ее нагрев, увеличить удельную производственную мощность технологического и емкостного оборудования при биоконверсии как крахмалсодержащего [8], так и лигносодержащего сырья [9]. Исследованиями [10] установлено, что повышение содержания сухих веществ в технологии стандартной водно-тепловой обработки крахмала с последующим разжижением затрудняло клейстеризацию крахмала, приводило к сохранению кристалличности крахмала и снижению значения декстрозного эквивалента. При этом увеличение концентрации крахмала с 30 до 45 % вызывало лишь небольшое снижение значения ДЭ гидролизата. Превышение концентрации крахмала выше 45 % осложняло деструкцию кристаллической структуры крахмала в процессе влаготермической обработки и разжижения, ката-

лизируемого термостабильной α -амилазой. Поэтому рядом исследователей для перехода к переработке высоких концентраций субстрата в качестве замены принятых промышленностью процессов водно-тепловой обработки крахмалсодержащего сырья для последующей биоконверсии предлагаются различные варианты интеграции экструзии в технологию. К недостаткам таких предложений можно отнести значительное усложнение конструкции экструдера [8] или дополнительное введение в технологическую линию сети пост-экструзионных статических миксеров [11].

Целью настоящего исследования в рамках развития комплексной технологии совмещения процессов экструзии и биокатализа в аспекте получения глюкозных сиропов являлось изучение влияния дозировки осахаривающего фермента глюкоамилазы и времени гидролиза на декстрозный эквивалент продуктов биокатализа экструдированного крахмала. При этом концентрация гидролизуемой среды составляла 50 %, что значительно выше традиционных значений 30–35 %, принятых в промышленности.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись гидролизаты экструдированного кукурузного крахмала, соответствующего ГОСТ 32159-2013.

В работе использовались ферментные препараты (ФП): бактериальная α -амилаза с активностью 3500 ед. АС/см³ и глюкоамилаза активностью 13500 ед. ГлС/см³. Активность ферментов определяли в соответствии с ГОСТ Р 54330-2011 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности».

Содержание влаги в сырье, экструдате и гидролизатах мальтодекстрина измеряли на анализаторе влажности ML-50 (A&D, Япония) термографическим методом. ГОСТ Р 50549-93 «Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнара» использовали для определения декстрозного эквивалента (ДЭ) продуктов гидролиза.

Измерение динамической вязкости проводили методом вибрационной вискозиметрии с использованием вискозиметра SV-10 (A&D, Япония) при 60 °С.

Крахмал экструдировали на модернизированном двухшнековом экструдере Wer-

ner&Pleiderer Continia-37M с диаметром шнеков 37 мм и соотношением длины к диаметру 27:1. Скорость вращения шнеков была установлена 250 об/мин, температура экструзии 180–190 °С, давление 2,6–2,8 МПа. Суммарное влагосодержание 15 %, включающее естественную влажность крахмала и добавленную воду, поддерживали путем дозирования воды в камеру экструдера.

Водно-тепловую и ферментативную обработку экструдатов осуществляли в термостатированной емкости, оснащенной перемешивающим устройством при следующих условиях: температура 60 °С, скорость перемешивания 200 об/мин, при естественном рН водной суспензии.

Концентрация среды была фиксированной и составляла 50 % сухих веществ. Дозировка α -амилазы для всех опытов была 4 ед.АС / г крахмала, дозировка глюкоамилазы изменялась в соответствии с планом эксперимента.

Метод ортогонального композиционного планирования эксперимента был положен в основу проведения исследования. Входными факторами эксперимента являлись продолжительность гидролиза и дозировка глюкоамилазы. Уровни варьирования входными параметрами показаны в табл. 1.

Таблица 1
Уровни варьирования входных факторов

Кодированные значения	Реальные значения	
	Время гидролиза	Дозировка глюкоамилазы
	час	ед.ГлС/ г СВ
– α	4	6
–1	4	6
0	6	9
+1	8	12
+ α	8	12

Выходными параметрами являлись декстрозный эквивалент сиропов и их динамическая вязкость. Реализация ортогонального композиционного плана позволила описать зависимость декстрозного эквивалента и динамической вязкости от управляющих факторов в виде полиномов второго порядка вида:

$$Y = b_0 + b_1 \times Gl + b_2 \times t + b_3 \times Gl \times t + b_4 \times Gl^2 + b_5 \times t^2, \quad (1)$$

где b_i – коэффициенты модели (свободный, линейные, взаимодействия и квадратичные),

Gl – дозировка глюкоамилазы, t – время гидролиза.

Эксперименты проводились в двукратной повторности. Статистическая обработка экспериментальных данных методами дисперсионного анализа, расчет коэффициентов модели, анализ значимости коэффициентов модели по критерию Стьюдента и адекватность модели по критерию Фишера при уровне значимости $p < 0,05$ [12] выполнены с использованием пакета программ Scilab 6.1.0 (Scilab Enterprises, Франция).

Результаты и их обсуждение

В результате проведения серии экспериментальных работ в соответствии ортогонального композиционного плана по табл. 1 и математической обработки полученных данных рассчитаны коэффициенты полинома второго порядка (1) для кодированных факторов, представленные в табл. 2. Анализ значимости коэффициентов по критерию Стьюдента показал, что для модели изменения декстрозного эквивалента статистически незначимыми при $p < 0,05$ являлись коэффициенты при квадратичных членах b_4 и b_5 , а для модели изменения динамической вязкости еще и коэффициент взаимодействия факторов b_3 .

После перевода из кодированных к реальным значениям факторов получены математические модели, описывающие изменение декстрозного эквивалента DE и динамической вязкости гидролизатов η для области варьирования факторов – дозировки глюкоамилазы от 6 до 12 ед. ГлС/ г крахмала и времени гидролиза от 4 до 8 часов:

$$DE = 11,4 + 0,78 \times Gl + 1,13 \times t + 0,7 \times Gl \times t, \quad (2)$$

$$\eta = 0,415 - 0,012 \times Gl - 0,018 \times t, \quad (3)$$

где DE – декстрозный эквивалент; η – динамическая вязкость, Па·с; Gl – дозировка глюкоамилазы, ед. ГлС/ г крахмала; t – время гидролиза, ч.

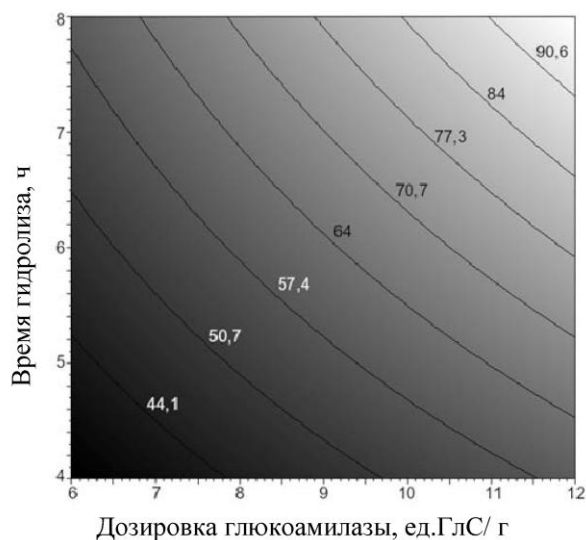
Графическая интерпретация моделей в виде линий равного уровня показана на рисунке. Анализ результатов эксперимента, полученных моделей и их графической интерпретации показывают, что оба фактора равнозначно влияют на изучаемые выходные параметры, при этом возможно получение продуктов с ДЭ в широком диапазоне значений. Дозировка глюкоамилазы 6–9 ед. ГлС/г крахмала в течение 4–6 часов гидролиза обеспечивает получение гидролизатов с ДЭ до 50. Превышение этих уровней обеспечивает более вы-

Таблица 2

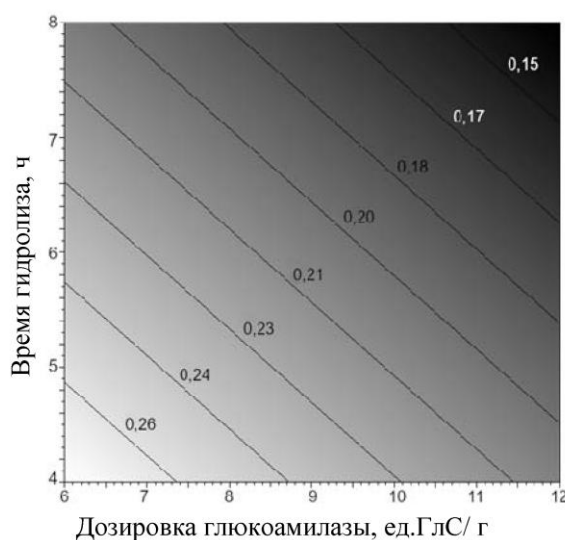
Коэффициенты квадратичного уравнения для кодированных значений

Выходные параметры	Обозначение	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
Декстрозный эквивалент	DE	63,1	15,0	14,9	4,2	0,5*	0,16*
Динамическая вязкость	H	0,203	0,035	0,036	0,006*	0,015*	0,00018*

* Коэффициенты модели, незначимые при $p < 0,05$.



а)



б)

Влияния дозировки глюкоамилазы и времени гидролиза на декстрозный эквивалент гидролизатов (а) и динамическую вязкость гидролизатов (б)

сокий ДЭ, максимальное значение которого отмечено при максимальных времени гидролиза и дозировки ФП и составляет 95. Максимальная дозировка глюкоамилазы 12 ед. ГЛС/г крахмала уже за 4 часа биокатализа позволила получить продукт с ДЭ более 57. Полученная модель изменения ДЭ может использоваться для оценки и варьирования входных факторов для получения сиропов с заданным значением ДЭ. Если оценивать реологическое состояние всех образцов, то относительно начальной динамической вязкости в первые минуты гидролиза 2,5–2,6 Па·с, после 4 часов обработки наблюдалось значимое снижение до значений 0,27 Па·с и ниже.

Стоит отметить, что в промышленности в качестве разжижающего фермента используется α -амилаза, дозировка которой значительно изменяет реологическое состояние гидролизатов. Но в данном исследовании и варьи-

рование дозировкой глюкоамилазы оказывало значимое в рассматриваемом диапазоне значений влияние на снижение динамической вязкости, прямо коррелирующее с увеличением дозировки осаживающего ферментного препарата.

Экструзия как стадия подготовки крахмала к биоконверсии и высокие дозировки ФП, обусловленные повышенными концентрациями субстрата, позволили уже за несколько часов обработки получить сахаристые продукты с высоким ДЭ, т. е. значительно быстрее, чем в релевантных исследованиях. Так, при получении различных сахаристых продуктов из крахмала зернового сорго с использованием ФП Амилосутилиин Г10Х и Глюкаваморин Г20Х в дозировках 1 ед. АС/г крахмала и 2,5 ед. ГЛС/г крахмала глюкозный эквивалент 94–98 % был получен за 72 часа гидролиза при концентрации субстрата 330–

350 мг/мл [13]. Ермолаевой получены кинетические зависимости, которые могут быть использованы для расчета продолжительности гидролиза крахмала для получения крахмального сиропа с глюкозным эквивалентом от 26 до 45 % [14]. Для данного исследования также характерен гидролиз субстрата с концентрацией до 35 % и временем инкубации до 72 часов при чуть больших дозировках ФП 1 ед. АС/г крахмала и 3 ед. ГлС/г крахмала.

Время гидролиза крахмала наряду с другими технологическими факторами является важным показателем процесса, так как увеличенное время реакции гидролиза в промышленном процессе может вызвать реакции реверсии, включающие ресинтез сахаридов из глюкозы. В наиболее близком к нашему исследованию авторы для сокращения времени гидролиза крахмала сорго также использовали экструзию [15] как стадию клейстеризации и декстринизации крахмала, с единственным отличием, что ферментативная обработка начиналась уже в камере экструдера путем инъекции ферментных препаратов. Условия экструзии сильно варьировались: температура 70–130 °С, скорость вращения шнека 70–190 об/мин, концентрация α -амилазы 0–1 %, содержание влаги в сырье 28,5–50,5 %. Влажность сырья, температура и концентрация фермента оказывали значительное влияние на результат осахаривания, декстрозный эквивалент после 8 часов постэкструзионной инкубации варьировался в диапазоне 83–98. Таким образом, при другом способе совмещения процессов экструзии и биокатализа были получены схожие результаты по значению декстрозного эквивалента за 8 часов гидролиза.

Выводы

Результаты исследования показали, что термопластическая экструзия является эффективным способом термомеханической модификации крахмала для его дальнейшей биоконверсии амилолитическими ферментными препаратами для получения глюкозных сиропов. Экструзия позволяет не только исключить из технологического процесса традиционные стадии разваривания и разжижения крахмала, но и за счет отсутствия пиков вязкости в этих процессах осуществить переход к переработке сред с концентрацией до 50 %, что значительно выше принятых 30–35 %. За 8 часов гидролиза были получены гидролизаты с ДЭ до 95. В рамках проведения исследования получены математические модели, ко-

торые позволяют прогнозировать значение ДЭ глюкозных сиропов из экструдированного крахмала путем варьирования комбинации дозировки глюкоамилазы и времени гидролиза.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (тема № 0529-2019-0066).

Литература

1. Bajpai P. Application of biotechnology in chemical industry. В кн. *Biotechnology in the Chemical Industry*. Elsevier. – 2020. – С. 57–193. DOI: 10.1016/B978-0-12-818402-8.00006-9
2. Гольдштейн В.Г., Куликов Д.С., Страхова С.А. Перспективы глубокой переработки зерна пшеницы // *Пищевая промышленность*. – 2018. – № 7. – С. 14–19.
3. Хворова Л.С. Трехпродуктовая технологическая схема получения глюкозы с кристаллизацией двух продуктов в ангидридной форме // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 9. – С. 44–46.
4. Ананских В.В., Лукин Н.Д., Коваленок В.А. Исследование процесса ферментативного разжижения крахмала // *Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологии продуктов питания и кормов: материалы VI Международного симпозиума*. – 2012. – С. 234–237.
5. Сабиров А.А., Баракова Н.В., Самоделкин Е.А. Обоснование применения ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки в технологиях получения сиропов из крахмалосодержащего сырья // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 60–66. DOI: 10.14529/food170208
6. Управляемая система непрерывной переработки растительного сырья на основе термомеханических и биокаталитических процессов / В.И. Степанов, В.В. Иванов, А.Ю. Шариков и др. // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 4. – С. 101–102. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10052
7. Биокатализ экструдированного крахмала в технологии мальтодекстрина / В.И. Степанов, В.В. Иванов, А.Ю. Шариков и др. // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2017. – № 4. – С. 8–12.
8. Baks T., Kappen F.H.J., Janssen A.E.M., Boom R.M. Towards an optimal process for gelatinisation and hydrolysis of highly concentrated starch–water mixtures with alpha-amylase from

Licheniformis B. // *Journal of Cereal Science*. – 2008. – V. 47(2). – С. 214–225. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.03.011

9. Kristensen J.B., Felby C., & Jørgensen H. Yield-determining factors in high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulose // *Biotechnology for biofuels*. – 2009. – V. 2(1):11. – С. 6–11. DOI: 10.1186/1754-6834-2-11

10. Zhaofeng Li, Wenjing Liu, Zhengbiao Gu, Caiming Li, Yan Hong, Li Chen. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. // *Food Hydrocolloids*. – 2015. – V. 48. – С. 189–196. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030.

11. Grafelman D.D., Meagher M.M. Liquefaction of starch by a single-screw extruder and post-extrusion static-mixer reactor. // *Journal of Food Engineering*. – 1995. – V. 24(4). – С. 529–

542. DOI: 10.1016/0260-8774(95)90768-7

12. Lazic Z.R. *Design of Experiments in Chemical Engineering. A Practical Guide*. WILEY-VCH Verlag. Weinheim. Germany. – 2004. – С. 323–349.

13. Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г. Получение различных сахаристых продуктов из крахмалсодержащего сырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2014. – № 5. – С. 17–20.

14. Ермолаева Г.А. Управление процессом биокатализа крахмала // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2017. – №4. – С. 22–24.

15. Govindasamy S., Campanella O.H., Oates C.G. Enzymatic hydrolysis and saccharification optimisation of sago starch in a twin-screw extruder // *Journal of Food Engineering*. – 1997. – V. 32(4). – С. 427–446.

Амелякина Мария Валентиновна, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (г. Москва), masha.am@mail.ru

Иванов Виктор Витальевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (г. Москва), ivanov.v.v@li.ru

Шариков Антон Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (г. Москва) anton.sharikov@gmail.com

Поступила в редакцию 1 октября 2020 г.

DOI: 10.14529/food200403

INFLUENCE OF GLUCOAMYLASE DOSAGE AND HYDROLYSIS TIME ON THE DEXTROSE EQUIVALENT OF HIGHLY CONCENTRATED GLUCOSE SYRUPS OF EXTRUDED STARCH

M.V. Amelyakina, V.V. Ivanov, A.Yu. Sharikov

Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

An alternative to the traditional technology of glucose syrups from starch based on multistage processes of water-thermal and enzymatic treatment is the use of thermoplastic extrusion with an integrated biocatalysis system. As part of the development of technology, a study of the influence of hydrolysis factors on the dextrose equivalent of the obtained products of biocatalysis and their rheological properties was carried out. An important aspect of the research is the study of the process of hydrolysis at high substrate concentration of the medium – 50% of dry matter. The principle of processing highly concentrated media in biotechnology has technical and economic prerequisites.

It helps to reduce the consumption of heat and energy resources and increases the efficiency of using batch and technology equipment. Mathematical models of the dependence of the dextrose equivalent and the dynamic viscosity of hydrolysates on the dosage of the saccharifying enzyme glucoamylase and the processing time were obtained. The analysis of the obtained models showed the equivalence of the influence of both factors on the studied output parameters. The maximum value of the dextrose equivalent in the experiment was 95, corresponding to a glucoamylase dosage of 12 units of glucoamylase per 1 g of starch and 8 hours of incubation. Varying the glucoamylase dosage from 6 to 12 units and hydrolysis time from 4 to 8 hours allows to obtain products with dextrose equivalent in the range from 38 to 95. A significant decrease in the dynamic viscosity of hydrolysates after 4 hours of hydrolysis to 0.18–0.26 Pa·s relative to the initial values of 2.5–2.6 Pa·s was noted. The obtained models of changes in the degree of hydrolysis and rheology of hydrolysates can be used for obtaining syrups from extruded starch with a given value of the dextrose equivalent varying the levels of input factors.

Keywords: extrusion, starch, dextrose equivalent, enzyme, glucoamylase, glucose syrup, dynamic viscosity, hydrolysis, biocatalysis, high concentration.

References

1. Bajpai P. Application of biotechnology in chemical industry. *In the book Biotechnology in the Chemical Industry. Publishing. Elsevier*, 2020, 57–193 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-818402-8.00006-9
2. Gol'dshtejn V.G., Kulikov D.S., Strahova S.A. [Prospects of deep processing of wheat grain]. *Pishhevaja promyshlennost'* [Food Industry], 2018, no. 7, pp. 14–19. (in Russ.)
3. Hvorova L.S. [Three-product technological scheme for obtaining glucose with the crystallization of two products in the anhydride form]. *Pishhevaja promyshlennost'* [Food Industry], 2017, no. 9, pp. 44–46. (in Russ.)
4. Ananskih V.V., Lukin N.D., Kovalenok V.A. [Study of enzymatic starch liquefaction]. *Perspektivnye fermentnye preparaty i biotekhnologicheskie processy v tehnologii produktov pitaniya i kormov: materialy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Promising enzyme preparations and biotechnological processes in food and feed technology: materials of the VI International Symposium], 2012, p. 238. (in Russ.)
5. Sabirov A.A., Barakova N.V., Samodelkin E.A. Substantiation of the Application of Shock-Activator-Disintegrant Treatment in the Technologies for Obtaining Syrups from Starch-Containing Raw Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 60–66. (in Russ.) DOI: 10.14529/food170208
6. Stepanov V.I., Ivanov V.V., Sharikov A.Ju., Ameljakina M.V., Polivanovskaja D.V., Serba E.M. [The system of continuous thermomechanical and biocatalytic processing of plant materials]. *Pishhevaja promyshlennost'* [Food Industry], 2019, no. 4, pp. 101–102. (in Russ.) DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10052
7. Stepanov V.I., Ivanov V.V., Sharikov A.Ju., Polivanovskaja D.V., Habibulina N.V. [Biocatalysis of extruded starch as part of dextrin production technology]. *Tehnologija i tovarovedenie innovacionnyh pishhevyyh produktov.*, 2017, no. 4, pp. 8–12. (in Russ.)
8. Baks T., Kappen F.H.J., Janssen A.E.M., Boom R.M. Towards an optimal process for gelatinization and hydrolysis of highly concentrated starch–water mixtures with alpha-amylase from *Licheniformis* B. *Journal of Cereal Science*, 2008, vol. 47(2), pp. 214–225. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.03.011
9. Kristensen J.B., Felby C., & Jørgensen H. Yield-determining factors in high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulose. *Biotechnology for biofuels*, 2009, vol. 2(1):11, C. 6–11. DOI: 10.1186/1754-6834-2-11
10. Zhaofeng Li, Wenjing Liu, Zhengbiao Gu, Caiming Li, Yan Hong, Li Chen. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 2015, vol. 48, pp. 189–196. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030
11. Grafelman D.D., Meagher M.M. Liquefaction of starch by a single-screw extruder and post-extrusion static-mixer reactor. *Journal of Food Engineering*, 1995, vol. 24(4), pp. 529–542. DOI: 10.1016/0260-8774(95)90768-7

12. Lazic Z.R. *Design of Experiments in Chemical Engineering. A Practical Guide*. WILEY-VCH Verlag. Weinheim. Germany, 2004, pp. 323–349.
13. Kulikova N.E., Chernobrovina A.G. [Generation of various sugary products from starch containing raw]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja* [Storage and Processing of Farm Products], 2014, no. 5, pp. 17–20. (in Russ.)
14. Ermolaeva G.A. [Management of the process of starch biocatalysis]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja* [Storage and Processing of Farm Products], 2017, no. 4, pp. 22–24. (in Russ.)
15. Govindasamy S., Campanella O.H., Oates C.G. Enzymatic hydrolysis and saccharification optimisation of sago starch in a twin-screw extruder. *Journal of Food Engineering*, 1997, vol. 32 (4), pp. 427–446.

Maria V. Amelyakina, candidate of Engineering Sciences, researcher, food production equipment and membrane technologies department, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Moscow, masha.am@mail.ru

Victor V. Ivanov, candidate of Engineering Sciences, leading researcher, food production equipment and membrane technologies department, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Moscow, ivanov.v.v@li.ru

Anton Yu. Sharikov, candidate of Engineering Sciences, head of department, food production equipment and membrane technologies department, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Moscow, 111033, anton.sharikov@gmail.com

Received October 1, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Амелякина, М.В. Влияние факторов дозировки глюкоамилазы и времени гидролиза на декстрозный эквивалент высококонцентрированных глюкозных сиропов экструдированного крахмала / М.В. Амелякина, В.В. Иванов, А.Ю. Шариков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 22–29. DOI: 10.14529/food200403

FOR CITATION

Amelyakina M.V., Ivanov V.V., Sharikov A.Yu. Influence of Glucoamylase Dosage and Hydrolysis Time on the Dextrose Equivalent of Highly Concentrated Glucose Syrups of Extruded Starch. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 22–29. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200403