

Введение Ассортимент продуктов биоконверсии крахмалосодержащего сырья неизменно расширяется в связи с увеличением спроса на них при производстве безалкогольных напитков, соков, высококачественных хлебобулочных и кондитерских изделий. При переработке зернового сырья возможно получение различных видов крахмала, декстринов, крахмальной крупы Саго, сахаристых крахмалопродуктов, нескольких разновидностей патоки, глюкозы, глюкозно-фруктозного сиропа, кристаллической фруктозы, мальтодекстрина, мальтина, уваренного глюкозного сиропа, зернового сиропа [1]. Известны научные разработки по ферментации ржи с созданием кормовых продуктов пребиотического действия [2]. Технологии получения большинства сахаристых продуктов основаны на измельчении зернового сырья и последующем гидролизе крахмала, включающем его разжижение и осахаривание. Необходимо отметить, что крупность помола зернопродуктов оказывает влияние на продолжительность протекания стадий высокотемпературной и ферментативной обработки сырья. Существуют различные способы измельчения зернового сырья, как на различном оборудовании, так и в различных фазовых состояниях (мокрый и сухой помол) [3]. Проведение гидролиза крахмала специфично для каждой технологии сахаросодержащего продукта. Осуществление деструкции полисахаридов возможно кислотным и кислотнo-ферментативным способами [4], а также биоконверсией крахмала, подразумевающей применение амилолитических ферментных препаратов на стадии его разжижения и осахаривания. Последующее фильтрование гидролизата приводит к отделению веществ некрахмалистой природы, в результате готовый продукт получается в виде сиропа. Традиционным источником ферментов для процессов биоконверсии растительного сырья является ячменный солод. Из большого числа ферментов солода для технологий получения сахаристых продуктов особое значение имеют амилолитические и протеолитические, а также ферменты, расщепляющие некрахмалистые полисахариды зерна и фосфорные соединения. Кроме того, широко применяются ферментные препараты в замещение части сложенного сырья или для его полной замены. Например, ферментные препараты амилоризин ПХ и П10Х, цитороземин ПХ и П10Х, амилосубтилин Г10Х, Г20Х и мультиэнзимная композиция рекомендуются для переработки 40-50% ячменя при одновременном использовании солода [5]. Цель настоящего исследования состояла в анализе углеводного состава продуктов биоконверсии полисахаридов кукурузной муки ферментами ячменного солода и ферментным препаратом ГлюкоЛюкс-А.

Экспериментальная часть Для получения сахаросодержащих сиропов в лабораторных условиях использовали зерно кукурузы влажностью 14%, соответствующее требованиям ГОСТ 13634-90, ячмень для производства солода по ГОСТ 5060-86 влажностью 15%. В качестве дополнительного источника ферментов в процессе гидролиза растительного сырья применяли комплексный

ферментный препарат грибного происхождения ГлюкоЛюкс-А (ООО ПО «Сиббиофарм»), представляющий собой суспензию темно-коричневого цвета (таблица 1). Диапазон действия препарата: pH – 3,0-8,5, температура – 30-70°C, оптимальные условия pH – 4,4-5,5, температура – 55-60 °C [6].

Таблица 1 – Ферментный состав препарата ГлюкоЛюкс-А [11]

Наименование Фермента	Активность фермента, ед./г(см3)
Глюкоамилаза	5000±500
Ксиланаза	не менее 1500
β-глюканаза	до 100
Целлюлаза	до 400
α-амилаза	до 150

Подготовка растительного сырья для экспериментальных исследований заключалась в размоле кукурузы на молотковой дробилке, просеивании на ситах и отборе фракции кукурузной муки, прошедшей сито № 0,25. Ячменный солод получали последовательным замачиванием ячменя воздушно-водяным способом и проращиванием в лабораторном термостате в течение 10 суток при температуре 16-18 °C и влажности 75-90 %. Перед использованием «зелёный» ячменный солод подвергали дроблению и смешению с водой в соотношении 1:3 [7,8], получая таким образом солодовую суспензию. Получение сахаросодержащего продукта заключалось в том, что кукурузную муку и первую порцию солодовой суспензии (20% к массе муки) добавляли в теплую воду температурой 50 °C в соотношении 1:3 и проводили гидролиз при температуре 70-72 °C в течение 120 минут, затем нагревали заторную массу до 98 °C и выдерживали 20 минут [9]. После осуществляли осахаривание заторной массы ферментами ячменного солода. Для этого при температуре 60 °C вносили вторую порцию солодовой суспензии (35% к массе муки) при гидромодуле 1:3, pH 6,5-7,0 и при периодическом перемешивании. Продолжительность стадии осахаривания составила около 10 часов. Также осуществляли осахаривание заторной массы с добавлением к солоду комплексного ферментного препарата ГлюкоЛюкс-А в количестве 0,4% к массе зерна при тех же условиях проведения процесса. В течение эксперимента анализировали углеводный состав гидролизатов (содержание глюкозы, мальтозы и декстринов) методом Зихерта и Блейера, уточненным В. А. Смирновым [10]. Предварительно проводили осаждение белков в образцах с целью получения сахаросодержащего сиропа, объем пробы которого составлял 25 см3. Степень осахаривания крахмала в заторе определяли с помощью йодной пробы [11].

Результаты и их обсуждение

Кукуруза является основным сырьем в производстве сахаристых крахмалопродуктов, вследствие высокого содержания в ней крахмала (67-76%), вследствие чего она была выбрана объектом исследования. Процесс осахаривания крахмала является главным и определяющим в технологии получения различных видов сахаросодержащих продуктов, в том числе сиропов с различным углеводным составом. Процесс осахаривания полисахаридов зерна ферментами ячменного солода проводили после предварительного его разжижения при условиях, указанных выше. Строгое соблюдение температуры осахаривания на уровне 60-62°C необходимо для поддержания активности

фермента β -амилазы, содержащегося в солодовой суспензии, и играющего первостепенную роль в расщеплении разжиженного крахмального клейстера и декстринов до мальтозы. Процесс гидролиза проводили при значении pH близком к нейтральному (6,5-7,0). Для поддержания необходимого значения pH в процессе осахаривания использовали 5% раствор NaHCO_3 . Пробы на анализ отбирались через определенные промежутки времени. Полученные результаты химического анализа содержания сахаров в сухих веществах сиропа после осаждения белковых компонентов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Образование углеводов в процессе биоконверсии полисахаридов зернового сырья с применением ячменного солода

Содержание углеводов в сухом веществе сиропа, %	Продолжительность осахаривания полисахаридов, ч	0	2	4	10
pH	7,0±0,3	6,5±0,3	6,5±0,3	6,5±0,3	6,5±0,3
Глюкоза	~0	~0	~0	3,9	Мальтоза 30,3
					35,1 45,4 84,4

В начальной фазе проведения эксперимента на стадии разжижения ферменты ячменного солода подготавливают молекулу крахмала к процессу ее расщепления. Высокое начальное значение концентрации мальтозы в образце объясняют повышенным её содержанием в ячменном солоде [5] и тем, что при предварительной высокотемпературной обработке водно-мучной смеси в процессе расщепления крахмала α -амилазой солода образуются низкомолекулярные декстрины и некоторое количество мальтозы [12].

Содержание глюкозы было минимальным, таким образом, в составе гидролизата на момент начала процесса осахаривания присутствовали полисахариды, олигосахариды и небольшое количество дисахаридов. Момент завершения процесса гидролиза крахмала определялся по достижении желтого цвета йодной пробы. За время процесса количество мальтозы в гидролизате увеличилось в 3 раза, что связано с активностью фермента β -амилаза солодовой суспензии при выбранном температурном режиме (60 °C). β -амилаза обладает способностью гидролизовать клейстеризованный крахмал с образованием мальтозы, проявляя сродство в предпоследней α -1,4-связи с нередуцирующего конца линейного участка амилозы и амилопектина [4]. Образование небольшого количества глюкозы (3,9%) связано с недостаточной активностью ферментов, способствующих ее накоплению в растворе в выбранных температурных условиях. Так например фермент мальтаза, присутствующий в солодовой суспензии и способный расщепить молекулу мальтозы на две молекулы глюкозы, инактивируется при температуре 60 °C [13]. pH среды в течение ферментативного гидролиза незначительно снижается, что может быть связано с переводом в раствор фосфорной кислоты и других фосфорсодержащих соединений зерна [7].

Процесс осахаривания полисахаридов зерна ферментами ячменного солода и комплексного ферментного препарата ГлюкоЛюкс-А проходил при температурном режиме 60 °C, оптимальном одновременно для ферментов препарата ГлюкоЛюкс-А и β -амилазы ячменного солода. Следует отметить, что суммарная концентрация моно- и дисахаридов в начальный

момент процесса близка по значению с данными предыдущего эксперимента (табл. 2 и 3). Как следует из результатов, приведенных в таблице 3, при добавлении препарата ГлюкоЛюкс-А биоконверсия крахмала растительного сырья протекает интенсивнее: увеличение концентрации глюкозы (9,4%) и мальтозы (37,6%) наблюдается после 2 ч осахаривания. Это обусловлено действием ферментов, входящих в состав комплексного препарата. Глюкоамилаза гидролизует α -1,4-, α -1,6- и α -1,3-гликозидные связи в молекулах крахмала, декстринов и олигосахаридов, начиная от нередуцирующего конца молекулы крахмала. Единственным продуктом гидролиза на всех стадиях является β -глюкоза [4]. Ксиланаза, β -глюканаза, целлюлаза способствуют разрушению некрахмалистых полисахаридов до глюкозы и мальтозы и полупродуктов, гидролизующихся α -амилазой и глюкоамилазой [6].

Таблица 3 - Образование углеводов в процессе биоконверсии полисахаридов зернового сырья с применением ячменного солода и ферментного препарата ГлюкоЛюкс-А

Содержание углеводов в сухом веществе сиропа, %	Продолжительность осахаривания полисахаридов, ч	0	2	4	pH	$6,5 \pm 0,3$	$6,5 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,3$
Глюкоза	~0	9,4	16,8	Мальтоза	34,2	37,6	65,2	Оценивая углеводный состав сиропа на момент окончания процесса осахаривания крахмала, необходимо отметить увеличение концентрации глюкозы до 16,8%, образующейся при гидролизе крахмала и олигосахаридов ферментами α -амилаза и глюкоамилаза, а также гидролизе целлюлозы зерна ферментом целлюлаза. При сравнительном анализе содержания продуктов гидролиза полисахаридов зернового сырья в сиропах установлено, что при использовании солодовой суспензии состав сахаров сиропа представлен преимущественно мальтозой около 85% (в пересчете на АСВ) при незначительном количестве глюкозы около 4% на АСВ. Полученный сироп может служить полупродуктом в производстве мальтозной патоки, в которой содержание глюкозы составляет 3-7% (ОСТ 10-228-98). Известно, что благодаря высокому содержанию мальтозы продукт не кристаллизуется в процессе хранения, он малогигроскопичен, что важно для кондитерской промышленности, так как требует меньшего количества добавляемого сахара. Продукты, содержащие мальтозу, отвечают требованиям, предъявляемым к заменителям сахара при производстве продуктов детского питания, тогда как сахароза и глюкоза могут являться аллергенами [7]. Использование ферментного препарата ГлюкоЛюкс-А в дополнение к солодовой суспензии позволяет получить сироп, в котором содержание мальтозы достигает 65% при уровне глюкозы около 17% в пересчете на АСВ. Таким образом, сироп может служить основой для получения глюкозно-мальтозной патоки. Содержание глюкозы в таком продукте не должно превышать 38 %, это условие позволяет применять его в качестве заменителя сахарозы в виноделии, хлебопечении, консервировании, при производстве напитков и т.д. Необходимо отметить, что глюкозно-мальтозный сироп является энергетическим продуктом, высокое количество сбраживаемых сахаров

позволяет широко применять его в пивоварении [14]. Известны литературные данные об использовании ферментных препаратов Глюкаваморин и Амилоризин [14] в процессе биоконверсии кукурузного крахмала с получением продукта, содержащего 35,8% глюкозы, 48,1% мальтозы, 11,3% мальтотриозы и 4,6% декстринов. В МГУПП разработаны условия комбинированного использования препаратов Амилосубтилина Г10Х, Глюкаваморина Г20Х и бактериальной β -амилазы при гидролизе крахмала зернового сорго для получения паточных сиропов различного углеводного состава и различного целевого назначения, в том числе сахарные сиропы с высоким содержанием глюкозы и мальтозы для получения десертных пищевых продуктов [15]. Отличительной особенностью созданных процессов является использование ферментных препаратов для биоконверсии крахмала. Настоящее исследование позволяет использовать исходный потенциал ферментов растений в составе ячменного солода с незначительным добавлением (0,4%) ферментного препарата, что приводит к сравнительно высокой концентрации мальтозы в готовом сиропе. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при использовании в процессе осахаривания полисахаридов кукурузной муки и ячменного солода при температуре 60 °С гидромодуле 1:3, рН 6,5 солодовой суспензии (35% к массе муки) и комплексного ферментного препарата ГлюкоЛюкс-А (0,4% к массе зерна) возможно получение глюкозно-мальтозного сиропа с содержанием мальтозы 65% и глюкозы 17% в пересчете на АСВ.