

УДК 664.143:663.15

Поступила в редакцию 28.11.2025
Received 28.11.2025¹А. М. Синявская, ¹С. Н. Вислоухова, ²И. И. Кондратова¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТА β -ФРУКТОФУРАНОЗИДАЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ САХАРИСТЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: В статье рассмотрена проблема черствения сахаристых кондитерских изделий в процессе хранения, вызванного кристаллизацией сахарозы и потерей влаги. Показано, что перспективным направлением решения данной проблемы является использование ферментного препарата β -фруктофуранозидазы, который выступает в роли биологического антикристаллизатора. Проанализировано влияние ключевых факторов (температура, рН, активность воды, массовая доля сухих веществ) на эффективность работы фермента. Обобщен успешный опыт применения инвертазы в Республике Беларусь для производства зефира, позволивший значительно улучшить потребительские качества продукции, и необходимость разработки отечественного ферментного препарата для обеспечения импортозамещения и укрепления продовольственной безопасности.

Ключевые слова: ферментный препарат β -фруктофуранозидазы, антикристаллизатор, сахаристые кондитерские изделия, кристаллизация сахарозы, срок годности, черствение, потребительские качества.

¹Н. М. Siniauskaya, ¹S. N. Vislavukhava, ²I. I. Kandratava¹RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

APPLICATION OF THE ENZYME PREPARATION β -FRUCTOFURANOSIDASE IN THE PRODUCTION OF SUGAR-BASED CONFECTIONERY

Abstract. The article discusses the problem of hardening of sugary confectionery products during storage, which is caused by the crystallization of sucrose and the loss of moisture. It is shown that a promising approach to solving this problem is the use of the enzyme β -fructofuranosidase, which acts as a biological anti-crystallizer. The article analyzes the influence of key factors (temperature, pH, water activity, and mass fraction of dry matter) on the effectiveness of the enzyme. The article summarizes the successful experience of using invertase in the Republic of Belarus for the production of marshmallows, which has significantly improved the product's consumer qualities, and the need to develop a domestic enzyme preparation to ensure import substitution and strengthen food security.

Keywords: enzyme preparation of β -fructofuranosidase, anti-crystallizer, sugary confectionery products, crystallization of sucrose, expiration date, hardening, consumer qualities.

Введение. Сахар является основным видом сырья кондитерского производства, оказывающий влияние на процессы структурообразования и хранения сахаристых кондитерских изделий. Одной из проблем при хранении сахаристых кондитерских изделий (зефира, пастилы, нуги, помадных и молочных конфет, ириса, мармелада), является черствение, которое происходит в результате кристаллизации сахарозы, которая в итоге приводит к потере влаги продукта. Рост кристаллов сахара приводит к ухудшению структуры, консистенции и потере потребительских качеств кондитерских изделий [1-3]. Для решения этой проблемы приме-

няются различные способы: от использования рецептурных ингредиентов, обладающих свойствами антикристаллизатора (инвертный сироп, патока, сорбитовый сироп, олигофруктоза, инулин и др.), до специализированной упаковки, позволяющей минимизировать потерю влаги из продукта.

На наш взгляд одним из перспективных направлений в решении проблемы черствения сахаристых кондитерских изделий является использование ферментного препарата β -фруктофуранозидазы (сахаразы или инвертазы), относящегося к группе ферментов-гидролаз. Этот ферментный препарат в процессе хранения продукта расщепляет дисахарид сахарозу на моносахариды – глюкозу и фруктозу, проявляя при этом свойства биологического антикристаллизатора [2]. Антикристаллизатор обычно содержит простые сахара (глюкозу, мальтозу, фруктозу) [1]. Благодаря своим функциональным свойствам ферментный препарат β -фруктофуранозидазы широко применяется в мировой и отечественной практике не только для получения инвертного заменителя сахара, но и в технологии производства хлебобулочных изделий, сгущенных молочных продуктов, алкогольных и безалкогольных напитков, а также различных кондитерских изделий [4–6].

Цель работы: рассмотреть возможности расширения применения технологии производства сахаристых кондитерских изделий с улучшенными потребительскими характеристиками за счет использования ферментного препарата β -фруктофуранозидазы, замедляющего процесса черствения. Объектами исследования являются ферментный препарат β -фруктофуранозидазы, полуфабрикаты кондитерского производства (кондитерские массы, сиропы), процессы, влияющие на сохранение потребительских качеств сахаристых кондитерских изделий.

Результаты исследований и их обсуждение. В сахаристых кондитерских изделиях сахар может находиться в различных состояниях: аморфном (леденцовая карамель), в виде мелких кристаллов, распределенных в насыщенном растворе (помада), а также в виде раствора со студнеобразователем, способным переходить в студень (желейный мармелад), или образующего дисперсную среду пенообразной массы (пастила, зефир, суфле, нуга). [1].

Физико-химические свойства водных растворов сахаров влияют не только на технологические параметры кондитерских масс, но и на качественные показатели готовых кондитерских изделий. Растворимость сахарозы, гидратация молекул, способность образовывать относительно устойчивые пересыщенные растворы, кристаллизация из пересыщенных растворов и переохлажденных расплавов, играют важную роль при получении и уваривании сахарных, сахар-паточных и иных сиропов, кондитерских масс с кристаллической или аморфной структурой, в процессах структурообразования при формировании помадных и молочных масс, ириса с кристаллической структурой. Физико-химические свойства сахарозы оказывают существенное влияние на процессы сушки пастило-мармеладных изделий, образования на их поверхности кристаллической корочки, а также намокания или высыхания кондитерских изделий при их хранении, следовательно, и на сроки их хранения [2].

Зная физико-химические свойства растворов сахаров, можно управлять многими технологическими процессами при изготовлении сахаристых кондитерских изделий, а следовательно, гарантировать их качество. Например, изменяя химический состав растворов, можно предвидеть скорость высыхания или намокания пастило-мармеладных кондитерских изделий при хранении. Управляя процессом кристаллизации сахарозы из пересыщенных растворов, можно достигнуть высокого качества помадных, ликерных и молочных масс. Процесс кристаллизации сахарозы продолжается при формировании конфетных масс, а также при хранении конфет, карамели, ириса и других кондитерских изделий. В кондитерских изделиях, в которых сахара находится в кристаллическом состоянии, а ее кристаллики окружены тонким слоем насыщенного раствора, происходит процесс высыхания. В таких изделиях при хранении непрерывно протекает процесс кристаллизации сахарозы. Межкристалльный раствор (жидкая фаза) постепенно обедняется влагой, что приводит к росту кристаллов сахарозы. В результате этого изделия теряют свою первоначальную консистенцию, твердеют, изменяется их структура и форма [2]. Это отрицательно сказывается на потребительских качествах сахаристых кондитерских изделий.

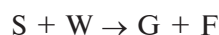
Так, например, помадные начинки и конфеты (особенно неглазированные корпуса конфет) достаточно быстро теряют свои потребительские качества из-за черствения. В результате испарения влаги из жидкой фазы помады она переходит в пересыщенный раствор сахарозы, и черствение конфет происходит в результате медленно протекающего процесса кристаллизации. Черствение помады происходит даже при относительной влажности воздуха больше 82,5 % [2]. В таких случаях возможно и целесообразно применение в технологии изготовления сахаристых кондитерских изделий ферментного препарата β -фруктофуранозидазы, который действует непосредственно на сахарозу в процессе хранения продукции.

Практика применения ферментного препарата β -фруктофуранозидазы для предотвращения быстрого черствения помадных конфет в странах бывшего Советского Союза существует давно: еще в ГОСТ 4570-93 «Конфеты. Общие технические условия» установлено требование к массовой доле влаги корпусов, слоев, начинок конфет, изготовленных с добавлением указанного биокатализатора [7].

В настоящее время использование фермента в производстве пищевой продукции регламентировано Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» [8]. В Приложении 26 указанного регламента перечислены микроорганизмы, которые могут выступать в качестве штаммов-продуцентов инвертазы пищевого назначения.

В мировой практике применение ферментного препарата β -фруктофуранозидазы регламентируется стандартом Кодекса Алиментариуса CODEX STAN 192-1995 [9], на территории Евросоюза – Регламентом Европейского парламента и Совета по пищевым добавкам № 1333/2008/ЕС от 16.12.2008 [10]. В соответствии с международными документами [9, 10] инвертаза позиционируется как пищевая добавка E1103, что обусловлено сохранением ее активности в процессе хранения продукции.

Действие ферментного препарата β -фруктофуранозидазы основано на гидролизе сахарозы (S) водой (W) с образованием глюкозы (G) и фруктозы (F) по следующей схематической формуле химической реакции [11]:



Как и в случаях с любыми другими ферментами, на активность инвертазы оказывают заметное влияние условия окружающей среды. При производстве кондитерских изделий важными факторами являются pH, температура и процентное содержание растворимых сухих веществ, а также постоянное количество инвертазы. Скорость действия может также зависеть от количества используемого концентрата инвертазы. Если концентрация растворимых сухих веществ слишком высока, то активность ферментного препарата значительно замедляется, и сахароза инвертируется не полностью. Так если помадные корпуса, извлеченные из крахмальных форм, имеют низкую влажность, то в дальнейшем может произойти незначительное изменение консистенции.

Лучше всего инвертаза действует в слабо кислой среде (оптимальной является pH 4,5 – 5). Если pH будет выше этого уровня, то действие инвертазы будет замедляться, а при превышении pH 7 оно прекращается [12]. При pH ниже 3,0 инвертаза инактивируется [11].

На активность ферментного препарата β -фруктофуранозидазы влияет температура. В таблице 1 приведены данные о влиянии температуры на активность инвертазы в помаде.

Т а б л и ц а 1. Снижение активности инвертазы при различных температурах
T a b l e 1. Decreased invertase activity at various temperatures

Температура, °С	Снижение активности (%) в течение:	
	20 мин	30 мин
60,0	4	6
65,6	8	12
71,1	15	20
76,7	20	30

При температуре 82,2 °С и выше теряется как минимум 70% активности инвертазы. Следует отметить, что даже при обычной температуре темперирования (60 – 65 °С) происходит значительное снижение активности.

При этом ингредиенты, добавляемые в помадную массу (сахар, яичный альбумин, молочные продукты, дробленые орехи, желатин, агар-агар, жир и модифицированный крахмал), оказывают на активность инвертазы незначительное влияние. Негативное воздействие могут оказать ароматизаторы и красители при смешивании с неразбавленным концентратом инвертазы. Для того чтобы снизить это негативное влияние необходимо добавление всех ингредиентов в помадную массу и доведение ее до температуры плавления осуществлять до того, как будет добавлен ферментный препарат. В этом случае фермент успеет лишь равномерно распределиться в составе массы до этапа формирования [13].

Активность ферментного препарата β -фруктофуранозидазы критически зависит от содержания влаги (активности воды) в жидкой фазе. Для нормальной работы фермента необходима достаточная концентрация доступной воды. Однако при сильном увеличении содержа-

ния растворенных сухих веществ и, как следствие, снижению активности воды ниже 0,65, активность фермента прекращается [14, 15]. В работе [14] было показано, что при значительном снижении значения активности воды активность инвертазы прекращается, однако при добавлении воды к системе этот фермент восстанавливает свою активность [13]. Таким образом, для поддержания необходимого уровня гидролиза необходим баланс влажности. Эта особенность ферментного препарата β -фруктофуранозидазы должна быть учтена и при ведении технологического процесса в случае добавления в кондитерскую массу санитарно-доброкачественных отходов (перерабатываемого полуфабриката), содержащих в составе инвертазу.

Динамика активности воды в помадной массе (с инвертазой) с соотношением 80:20 сахарозы и глюкозного сиропа с ДЭ 42 при комнатной температуре в зависимости от разного начального содержания влаги представлена на рис.1.

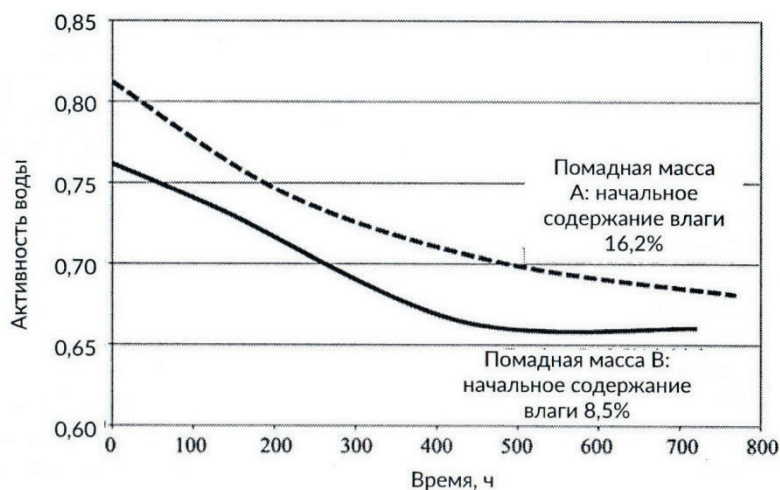


Рис. 1. Динамика активности воды в помадной массе (с инвертазой)
 Fig. 1. Dynamics of water activity in the fondant mass (with invertase)

Необходимо отметить, что максимальная степень действия ферментного препарата β -фруктофуранозидазы ингибируется естественным образом, а это означает, что для каждой рецептуры требуется определение дозировки инвертазы для получения продукции с пролонгированной сохранностью потребительских качеств. Результат реакции зависит от содержания растворенных веществ, значения активности воды и содержания глюкозы [13].

Среди сахаристых кондитерских изделий, выпускаемых в Республике Беларусь, в широком ассортименте представлены изделия, в которых сахароза находится в виде раствора со студнеобразователем, образующего дисперсную среду пенообразной массы (зефир). Процесс черствения зефира при хранении происходит вследствие десорбции значительной части влаги, что обусловлено старением геля, закрепляющего воздушные пузырьки пены. Потеря даже небольшого количества влаги неизбежно приводит к изменению структуры и консистенции продукта. То есть, процесс постепенного пересыщения дисперсионной среды инициирует процесс кристаллизации сахарозы. Рост кристаллов сахара в зефире начинается с поверхности и приводит к ухудшению органолептических и структурно-механических характеристик. Зефир становится более плотным, затяжистым, при разжевывании ощущаются твердые кристаллы сахарозы.

Специалистами РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» проведены исследования по определению дозировок и режимов введения импортных ферментных препаратов в зефир. В результате изучения кинетики роста кристаллов сахарозы, а также динамики органолептических показателей, содержания редуцирующих веществ, пластической прочности были установлены оптимальные дозировки ферментного препарата инвертазы.

Также была исследована кинетика процесса кристаллизации сахарозы и динамика органолептических, физико-химических и реологических показателей качества в течение 180 суток хранения промышленных образцов зефира с добавлением ферментного препарата «Бионверт 200» («Kerry Food Ingredient Ltd», Ирландия) и «Invertase» («Novozymes», Дания) [16].

На основании полученных результатов в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» разработана и внедрена технология, позволяющая предотвратить кристаллизацию сахарозы в зефире, изготовленном по классической технологии, в течение 200–300 суток (при продолжительности индукционного периода 30–70 суток у контрольных образцов зефира), снизить интенсивность потери влаги и улучшить потребительские характеристики зефира [16].

Мировой рынок ферментных препаратов инвертазы представлен продуктами американских, европейских, российских и восточноазиатских производителей. В Республике Беларусь нет собственного производства ферментов для инверсии сахарозы, которые востребованы как крупными, так и небольшими производителями кондитерских изделий. На белорусском рынке ферментный препарат β -фруктофуранозидазы представлен исключительно продуктами зарубежных производителей, что в условиях санкционного давления создает значительные риски для производителей кондитерских изделий. Поиск новых штаммов микроорганизмов, разрешенных к использованию в качестве продуцентов β -фруктофуранозидазы, и разработка технологии производства импортозамещающего биокатализатора для пищевой промышленности, в частности, для использования в технологии изготовления кондитерских сахаристых изделий с улучшенными текстурными и вкусовыми качествами, является актуальной для Республики Беларусь задачей.

В настоящее время в Институте микробиологии Национальной академии наук Беларуси реализуется проект по созданию отечественной биотехнологии производства ферментного препарата β -фруктофуранозидазы. В отделе технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» началась и активно ведется работа по исследованию отечественного ферментного препарата β -фруктофуранозидазы и применению его при производстве сахаристых кондитерских изделий.

Заключение. В Республике Беларусь технологии с использованием β -фруктофуранозидазы успешно освоены при производстве зефира, глазированных помадных конфет и шоколада с помадными начинками. Гидролиз сахарозы в процессе хранения позволяет регулировать процессы десорбции влаги и кристаллизации, замедлить процессы черствения кондитерских изделий, что обеспечивает сохранение мягкости и высоких потребительских характеристик продукции. Учитывая положительный опыт применения инвертазы в производстве зефира, помадных начинок и конфет, разработка технологии производства кондитерских изделий, в которых сахароза находится в виде мелких кристаллов, распределенных в насыщенном сахарном растворе, в виде раствора со студнеобразователем, способного переходить в студень или образующего дисперсную среду пенообразной массы, с использованием ферментного препарата β -фруктофуранозидазы представляется научно и практически обоснованной. При этом при дальнейшей разработке технологий производства сахаристых кондитерских изделий необходимо учитывать, что на эффективность работы фермента (инвертазную активность) будут влиять несколько факторов: температура кондитерской массы, в которую вносится ферментный препарат, массовая доля сухих веществ, рН кондитерской массы.

Внедрение разработок с применением ферментного препарата β -фруктофуранозидазы позволит не только улучшить потребительские свойства кондитерских изделий на основе сбивных масс и кондитерских масс с кристаллическим агрегатным состоянием сахарозы, расширить возможность применения ферментного препарата β -фруктофуранозидазы при использовании в ассортименте пастило-мармеладных изделий, но и продлить их срок годности, что будет способствовать повышению конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках и расширению внешней торговли. Все это положительно сказывается на продовольственной безопасности нашей страны, а также способствует сохранению и подтверждению за Республикой Беларусь статуса производителя пищевой продукции стабильно высокого качества.

Список использованных источников

1. Маршалкин, Г. А. Производство кондитерских изделий. – М.: Колос, 1994. – 272 с.
2. Зубченко, А. В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий. – Воронеж: Воронеж. гос. технолог. акад., 2001. – 389 с.
3. Новожилова, Е. С. Технология производства кондитерских изделий. Конспект лекций по дисциплине «Технология производства хлебопекарных, макаронных, кондитерских изделий и пищекоцентра-тов» / Е. С. Новожилова, И. А. Машкова, И. И. Кондратова. – Могилевский государственный университет продовольствия, 2009. – 80 с.

4. Microbial invertases: a review on kinetics, thermodynamics, physiochemical properties / H. Nadeem [et al.] // *Process Biochemistry*. – 2015. – Vol. 50, № 8. – P. 1202–1210.
5. Toledo, L. E. Fructosyltransferases and Invertases: Useful Enzymes in the Food and Feed Industries / L. E. Toledo [et al.] // *Enzymes in Food Biotechnology*. – Elsevier Inc., 2019. – Chapter 26. – P. 451–469.
6. Pang, W. C. Structural properties, production, and commercialisation of invertase / W. C. Pang, A. N. M. Ramli, N. D. Johari // *SainsMalaysiana*. – 2019. – Vol. 48, № 3. – P. 523–531.
7. Конфеты. Общие технические условия: ГОСТ 4570-93. – Введ. 01.01.1997. Переизд. (февраль 2011 г.) – Минск: Госстандарт: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 1997. – 14 с.
8. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. Технический регламент Таможенного союза: ТР ТС 029/2012. – Введ. 01.07.13. Переизд. (октябрь 2023 г.) – Минск: Госстандарт: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 2012. – 654 с.
9. CODEX STAN 192-1995, Rev.18-2017 General Standard for Food Additives.
10. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives.
11. Сахарные кондитерские изделия / Гартел Р. У., фон Эльбе Й. Г., Хофбергер Р. – перев. с англ. под науч. ред. Канд. техн. наук Л. И. Рысевой. – СПб.: ИД «Профессия», 2019. – 784 с, ил., табл. – (Серия: Научные основы и технологии).
12. Шоколад, конфеты, карамель и другие кондитерские изделия / Б.У. Минифай; перевод с англ. под общ. науч. ред. Т. В. Савенковой. – СПб.: Профессия, 2005. – 808 с., ил. – (Серия: Научные основы и технологии).
13. Сахарные кондитерские изделия / Гартел Р. У., фон Эльбе Й. Г., Хофбергер Р. – перев. с англ. под науч. ред. Канд. техн. наук Л. И. Рысевой. – СПб.: ИД «Профессия», 2019. – 784 с, ил., табл. – (Серия: Научные основы и технологии).
14. Silver M., Karel M. The behavior of invertase in model systems at low moisture contents // *J. Food Biochem.*, 1981, 5, p. 283 – 311.
15. Wu J. Invertase activity in fondant: M. S. Thesis. – University of Wisconsin-Madison, 2006.
16. Разработать и внедрить на ОАО «Красный пищевик» технологию производства зефира с улучшенными потребительскими характеристиками с использованием биологического антикристаллизатора: отчет о НИОТР (заключит.): РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; рук. С.Е. Томашевич; исполн. А.А. Шевчук, С.Н. Вислоухова, Т.В. Бандок [и др.]. – Минск, 2015. – 266 с. – № ГР 20141585.

Информация об авторах

Синяевская Анна Михайловна, ведущий инженер-технолог отдела технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь).

E-mail: candy@belproduct.com

Вислоухова Светлана Николаевна, заведующий сектором кондитерской отрасли отдела технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь).

E-mail: candy@belproduct.com

Кондратова Ирина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные технологии в управлении» Белорусского национального технического университета (пр-т Независимости, 65, 220013, г. Минск. Республика Беларусь).

E-mail: irenakondratova@tut.by

Information about the authors

Siniauskaya Hanna Mikhailovna, leading process engineer of the sector of the confectionery branch department of technologies of confectionery and fat-and-oil products The Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: candy@belproduct.com

Vislavukhava Sviatlana Nikolaevna, head of the sector of the confectionery branch department of technologies of confectionery and fat-and-oil products The Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: candy@belproduct.com

Kandratava Iryna Ivanauna, Ph.D. (Technical), Associate Professor, head of the Department of Information Technologies in Management at the Belarusian National Technical University (Prospekt Nezavisimosti, 65, 220013, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: irenakondratova@tut.by