

В статье приведены результаты исследований по изучению и подбору ферментных препаратов, обеспечивающих максимальную деструкцию биополимеров дрожжевой клетки.

Ключевые слова: избыточные пивные дрожжи, дрожжевая клетка, ферменты, гидролиз биополимеров, деструкция, утилизация пивных дрожжей.

НАПРАВЛЕННЫЙ ГИДРОЛИЗ БИОПОЛИМЕРОВ ДРОЖЖЕВОЙ КЛЕТКИ С ЦЕЛЬЮ РАЦИОНАЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНЫХ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

Е. М. Моргунова, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания, кандидат технических наук, доцент;

В. В. Соловьев, главный специалист группы по винодельческой и пивобезалкогольной отраслям отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции

Агропромышленный комплекс Республики Беларусь ежегодно перерабатывает более 10 млн. тонн сельскохозяйственного сырья. Для повышения его эффективности необходимо создание инновационных ресурсосберегающих технологий, способных решить как экономические, так и экологические проблемы перерабатывающих отраслей, повысить конкурентоспособность национальных производителей.

Пивоваренная промышленность относится к наиболее материалоемким отраслям народного хозяйства. Степень использования сырья для получения готового продукта (пива) составляет 75 %, остальные 25 % – вторичные продукты. Оставшиеся от использования в основном производстве, они могут повторно применяться как в самом пивоварении, так и в других отраслях пищевой промышленности. Основными из вторичных продуктов являются пивная дробина и избыточные пивные дрожжи, имеющие высокое содержание белка, углеводов, витаминов, пищевых волокон, аминокислот, минеральных веществ. Так как в настоящее время отходы на пивоваренных предприятиях республики утилизируются нерационально, существующие способы их использования требуют определенных путей совершенствования [1].

Так как в процессе брожения пива происходит наращивание биомассы дрожжей, то одной из проблем пивоваренного производства является проблема утилизации избыточных пивных дрожжей. При производстве каждого гектолитра пива образуется от 1,5 до 1,8 кг избыточных пивных дрожжей, которые являются активными потребителями кислорода – значение ХПК для них очень высокое и составляет около 5,3 г/л, что делает недопустимым с экологической точки зрения их сброс в сточные воды без специальной обработки [2].

Жидкие пивные дрожжи представляют собой нестойкий продукт. Автолиз пивных дрожжей при комнатной температуре происходит через несколько часов. В результате автолиза получается желтовато-коричневая тестообразная масса с горьким привкусом хмеля и запахом пива [1]. Основной проблемой при использовании избыточных пивных дрожжей на кормовые цели являются самопроизвольно происходящие процессы автолиза дрожжевой клетки, в связи с чем дрожжи становятся непригодными для дальнейшего использования.

Разработка рационального способа утилизации избыточных пивных дрожжей путем направленного гидролиза биополимеров дрожжевой клетки является актуальным направлением научных исследований. Одной из задач, стоявших перед исследователями, было изучение химического состава дрожжевой клетки.

Дрожжевая клетка состоит в среднем на 75 % из воды и 25 % сухих веществ. Состав сухих веществ дрожжевой клетки меняется в определенных пределах, а именно:

белковые вещества	от 40 до 60 %;
углеводы	от 25 до 35 %;
жиры (липиды)	от 4 до 7 %;
минеральные вещества	от 6 до 9 %.
Минеральные вещества (на 100 г сухих веществ, в среднем) состоят из:	
фосфатов	2000 мг;
калия	2400 мг;
натрия	200 мг;
кальция	20 мг;
магния	2 мг;
цинка и следов железа, марганца и меди	7 мг.

Помимо вышеперечисленных веществ, дрожжи содержат ряд витаминов, среди которых (данные на 100 г сухих веществ дрожжевой клетки):

тиамин (В ₁)	от 8 до 15 мг;
рибофлавин (В ₂)	от 2 до 8 мг;
никотиновая кислота (РР)	от 30 до 100 мг;
фолиевая кислота (В ₉)	от 2 до 10 мг;
пантотеновая кислота (В ₃)	от 2 до 20 мг;
пиридоксин (В ₆)	от 3 до 10 мг;
биотин (В ₇)	от 0,1 до 1 мг.

Вышеуказанный состав клетки пивных дрожжей является усредненным и в зависимости от генерации дрожжей меняется незначительно [3]. При этом наличие в составе дрожжей витаминов, минеральных и белковых веществ делает их очень полезным продуктом с точки зрения не только кормовой, но и пищевой ценности.

Для максимального сохранения и высвобождения ценных компонентов, содержащихся в избыточных пивных дрожжах, необходимо провести контролируемую деструкцию биополимеров дрожжевой клетки. Деструкция дрожжевой клетки в результате автолиза – это длительный и неэффективный процесс. С целью интенсификации и оптимизации процесса деструкции биополимеров дрожжевой клетки было принято решение использовать ферментные препараты широкого спектра действия.

В рамках выбранного направления были проведены исследования ферментных препаратов широкого спектра действия с последующим их применением для глубокой деструкции биополимеров дрожжевой клетки.

С целью выявления зависимости функциональных свойств получаемых препаратов от структурно-фракционного состава полимеров клеточной стенки на первом этапе работы изучали специфичность действия ферментных комплексов непосредственно на структурные полимеры клеточной стенки.

Аналитический обзор научных публикаций по данной проблеме и результаты предварительных исследований показали целесообразность использования ферментных препаратов как индивидуально, так и в составе ферментных комплексов.

В качестве объекта исследования использовали избыточные пивные дрожжи *Saccharomyces carlsbergensis*, применяемые в процессе производства пива на пивоваренных заводах Республики Беларусь. Для проведения работ по изучению процесса гидролиза биополимеров дрожжевой клетки было принято решение использовать ферментные препараты индивидуально и в составе ферментных комплексов:

- ♦ Маннаназа, использование которой позволит получить продукт с преобладающим содержанием глюкоана и полимерной формы белковых веществ;
- ♦ Глюканаза, использование которой позволит получить продукт с преобладающим содержанием маннана и полимерных белковых веществ;
- ♦ Комплекс маннаназа+глюканаза, использование которого позволит получить продукт с преобладающим содержанием полимерных белковых веществ и различных фракций деструктурированных глюкоана и маннана;

- ♦ Комплекс маннаназа+протеаза, использование которого позволит получить продукт с преобладающим содержанием глюкана и различных фракций деструктурированных маннана и белковых веществ;

- ♦ Комплекс маннаназа+глюканаза+протеаза, использование которого позволит получить продукт различных фракций деструктурированных маннана, глюкана, белковых веществ;

- ♦ Комплекс маннаназа+глюканаза+протеаза+амилаза, использование которого позволит получить продукт различных фракций деструктурированных маннана, глюкана, белковых веществ, углеводов.

Степень воздействия выбранных ферментных систем изучали по накоплению продуктов гидролиза соответствующих полимеров дрожжевой биомассы: общих экстрактивных веществ, редуцирующих сахаров, белковых веществ. В качестве контрольных рассматривали аналогичные показатели дрожжевой суспензии, подвергнутой высокотемпературной обработке для инактивации собственных ферментов.

Наилучшие результаты (13,5 % рефрактометрически) по выходу растворимых сухих веществ (далее – РСВ) получены путем комбинированного действия ферментативной системы на белково-полисахаридные полимеры клеточной стенки. Использование ферментных препаратов индивидуально привело к накоплению РСВ не более чем в 1,6 раза по сравнению с контролем. Изучение деструктивных изменений полисахаридов клеточной стенки дрожжей после действия индивидуальных препаратов показало, что наиболее глубоким изменениям подвергаются полимеры маннановой природы, чем глюканы. Это подтверждается и результатами воздействия ферментных комплексов, в составе которых присутствует маннанолитический фермент. Наибольшая концентрация редуцирующих сахаров выявлена в образце, полученном в результате применения комплекса маннаназа+глюканаза+протеаза+амилаза. Выход белковых веществ клеточной стенки дрожжей в результате гидролиза маннано-протеиновых комплексов под действием маннанолитического фермента увеличивался в 1,15 раз, а в результате действия глюканолитического ферментного препарата в 1,8 раз, по сравнению с контрольным образцом. При этом в наибольшей степени извлечение белковых веществ из клеточных стенок дрожжей выявлено в результате использования полного комплекса ферментов и составило в 3,6 – 4,5 раз больше, чем в контрольном образце.

В результате проведенной работы по исследованию и подбору ферментных препаратов, позволяющих проводить глубокую деструкцию биополимеров дрожжевой клетки, для проведения дальнейших исследования был выбран ферментный комплекс маннаназа+глюканаза+протеаза+амилаза, показавший лучший результат по накоплению РСВ.

Активность и оптимум действия используемых ферментных препаратов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика ферментных препаратов

Наименование ФП	Оптимальные условия действия	
	Температура, °С	pH
Нейтраз 0,8 Л	от 45 до 55	от 5,5 до 7,5
Термамил 120 Л	от 75 95	от 5,8 до 7,0
ГлюкоМакс	от 55 до 60	от 4,2 до 4,8
Маннаназа	от 55 до 60	от 4,6 до 5,5

Качественные показатели избыточных пивных дрожжей 2 генерации рода *Saccharomyces carlsbergensis*, используемых в эксперименте, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Качественные показатели избыточных пивных дрожжей

Наименование показателя	Значение
Морфологическое состояние клеток	Форма клеток округлая, эллипсоидная
Содержание дрожжевых клеток, млн.кл./см ³	115,1
Количество почкующихся клеток, %	22,6
Количество мертвых клеток, %	1,98
pH	4,78

Перед проведением экспериментов проводили подготовку избыточных пивных дрожжей следующим образом: избыточные пивные дрожжи отцентрифугировали на центрифуге марки ЕLMI CM-6M; трижды промывали водой температурой около 15 °С, после первой промывки осуществляли обработку для удаления горечи. Для этого дрожжи обрабатывают бикарбонатом натрия в течение 30 минут, при этом суспензия дрожжей должна содержать 0,2 % бикарбоната натрия. Обработка бикарбонатом натрия более эффективна при удалении горьких веществ, чем раствор поваренной соли, который используется с той же целью в известных способах. Обработанную бикарбонатом натрия дрожжевую суспензию вновь сепарировали и промывали от раствора бикарбоната натрия, получается кашеобразная суспензия дрожжей с рН = 5,4; что соответствует оптимуму действия большинства из исследуемых ферментных препаратов.

Для дальнейшего проведения экспериментальных работ разбавляли концентрированную суспензию дрожжей дистиллированной водой до содержания сухих веществ 15 % и 20 % и проводили параллельные исследования.

Ферментный комплекс вносили в начале процесса гидролиза. Для подбора наиболее приемлемой дозировки ферментных препаратов проводили три параллельных исследования с минимальной, усредненной и максимальной нормой расхода, согласно рекомендациям изготовителя.

Нормы расхода ферментных препаратов в соответствии с рекомендациями изготовителя представлены в табл. 3.

Таблица 3. Нормы расхода ферментных препаратов

Наименование ферментного препарата	Норма расхода, кг/т		
	Минимальная min	Усредненная med	Максимальная max
Нейтраза 0,8 Л	0,3	0,9	1,5
Термамил 120 Л	0,3	0,4	0,5
ГлюкоМакс	0,5	0,75	1,0
Манннаназа	0,2	0,6	0,8

Гидролиз дрожжевой суспензии проводили следующим образом. В образцы дрожжевой суспензии комнатной температуры задавали расчетное количество ферментных препаратов. Процесс гидролиза проводили в три стадии при постоянном механическом перемешивании дрожжевой суспензии. На первой стадии дрожжевую суспензию нагревали до температуры 52 °С и выдерживали при этой температуре в течение 25 мин, затем дрожжевую суспензию нагревали до 64 °С и выдерживали при этой температуре в течение 40 мин. По истечении 40 мин. дрожжевую суспензию нагревали до температуры 75 °С и выдерживали при этой температуре в течение 60 мин. После окончания процесса гидролиза для инактивации ферментов дрожжевую суспензию нагревали до кипения и кипятили в течение 5 мин. Затем полученную дрожжевую суспензию охлаждали и определяли растворимые сухие вещества и аминный азот стандартизированными методами. Полученные данные приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты гидролиза дрожжевой суспензии

Наименование показателя	Содержание сухих веществ в дрожжевой суспензии					
	15 %			20 %		
	min	med	max	min	med	max
PCB, г/100 см ³	8,4	9,7	9,8	14,2	16,5	16,6
Аминный азот, мг/100 см ³	47,5	48,2	50,4	59,8	60,3	62,1

В результате анализа данных, представленных в табл. 4, сделан вывод о целесообразности и рациональности использования для проведения гидролиза биополимеров дрожжевой клетки суспензии с содержанием сухих веществ 20 %, а также нормы внесения ферментных препаратов на уровне усредненной дозировки.

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что продукты гидролиза биополимеров дрожжевой клетки очень перспективны с точки зрения не только кормовой, но и пищевой ценности. Ферментативный гидролиз биополимеров дрожжевой клетки является перспективным направлением в разработке способа рациональной утилизации избыточных пивных дрожжей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колпакчи, А. П.* Вторичные материальные ресурсы пивоварения / А. П. Колпакчи, Н. В. Голикова, О. П. Андреева. — М.: Агропромиздат, 1986. — 160 с.
2. *Федоренко, Б. Н.* Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли / Б.Н. Федоренко. — СПб.: Профессия, 2009. — 1000 с.
3. *Кунце, В.* Технология солода и пива: пер. с нем. / В Кунце. — СПб.: Профессия, 2009. — 1064 с.
Рукопись статьи поступила в редакцию 07.08.2017

E. M. Morgunova, V. V. Solovyov

DIRECTED HYDROLYSIS OF BIOPOLYMERS OF THE YEAST CELL FOR THE PURPOSE OF RATIONAL UTILIZATION OF EXCESS BEER YEAST

This article presents the results of research on the study and selection of enzyme preparations that ensure the maximum destruction of yeast cell biopolymers.

Keywords: excess brewer's yeast, yeast cell, enzymes, hydrolysis of biopolymers, destruction, utilization of brewer's yeast.

644.44

В статье изучена возможность применения в пивоваренном производстве компонента растительного происхождения — водоросли хлореллы как источника биологически активных веществ, необходимого для повышения физиологической активности дрожжей. Исследовано влияния кратности введения водоросли хлореллы на процесс главного брожения при применении различных генераций дрожжей.

Ключевые слова: пивоварение, водоросль хлорелла, пивоваренные дрожжи, главное брожение, генерация, накопление этилового спирта.

ВОДОРОСЛЬ ХЛОРЕЛЛА КАК ИСТОЧНИК ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПИВОВАРЕННЫХ ДРОЖЖЕЙ

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

Е. М. Моргунова, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания,

Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», г. Могилев, Республика Беларусь

Ю. С. Назарова, кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Могилевский институт Министерства внутренних дел», г. Могилев, Республика Беларусь

Н. А. Шелегова, кандидат технических наук, доцент

Поведение дрожжей при производстве пива во многом зависит от параметров ведения технологического процесса, однако, при этом не маловажную роль играет и физиологическое состояние дрожжевой биомассы, которое способно изменяться от генерации к генерации [1].