

Д. В. ХЛИМАНКОВ, Т. М. ТАНАНАЙКО, А. А. ПУШКАРЬ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОСИНТЕЗА ЭТАНОЛА ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ РАЗДЕЛЕНИИ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Научно-практический центр Национальной академии наук по продовольствию,
Минск, Беларусь, e-mail: vodka@belproduct.com*

В статье приведены результаты исследований по усовершенствованию процесса биосинтеза этанола при сбраживании высококонцентрированного зернового суслу с дифференцированной переработкой биополимеров ржи путем применения ферментов глюкоамилазы и кислой протеазы и увеличенном засеве производственных дрожжей. Установлено влияние вносимых ферментных препаратов и производственных дрожжей на крепость зрелой бражки.

Ключевые слова: ферменты, дрожжи, оптимизация, рожь, сусло, зрелая бражка.

D. V. KHLIMANKOV, T. M. TANANAICA, A. A. PUSHKAR

IMPROVEMENT BIOSYNTHESIS OF ETHANOL WITH A DIFFERENTIATED PROCESSING OF GRAIN RAW MATERIALS IN ALCOHOL PRODUCTION

*The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs,
Minsk, Belarus. e-mail: vodka@belproduct.com*

The article presents the results of research on improving ethanol biosynthesis process during the fermentation of highly concentrated grain wort processing with rye biopolymers differentiated by the application of enzymes glucoamylase and acid protease and an increased production of yeast inoculation. The influence of brought fermental preparations and industrial yeast on a fortress mature distiller's wort is established.

Keywords: enzymes, yeast, optimization, rye, wort, distiller's wort.

Введение. Сбраживание зернового суслу является одним из важнейших процессов в технологии спиртового производства, так как на этом этапе происходит образование конечных продуктов под действием ферментного комплекса дрожжей. На стадии спиртового брожения происходят процессы превращения моносахаридов в этиловый спирт и расщепления декстринов, белков и других соединений. Соотношение скоростей реакций этих процессов имеет решающее значение при сбраживании осахаренного суслу и определяется как исходным составом среды (концентрация суслу, pH, остаточная ферментативная активность и т. д.), так и технологическими характеристиками спиртовых дрожжей [1, 2].

Повышение концентрации сбраживаемого суслу – это мощный инструмент снижения издержек при производстве этилового спирта: растет крепость зрелой бражки, повышается суточная производительность предприятия, снижается выход и растет питательная ценность послеспиртовой барды, уменьшается потребление топливно-энергетических ресурсов на стадии брагоректификации и т. д. Однако при повышении концентрации зернового суслу, спиртовые предприятия обычно сталкиваются с увеличением содержания несброженных углеводов в зрелой бражке, как следствие, это приводит к снижению выхода этилового ректификованного спирта из пищевого сырья. Следует учесть, что при переработке высококонцентрированного суслу значительно увеличивается крепость зрелой бражки в процессе спиртового брожения при одновременном сохранении в среде значительного количества несброженных углеводов, что в конечном итоге приводит к дополнительному отрицательному воздействию на бродильную активность дрожжей [3, 4]. Поэтому повышение концентрации сбраживаемого зернового суслу возможно только при сбалансированном применении отдельных технологических решений, обеспечивающих сохранение высокого уровня ферментативной активности дрожжевых клеток и активности ферментных препаратов, гидролизующих предельные декстрины и остаточный крахмал.

Работы по оптимизации процесса сбраживания высококонцентрированного суслу являются, несомненно, перспективными и актуальными, так как позволят наиболее полно использовать зерновое сырье и технологические вспомогательные средства, тем самым заложив основу для снижения издержек при производстве этилового ректифицированного спирта из пищевого сырья.

Цель работы – установить оптимальные параметры процесса брожения при дифференцированном разделении биополимеров зерна при использовании ферментных препаратов глюкоамилазы и кислой протеазы.

Материалы и методы исследования. С целью оптимизации процесса брожения при дифференцированном разделении биополимеров зернового сырья и достижения максимального эффекта накопления зрелой бражки в лаборатории алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» в 2015 г. было выполнено планирование эксперимента, которое позволяет варьировать различные факторы и получать количественные оценки их взаимодействия. Для этого использовали метод центрального композиционного ротатабельного планирования полного факторного эксперимента ПФЭ-2³ со звездными точками. Объект исследования – зерно ржи с глубиной шелушения 5,06 %, используемое на стадии оптимизации процесса брожения в спиртовом производстве.

В ходе проведения экспериментальных исследований процесс подготовки суслу осуществляли по следующим технологическим режимам: приготовление замеса при гидромодуле 1:2,8 и рН 6,0–6,2; механико-ферментативная обработка замеса при температуре 67–69 °С в течение 40 мин., далее при температуре 85–86 °С в течение 2,5 ч. Степень помола зерна (проход через сито, диаметр отверстий 1 мм) – 94–95 %.

Механико-ферментативную обработку сырья проводили в лабораторном ферментере ЛР-1, при этом для гидролиза некрахмалистых полисахаридов использовали ферментный препарат Талзим ХЛ 75 (дозировка – 0,20 дм³/т сухих веществ зерна), крахмала – ферментный препарат термостабильной α -амилазы Ликвафло (дозировка 0,27 ед. АС/т усл. крахмала). Подготовку производственных дрожжей осуществляли по ранее установленным оптимизированным параметрам ведения производственных дрожжей:

- культивирование производственных дрожжей осуществляли на сусле с видимой концентрацией сухих веществ 15,3–17,0 %;
- при подготовке дрожжевого суслу применяли протеолитический ферментный препарат (кислую протеазу), норма расхода – не более 0,20 ед. ПС/т усл. крахмала;
- при подготовке дрожжевого суслу применяли целлюлолитический ферментный препарат (источник ксиланазы), норма расхода – не более 0,04 дм³/т сухих веществ зерна.

Полученное дрожжевое сусло охлаждали и засеивали спиртовыми сухими дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* LW 200-76 «Oenoferm C2» (Оеноферм С2) из расчета их начального содержания в сусле 20 млн кл/см³. Культивировали дрожжи при температуре 26–28 °С в течение 18 ч. Полученные засевные дрожжи с содержанием дрожжевых клеток 340 млн кл/см³ использовали при сбраживании экспериментальных образцов. Процесс брожения проводили при температуре главного брожения 33–35 °С и дображивания 28–30 °С в течение 3 сут.

В процессе брожения крепость зрелой бражки анализировали согласно теххимическому контролю спиртового производства [5].

В качестве основных факторов, влияющих на оптимизацию процесса, были выбраны: X_1 – начальная концентрация дрожжевых клеток (в сбраживаемом сусле), млн кл/см³; X_2 – дозировка глюкоамилазы (Saczyme Plus 2X), используемой на стадии брожения, ед. ГлС/г усл. крахмала; X_3 – дозировка кислой протеазы (ПротоМакс), используемой на стадии брожения, ед. ПС/г усл. крахмала.

Пределы варьирования факторов были выбраны на основании ранее проведенных исследований и анализа литературных данных по переработке высококонцентрированного суслу в спиртовом производстве [6–10].

Условия проведения центрального композиционного ротатабельного планирования приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Характеристика планирования

Фактор	Уровень		«Звездные» точки		Центр эксперимента	Шаг варьирования
	нижний	верхний	нижняя	верхняя		
X_1 , млн кл/см ³	30,00	50,00	23,20	56,80	40,00	10,00
X_2 , ед. ГлС/г	8,00	13,00	6,30	14,70	12,30	2,50
X_3 , ед. ПС/г	0,030	0,100	0	0,120	0,070	0,035

Критерием оценки глубины протекания процесса сбраживания высококонцентрированного суслу под влиянием изменения выбранных факторов являлась крепость зрелой бражки по окончании процесса брожения.

Эксперименты проводили в соответствии с матрицей планирования, приведенной в табл. 2. Каждый опыт дублировали три раза. Среднее значение функции отклика Y по результатам трех параллельных опытов использовали при математической обработке компьютерной системой планирования эксперимента STATGRAPHICS Plus for Windows.

Т а б л и ц а 2. Матрица планирования

№ опыта	Фактор			Функция отклика, Y , об%
	X_1 , млн кл/см ³	X_2 , ед. ГлС/г	X_3 , ед. ПС/г	
1	40,0	10,5	0	11,10 ± 0,01
2	30,0	8,0	0,030	10,50 ± 0,01
3	40,0	10,5	0,120	11,40 ± 0,01
4	30,0	13,0	0,100	11,20 ± 0,01
5	50,0	8,0	0,030	10,60 ± 0,01
6	56,8	10,5	0,065	11,10 ± 0,01
7	50,0	8,0	0,100	11,00 ± 0,01
8	40,0	10,5	0,065	11,60 ± 0,01
9	50,0	13,0	0,100	11,40 ± 0,01
10	23,2	10,5	0,065	10,80 ± 0,01
11	40,0	10,5	0,065	11,60 ± 0,01
12	40,0	6,3	0,065	10,70 ± 0,01
13	40,0	14,7	0,065	11,60 ± 0,01
14	30,0	13,0	0,030	11,20 ± 0,01
15	50,0	13,0	0,030	11,30 ± 0,01
16	30,0	8,0	0,100	10,80 ± 0,01

Результаты и их обсуждение. В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, описывающее зависимость исследуемой функции отклика от выбранных факторов. Влияние каждого из варьируемых факторов графически отражали в виде стандартизированной карты Парето и графика главных эффектов отклика.

Стандартизированная карта Парето (рис. 1, а) позволила установить значимые факторы. Пересечение стандартизированных эффектов вертикальной линией, которая представляет собой 95 %-ную доверительную вероятность, означает, что влияние факторов на функцию отклика статически значимо.

Влияние факторов по степени значимости распределилось в следующем порядке: наибольший эффект на уровень накопления этанола в зрелой бражке оказывает дозировка фермента глюкоамилазы; второе по значимости влияние оказывает дозировка кислой протеазы – с ее повышением крепость зрелой бражки увеличивается; в рассматриваемом интервале варьирования фактора с увеличением начальной концентрации дрожжевых клеток крепость зрелой бражки также увеличивается.

Анализ графика главных эффектов для показателя концентрации крепости зрелой бражки (рис. 1, б) также подтверждает вышеупомянутый порядок значимости факторов.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получено следующее уравнение регрессии:

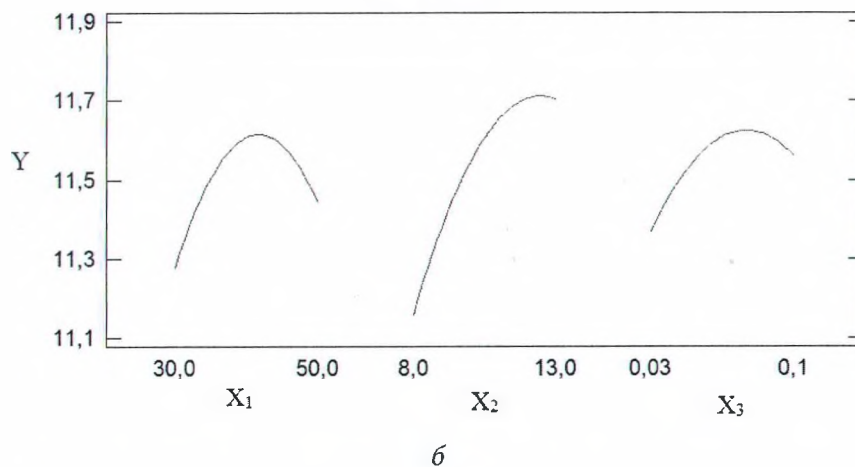
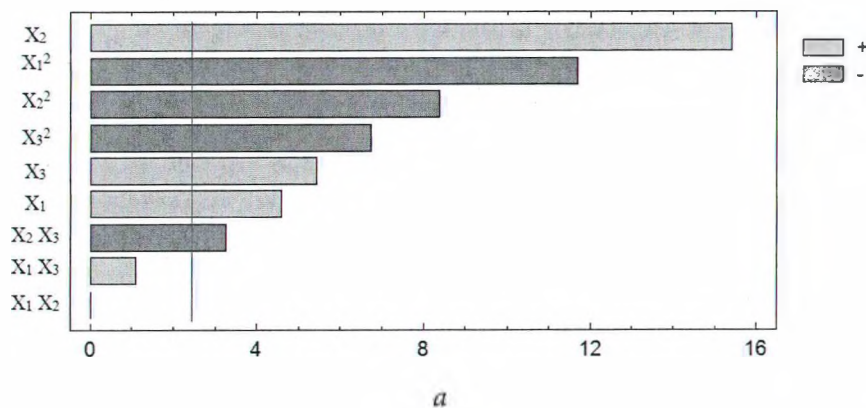


Рис. 1. Графики влияния варьируемых факторов на крепость зрелой бражки:
 а – Карта Парето; б – эффекты отклика

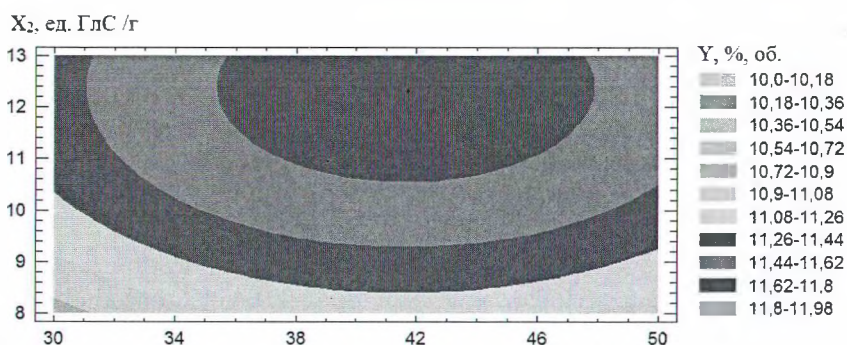
$$Y = 1,900 + 0,200X_1 + 0,770X_2 + 24,160X_3 - 0,857X_2 X_3 - 0,003X_1^2 - 0,029X_2^2 - 117,625X_3^2. \quad (1)$$

Работоспособность модели подтверждается высоким коэффициентом детерминации R-squared – 98,69 %.

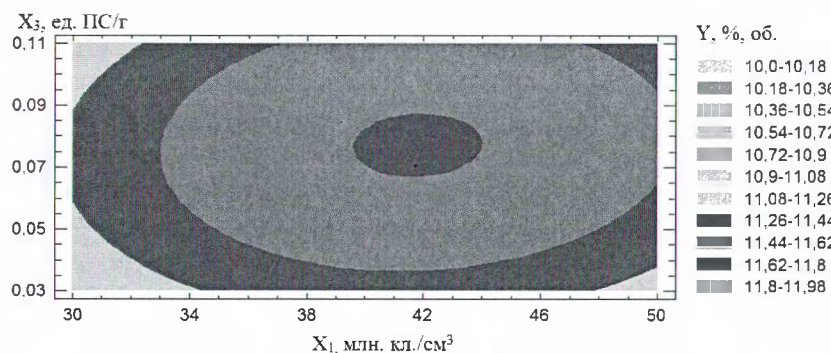
С целью более детального рассмотрения графических зависимостей функции отклика от варьируемых факторов, установления необходимого и достаточного расхода ферментных препаратов (глюкоамилаза и кислая протеаза) и оптимальной начальной концентрации дрожжевых клеток в начале процесса спиртового брожения были изучены контурные графики (рис. 2). На основании анализа графических зависимостей были установлены области значения факторов, где наблюдаются наилучшие результаты по оптимизации крепости зрелой бражки в процессе брожения.

Изучение графических зависимостей позволяет утверждать, что для сбраживания высококонцентрированного суслу с обеспечением наибольшего уровня накопления этилового спирта в зрелой бражке оптимальной является начальная концентрация дрожжевых клеток 40,0–44,0 млн кл/см³. При данной концентрации дрожжевых клеток максимальные значения крепости зрелой бражки (11,62–11,80 об%) были достигнуты при расходе протеолитического ферментного препарата 0,065–0,090 ед. ПС/г усл. крахмала. Учитывая высокую стоимость данной группы препаратов, установлено, что наиболее экономически целесообразно его применять при дозировке 0,065 ед. ПС/г усл. крахмала.

При начальной концентрации дрожжевых клеток 40,0–44,0 млн кл/см³ и расходе протеолитического ферментного препарата 0,065 ед. ПС/г усл. крахмала, согласно рис. 2, б, оптимальный расход ферментного препарата с глюкоамилазной активностью колеблется в интервале 10,6–



а



б

Рис. 2. Зависимость функции отклика от варьируемых факторов: а – дозировки глюкоамилазы и начальной концентрации дрожжевых клеток; б – дозировки кислой протеазы и начальной концентрации дрожжевых клеток

11,0 ед. ГлС/г усл. крахмала. Учитывая, что ферментный препарат с глюкоамилазной активностью определяет окончательную глубину гидролиза предельных декстринов и остаточного крахмала в процессе спиртового брожения, рациональный расход ферментного препарата составит не более 11,0 ед. ГлС/г усл. крахмала.

Заключение. Изучение аналитической зависимости и графического материала биосинтеза этанола с использованием дифференцированной переработки биополимеров зернового сырья позволяет установить следующие условия оптимизации процесса сбраживания: начальная концентрация дрожжевых клеток – 40,0–44,0 млн кл./см³; нормы расхода ферментных препаратов: глюкоамилазы – не более 11,0 ед. ГлС/г усл. крахмала и кислой протеазы – не более 0,065 ед. ПС/г усл. крахмала. Данные параметры оптимизации позволяют обеспечить накопление крепости зрелой бражки в интервале 11,62–11,80 %.

Список использованных источников

1. Стабников, В. Н. Этиловый спирт / В. Н. Стабников – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 272 с.
2. Стребкова, О. С. Разработка ресурсосберегающей технологии этанола из ИК-обработанного зерна пшеницы: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / О. С. Стребкова. – М., 2007. – С. 164.
3. Лихтенберг, Л. А. Растворение сухих веществ зернового замеса в производстве пищевой биотехнологии / Л. А. Лихтенберг, О. В. Караналкин, А. А. Омельченко. – М.: АГРОНИИТЭИПП, 1991. – С. 22–23.
4. Трофимова, И. И. Исследование и разработка способа сбраживания высококонцентрированного суслу из крахмалистого сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / И. И. Трофимова; МТИПП. – М., 1979. – С. 189.
5. Рухляева, А. П. Технохимический контроль спиртового производства / А. П. Рухляева. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 355 с.
6. Бушин, М. А. Интенсификация процесса производства этилового спирта на основе целенаправленного использования протеолитического ферментного препарата: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / М. А. Бушин. – Воронеж, 2006. – 169 л.

7. Дячкина, А. Б. Роль эндогенных и микробных протеаз в процессе получения и сбраживания ржаного суслу: дис. ... канд. техн. наук : 03.00.04 / А. Б. Дячкина. – М., 2005. – 150 л.
8. Шариков, А. Ю. Разработка экструзионно-гидролитической технологии получения высококонцентрированного зернового суслу в спиртовом производстве: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / А. Ю. Шариков. – М., 2012. – 153 л.
9. Типовой технологический регламент производства спирта из крахмалистого сырья / ВНИИПБТ: утв. Деп. пищ. пром-сти Минсельхозпрода России 04.04.1998. – М.: ВНИИПБТ, 1998. – 79 с.
10. Технологическая инструкция по применению комплексных ферментных препаратов АмилоМакс Т, ГлюкоМакс, ВискоМакс, ПротоМакс производства Республиканского производственного дочернего унитарного предприятия «Мариз» Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» в спиртовой промышленности: ТИ ВУ 190239501.5.803-2011/ Т. М. Тананайко: утв. Науч.-практ. центр НАН Беларуси по продовольствию 26.01.2011. – Введ. 26.01.2011. – Минск, 2013. – 25 с.

УДК 635.24:631.573:664.03

А. А. ШЕПШЕЛЕВ, А. С. ДАНИЛЮК

ВЛИЯНИЕ СОРТОВЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА НА ВЕЛИЧИНУ ПЛОТНОСТИ КЛУБНЕЙ, УДЕЛЬНОГО ВЕСА И СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ

*Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию,
Минск, Беларусь, e-mail: shepshelev@belproduct.com; as_danilyuk_belproduct@mail.ru*

Изучены физико-механические свойства клубней топинамбура для трех сортов топинамбура (технологичных – Французский, Канадский и нетехнологичного – Белый урожайный), влияющие на факторы разделения: размерно-массовая характеристика клубней различной фракции; плотность клубней; удельный вес; скорость осаждения клубней топинамбура в воде. Установлены эмпирические зависимости скорости осаждения клубней топинамбура от плотности, массы и качественных характеристик, которые будут использованы для создания аппарата.

Ключевые слова: клубни топинамбура, плотность, скорость осаждения, размерно-массовая характеристика.

A. A. SHEPSHELEV, A. S. DANILYUK

INFLUENCE VARIETAL AND QUALITATIVE FEATURES TOPINAMBUR CROP DENSITY ON VALUE TUBERS, SPECIFIC GRAVITY AND RATE OF DEPOSITION

*The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs, Minsk, Belarus,
e-mail: hepshelev@belproduct.com; as_danilyuk_belproduct@mail.ru*

Mechanical properties (size and weight characteristic, density, relative density, speed of sedimentation in water) of three grades of Jerusalem artichoke tubers (technological grades – French, Canadian, and non-technological grades – White fruitful), influencing on divisions factors, are studied. Empirical equation of the speed of Jerusalem artichoke tubers' sedimentation from density, weight and qualitative characteristics which will be used for device creation are established.

Keywords: jerusalem artichoke tubers, density, speed of sedimentation, size and weight characteristics.

В условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешнем продовольственных рынках для повышения конкурентоспособности отечественных производителей на первое место выходят вопросы снижения себестоимости и повышения качества отечественной продукции.

В структуре производимой продукции сельского хозяйства плодоовощная занимает немало-важное значение. Вопросы ее переработки также являются актуальными, а операция предварительной обработки определяющей. В связи с этим проведение исследований (мойка, разделение и т. д.) являются значимыми для формирования качества конечного продукта.

© Шепелев А. А., Данилюк А. С., 2016