

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СБРАЖИВАНИЯ СУСЛА ИЗ ИНУЛИН- И КРАХМАЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ РАС ДРОЖЖЕЙ

Е. М. Моргунова, Ю. С. Пусовская, А. А. Пушкарь, Д. В. Хлиманков

Проведен процесс сбраживания сусла из разнообразного видового состава клубней топинамбура в смеси с зерновым сырьем при использовании различных рас дрожжей. Обобщены данные по накоплению биомассы во время брожения, динамике выделения диоксида углерода, а также результаты изученных данных технологических показателей зрелой бражки при переработке смешанного инулин- и крахмалсодержащего сырья. Установлены перспективные сорта клубней топинамбура и расы дрожжей, обеспечивающие наиболее высокий выход спирта.

Введение

Важнейшим направлением развития спиртовой отрасли является повышение эффективности производства, увеличение выхода и качества продукции, снижение ее себестоимости. Один из путей повышения рентабельности производства этанола заключается в поиске альтернативных сырьевых ресурсов, т.к. в структуре себестоимости спирта сырье занимает более 60 % от общих затрат. Таким образом, замена его на нетрадиционное более дешевое сырье позволит повысить рентабельность производства и одновременно сэкономить ценные пищевые ресурсы страны – зерно. Для производства спирта можно рассматривать любое сырье, содержащее сахара или полисахариды, которые в результате гидролиза превращаются в сбраживаемые вещества [1]. Этим требованиям удовлетворяют как растительные материалы, так и некоторые виды сахаросодержащих вторичных продуктов производств. Анализ литературных источников и проведенный патентный поиск показали, что для производства спирта можно использовать такой нетрадиционный вид сырья, как инулинсодержащее, в частности топинамбур, являющийся одним из самых перспективных в спиртовой промышленности [2, 3].

Широкий интерес, возникший к производству этилового спирта из топинамбура, объясняется его химическим составом, т.к. клубни топинамбура являются источником сбраживающих сахаров (инулин, инулиды, олигосахариды, фруктоза). В нем содержится достаточно азотистых веществ, микро- и макроэлементов. Клубни богаты витаминами, обладают активным комплексом ферментов, гидролизующих инулин [4].

Определяющими для химического состава клубней топинамбура являются множество факторов: условия выращивания, агротехника, климатические условия, зона выращивания, сорт топинамбура и т.п. В зависимости от множества таких факторов, выход этилового спирта может варьировать в различном диапазоне.

В работах отечественных и зарубежных специалистов показана перспективность использования топинамбура для производства этанола [5, 6].

С позиции спиртового производства трудности в переработке клубней топинамбура представляют собой пектиновые вещества топинамбура. Их деструкция в процессе жесткого термического разваривания сырья может служить причиной накопления в бражке сверхнормативного количества метанола.

Вместе с тем, клубни топинамбура из-за структурных свойств покровных тканей плохо сохраняются, поэтому данный вид сырья может рассматриваться только как дополнительный. Поэтому проведение работ в направлении разработки научных основ технологии производства этанола из смешанного (инулин- и углеводсодержащего) сырья несомненно является перспективным и актуальным.

Сусло из топинамбура имеет свои специфические характеристики, так как в качестве ос-

новых сбраживаемых углеводов в нем содержатся фруктоза и фруктозаны разной молекулярной массы. Последние можно рассматривать как аналоги декстринов.

Сбраживание суслу является важнейшим процессом в технологии спиртового производства, так как на этом этапе идет конечный ферментативный гидролиз полисахаридов различной молекулярной массы и образование спирта под действием ферментного комплекса дрожжей. Подготовленное суслу спиртового производства, полученное из клубней топинамбура и зернового сырья, представляет собой сложную систему, в состав которой наряду с легкосбраживаемыми сахарами, такими как мальтоза, глюкоза, фруктоза, входят и промежуточные продукты распада крахмала и инулина, неусваиваемые дрожжевыми клетками.

В технологии спиртового производства эффективность процесса определяется способами подготовки основного сырья к сбраживанию, а также характеристиками применяемых засевных дрожжей. Качество подготовки и состояние полученной засевной биомассы дрожжей определяют выход этанола из единицы перерабатываемого сырья, а также накопление в бражке побочных продуктов спиртового брожения.

Целью исследований являлось изучение процесса сбраживания суслу из инулин- и крахмалсодержащего сырья различными расами дрожжей, позволяющего создать технологические предпосылки по увеличению выхода этилового спирта, за счет использования в качестве инулинсодержащего сырья клубней топинамбура, выращенного в различных регионах Республики Беларусь.

Результаты исследований и их обсуждение

В качестве объектов исследований использовали образцы клубней топинамбура следующих сортов:

- клубни топинамбура сорта Десертный, выращенные в Могилевской области (Костюковичский район, домашнее хозяйство) (далее – клубни топинамбура Десертный);
- клубни топинамбура сорта Диетический, выращенные в Могилевской области (г. Могилев, домашнее хозяйство) (далее – клубни топинамбура Диетический);
- клубни топинамбура сорта Канадский, выращенные в Гомельской области (г. Гомель, домашнее хозяйство) (далее – клубни топинамбура Канадский).

В качестве зернового сырья использовали образец зерна ржи, отобранный на филиале «Ивацевичский спиртзавод» ОАО «Брестский ЛВЗ «Белалко».

Приготовление замеса (кашки) из топинамбура и зернового сырья, их ферментативный гидролиз с получением суслу проводили в лаборатории отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

При подготовке замесов из смеси клубней топинамбура и зерна осуществляли раздельное приготовление каши топинамбура изучаемых сортов трех видов и зернового замеса. Кашку из клубней топинамбура готовили по ранее установленным режимам водно-тепловой и ферментативной обработки: продолжительность процесса 0,5 часа при температуре 55 °С и рН = 5,5–5,6 ед. (рН каши корректировалась путем внесения серной кислоты); гидромодуль сырья и технологической воды 1:1,25. Перед внесением технологической воды клубни топинамбура измельчали до размера частиц не более 3 мм.

Подготовку зернового замеса осуществляли согласно следующим режимам механико-ферментативной обработки: продолжительность процесса 0,5 часа при температуре 55 °С и рН=6,0–6,1 ед.; гидромодуль 1:3,0. Степень помола зерна (проход через сито диаметром отверстий 1 мм) составляла 94 %–95 %.

Для гидролиза некрахмалистых полисахаридов использовали ферментный препарат ВискоМакс (2 гр.) при расходе 0,17 дм³ на тонну сухих веществ зерна, крахмала – ферментный препарат термостабильной α -амилазы Ликвафло при расходе 0,3 ед. АС/г условного крахмала.

Полученные образцы кашек и зернового замеса объединяли в соотношении 30:70, т.к. на предыдущих этапах работ данное соотношение сырьевых компонентов установили наиболее оптимальным. При этом температуру водно-тепловой и ферментативной обработки повышали от 80 °С до 83 °С. Процесс гидролиза осуществляли в течение 3,0 часов.

В подготовленное сусло из смеси клубней топинамбура и зернового сырья с рН=5,0 вносили ферментный препарат глюкоамилазы ГлюкоМакс с активностью 13000 ед. ГлС/см³ (из расчета 8,0 ед. ГлС/г условного крахмала ржи) и ферментный препарат инулиназы Новозим 960 (Novozym 960) с активностью (1325±25) ед./см³ (из расчета 0,27 ед./г сухих веществ топинамбура). Полученное сусло охлаждали до температуры складки от 28 °С до 30 °С и засеивали дрожжами расы *Saccharomyces cerevisiae* торговых марок Spirit Malt и Oenoferm C2 из расчета их начального содержания в сусле 20 млн. кл./см³. Процесс брожения проводили при температуре от 28 °С до 30 °С в течение 66 часов. Характеристика экспериментальных образцов сусла из смеси ржи и клубней топинамбура различных сортов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика экспериментальных образцов сусла из смеси ржи и клубней топинамбура различных сортов

№ п/п	Сорт топинамбура	Раса дрожжей	Содержание растворимых сухих веществ, %	рН (при (30 ± 1) °С)	РВ, %
1	Десертный	Oenoferm C2	17,3± 0,2	5,04± 0,02	7,0± 0,2
2	Диетический		16,9 ± 0,1	5,06± 0,02	6,9± 0,2
3	Канадский		17,0 ± 0,2	5,08± 0,01	7,0± 0,2
4	Десертный	Safspirit Malt	17,3± 0,2	5,04± 0,02	7,0± 0,2
5	Диетический		16,9 ± 0,1	5,06± 0,01	6,9± 0,2
6	Канадский		17,0 ± 0,2	5,08± 0,01	7,0± 0,2

Образцы 1, 2, 3 засеивали дрожжами Oenoferm C2, а 4, 5, 6 – дрожжами Spirit Malt, где образцы 1, 4 – сусло из смеси ржи и клубней топинамбура сорта Десертный, а образцы 2, 5 и 3, 6 – сусло из смеси ржи и клубней топинамбура сортов Диетический и Канадский, соответственно. Общее содержание растворимых сухих веществ во всех образцах находилось в интервале от 16,9 % до 17,3 %, причем максимальное значение данного показателя отмечено для образца сусла из смеси ржи и клубней топинамбура сорта Десертный. Общее содержание редуцирующих веществ находилось примерно в одинаковом диапазоне и составило 6,9 %–7,0 %, рН на уровне 5,04–5,08.

В процессе экспериментов исследуемые образцы сусла изучали по следующим технологическим показателям: накопление дрожжевой биомассы и количество почкующихся клеток в процессе сбраживания (18, 36, 66 часов); динамику выделения углекислого газа при ферментации, рН, концентрацию редуцирующих веществ и крепость зрелой бражки.

Динамику процесса сбраживания сусла из смеси ржи и клубней топинамбура различных сортов изучали по количеству выделяющегося при брожении углекислого газа.

Исследование динамики выделения диоксида углерода в процессе брожения проводили на сусле, находящемся в конических колбах вместимостью 500 см³, закрытых резиновой пробкой с гидрозатвором. При подготовке экспериментальных образцов, с целью оценки скорости спиртового брожения, в подготовленное сусло вносили засевные дрожжи, после чего вставляли резиновую пробку с гидрозатвором и взвешивали на технических весах с точностью до 0,01 г. В процессе сбраживания проводили взвешивание конических колб. Результаты контроля выделения углекислого газа при сбраживании сусла из смеси ржи и клубней топинамбура различных сортов дрожжами Oenoferm C2 и Spirit Malt представлены на рисунке 1.

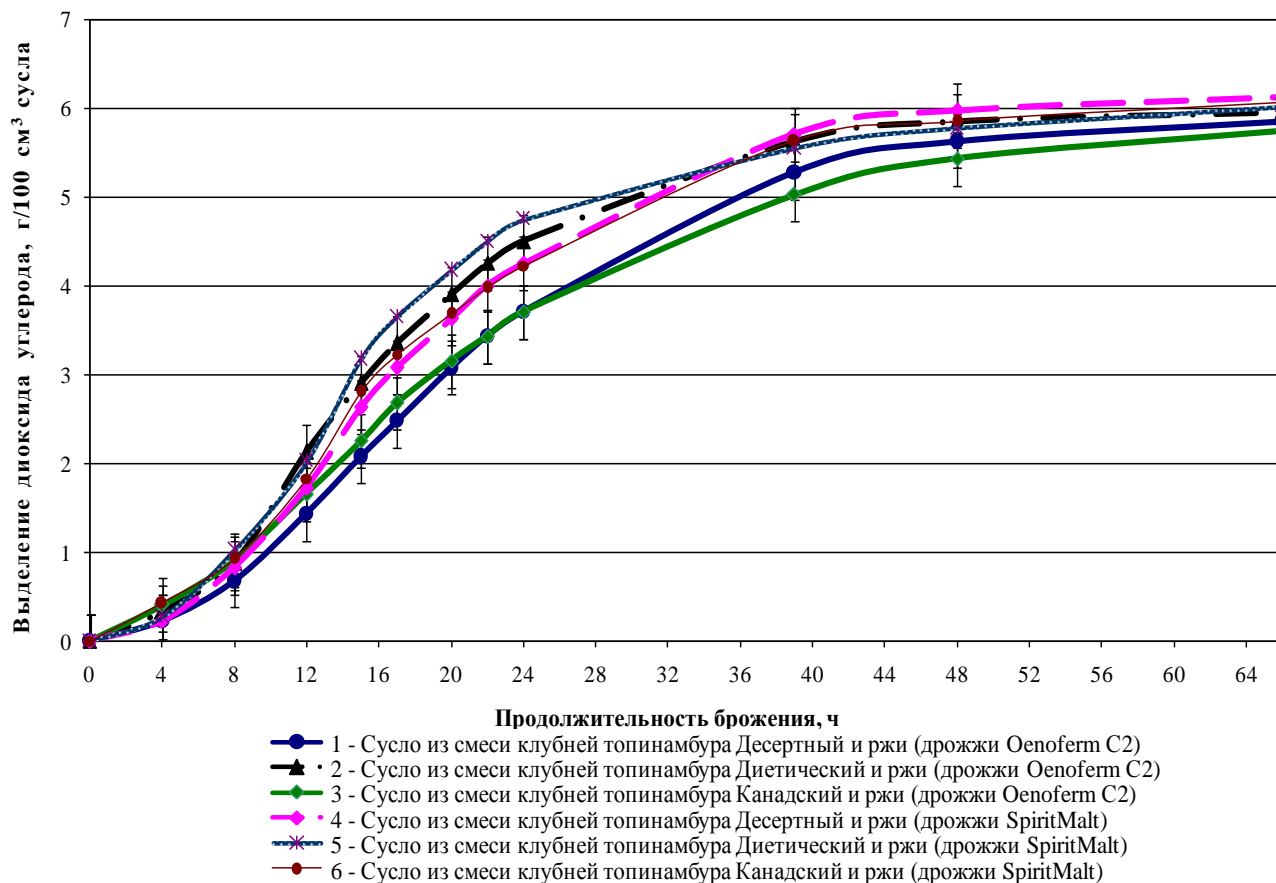


Рисунок 1 – Динамика выделения углекислого газа при сбраживании суслу из смеси ржи и клубней топинамбура различных сортов

При использовании дрожжей как расы Spirit Malt, так и Oenoferm C2 отмечено интенсивное возбуждение образцов суслу из смеси ржи и клубней топинамбура всех сортов. Уже к 8 часам брожения количество выделившегося углекислого газа составило 0,68–1,03 г на 100 см³ сбраживаемого суслу. Накопление диоксида углерода в образцах 1 и 3 (суслу из смеси ржи и клубней топинамбура сортов Десертный и Канадский) при использовании дрожжей расы Oenoferm C2 на протяжении всего процесса брожения, вплоть до его окончания, уступало остальным образцам и составило 5,75 и 5,85 г на 100 см³ сбраживаемого суслу, соответственно.

При этом отмечено превалирование выделения диоксида углерода с использованием дрожжей Oenoferm C2 при сбраживании суслу из смеси ржи и клубней топинамбура сорта Диетический (5,95 г/100 см³ суслу), а в случае применения дрожжей расы Spirit Malt наибольшее количество диоксида углерода выделилось при сбраживании суслу из смеси ржи и клубней топинамбура Десертный (6,13 г/100 см³ суслу).

Процесс главного брожения суслу из смеси ржи и клубней топинамбура всех сортов для дрожжей Oenoferm C2 и Spirit Malt завершался к 40–44 часам, при этом количество выделившегося диоксида углерода находилось в интервале от 5,03 до 5,63 г/100 см³ суслу, что составляет 93 %–98 % от общего количества, синтезированного к 66 часам сбраживания; после 44 часов процесс переходил в стадию дображивания. Причем на протяжении всего процесса главного брожения наиболее интенсивное выделение диоксида углерода отмечено в образце суслу из смеси ржи и клубней топинамбура сорта Диетический при использовании дрожжей Spirit Malt, а в ходе дображивания выделение диоксида углерода выровнилось и по

истечения 66 часов уровень накопления углекислого газа для образцов 4, 5, 6 находился приблизительно на одинаковом уровне (6,06–6,13 г/100 см³ сусла).

Таким образом, рассматривая экспериментальные образцы в разрезе используемых рас дрожжей отмечено, что наибольшее количество углекислого газа выделилось в образцах, засеянных дрожжами Spirit Malt, что позволяет сделать вывод о высокой бродительной энергии данной расы дрожжей.

Дополнительно в процессе сбраживания сусла из смеси ржи и клубней топинамбура различных сортов контролировали уровень накопления дрожжевой биомассы на 18, 36 и 66 часов брожения путем подсчета количества клеток в камере Горяева. Результаты по накоплению дрожжевой биомассы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Накопление дрожжевой биомассы на 18, 36 и 66 часов брожения

№ образца	Дрожжи	Накопление дрожжевой биомассы на 18 часов		Накопление дрожжевой биомассы на 36 часов		Накопление дрожжевой биомассы на 66 часов	
		количество дрожжевых клеток, млн. кл./см ³	количество почкующихся клеток, %	количество дрожжевых клеток, млн. кл./см ³	количество почкующихся клеток, %	количество дрожжевых клеток, млн. кл./см ³	количество почкующихся клеток, %
1 2 3	Oenoferm C2	205± 5	36± 1	225± 5	23± 1	275 ± 5	4± 1
		165± 5	34± 1	215± 5	32± 1	235 ± 5	3± 1
		148± 5	43± 1	180± 5	22± 1	220 ± 5	5± 1
4 5 6	Spirit Malt	62± 2	50± 1	91± 2	35± 1	124 ± 2	3± 1
		60± 2	56± 1	84± 2	26± 1	99 ± 2	8± 1
		63± 2	32± 1	99± 2	25± 1	108 ± 2	3± 1

Из данных, представленных в таблице 2, следует, что наибольшее накопление дрожжевой биомассы в ходе всего процесса брожения отмечено в образцах сусла с использованием дрожжей расы Oenoferm C2, что может быть обусловлено морфологическими особенностями данных дрожжевых клеток.

Анализ роста дрожжевой биомассы в изучаемых образцах на протяжении всего процесса брожения в целом показал, что как при использовании дрожжей расы Oenoferm C2, так и Spirit Malt наибольшее количество дрожжевых клеток отмечено в образцах сусла из смеси ржи и клубней топинамбура сорта Десертный (от 205 до 275 млн. кл./ см³ и от 62 до 124 млн. кл./см³, соответственно). Причем для всех образцов количество почкующихся клеток уменьшалось в ходе всего процесса брожения (от 32 %–56 % клеток на 18 часов до 3 %–8 % клеток на 66 часов брожения).

С целью визуализации результаты по микрокопированию зрелых дрожжей рас Oenoferm C2 и Spirit Malt в образцах сусла из смеси ржи и клубней топинамбура сорта Десертный (с наибольшим уровнем накопления дрожжевой биомассы) представлены на рисунке 2.

При анализе физиологического состояния дрожжей рас Oenoferm C2 и Spirit Malt было установлено различие в их морфологических признаках. Дрожжи расы Spirit Malt в сравнении с расой Oenoferm C2 имеют более крупные клетки размером 6–8 мкм, четкую овальную форму и зернистую цитоплазму, упитанность по гликогену составляла 1/3–2/3 от величины дрожжевых клеток. В свою очередь, клетки дрожжей расы Oenoferm C2 имеют размер 3–5 мкм, упитанность по гликогену – 1/3–1/2.

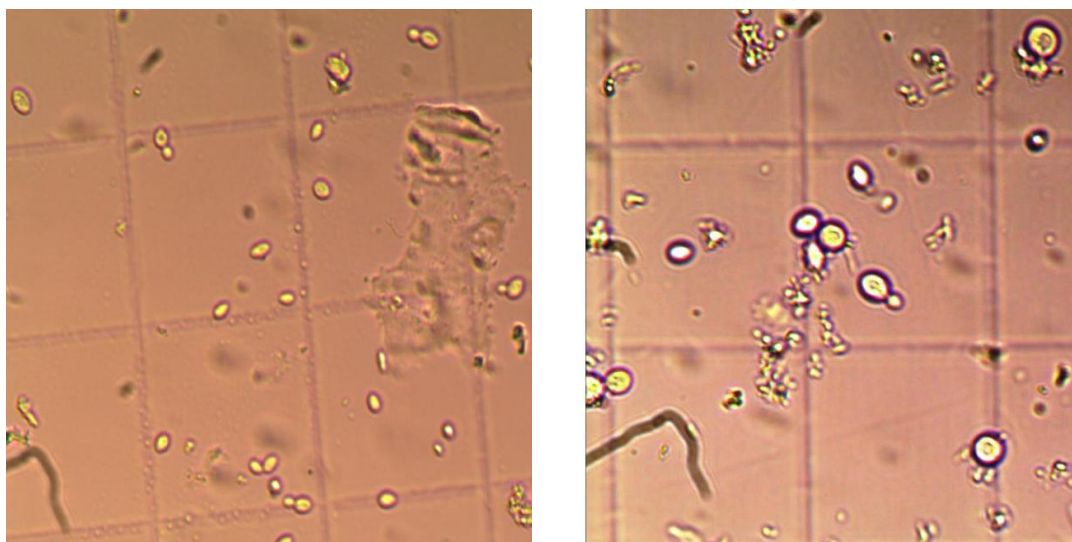


Рисунок 2 – Микрокопирование (40x10) готовых засевных дрожжей рас Oenoferm C2 и Spirit Malt при их разведении в 20 раз

С целью сравнения глубины выбраживания образцов сусла с различными расами дрожжей проанализированы показатели технoхимического контроля зрелой бражки. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели зрелой бражки сусла из смешанного инулин- и крахмалсодержащего сырья при использовании двух рас дрожжей

Показатели зрелой бражки сусла из различных сортов топинамбура и ржи					
Дрожжи Oenoferm C2			Дрожжи Spirit Malt		
сусло из ржи и клубней топинамбура сорта Десертный	сусло из ржи и клубней топинамбура сорта Диетический	сусло из ржи и клубней топинамбура сорта Канадский	сусло из ржи и клубней топинамбура сорта Десертный	сусло из ржи и клубней топинамбура сорта Диетический	сусло из ржи и клубней топинамбура сорта Канадский
<i>pH</i>					
4,24	4,23	4,22	4,27	4,21	4,24
<i>PВ, %</i>					
0,20 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,34 ± 0,02	0,29 ± 0,02
<i>Крепость зрелой бражки, об. %</i>					
7,8 ± 0,1	7,9 ± 0,1	7,8 ± 0,1	8,3 ± 0,1	8,0 ± 0,1	8,2 ± 0,1

По значениям активной кислотности зрелой бражки (pH), представленным в таблице 3, можно говорить о микробиологической чистоте спиртового брожения. Значение pH экспериментальных образцов находится приблизительно на одном уровне в нормируемых пределах для спиртового производства.

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что с использованием дрожжей расы Spirit Malt содержание этилового спирта в зрелой бражке достигало 8,0–8,3 % об., что на 2,6 %–6,4 % выше, чем при использовании дрожжей расы Oenoferm C2. Полученные результаты вполне объяснимы, т.к. на предыдущих этапах работ было установлено, что дрожжи расы Spirit Malt обладают высокой бродильной энергией.

Причем во всех образцах сусла с использованием дрожжей расы Oenoferm C2 значение данного показателя находилось приблизительно на одном уровне (7,8 %–7,9 %), а в случае применения дрожжей расы Spirit Malt наибольшее количество этилового спирта отмечено в

образце сусла из смеси ржи и клубней топинамбура сортов Десертный и Канадский (8,3 % и 8,2 % об., соответственно), что позволяет говорить о перспективности применения клубней топинамбура данных сортов. Вместе с тем эффективной является и переработка топинамбура сорта Диетический. Концентрация редуцирующих веществ изменяется в интервале от 0,20 % до 0,22 % для сусла с дрожжами Oenoferm C2 и от 0,28 % до 0,34 % при использовании дрожжей Spirit Malt.

Заключение

Проведен процесс сбраживания сусла из разнообразного видового состава клубней топинамбура в смеси с зерновым сырьем при использовании различных рас дрожжей. Обобщены данные по накоплению биомассы во время брожения, динамике выделения диоксида углерода, а также результаты изученных данных технологических показателей зрелой бражки при переработке смешанного инулин- и крахмалсодержащего сырья, что позволяет создать технологические предпосылки по увеличению выхода этанола. Установлено, что наибольшее накопление этилового спирта наблюдалось при использовании дрожжей расы Spirit Malt при переработке клубней топинамбура сортов Десертный и Канадский в смеси с зерновым сырьем.

Литература

- 1 Вагабов, М. В. Применение ферментных препаратов с целью ускорения гидролиза инулина при производстве этилового спирта / М. В. Вагабов, З. М. Керимова, Т. В. Мальцева, О. С. Корнеева // Биотехнология. – 2005. – № 1. – С. 34–36.
- 2 Зимин, В. С. Экономическая эффективность механизации возделывания и переработки топинамбура: автореф. дисс.... к.э.н.: 08.00.05 / В.С. Зимин АО «ВИСХОМ». – М., 1997. – 19 с.
- 3 Федорченко, Л. А. Метод определения фракционного состава углеводного комплекса инулинсодержащего сырья/Л.А. Федорченко//Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 12. – С. 24–26.
- 4 Кахана, Б. М. О полисахаридах в ортогенезе топинамбура. Растительные полисахариды / Б. М. Кахана. – М., 1970. – С. 52–74.
- 5 Федорченко, Л. А. Изменение фракционного состава углеводного комплекса топинамбура весеннего урожая при его хранении / Л. А. Федорченко, Л. Д. Бобровник // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1997. – № 12. – С. 17–18.
- 6 Фурманова, И. Б. Биохимические изменения топинамбура при его хранении / И. Б. Фурманова, Л. Н. Крикунова, К. А. Калунянц // Пищевая технология. – Краснодар, 1989. – 9 с.

Поступила в редакцию 06.12.2018