DOI 10.21603/2074-9414-2018-1-57-65
УДК 663.531

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОАКТИВИРОВАННОГО ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. А. Миронцева*, Е. А. Цед, С. В. Волкова

УО «Могилевский государственный университет продовольствия», 212027, Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, 3

**e-mail: anna_mirontseva@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 03.11.2017
Дата принятия в печать: 16.03.2018

© А. А. Миронцева, Е. А. Цед, С. В. Волкова, 2018

Аннотация. В производстве этилового спирта Республики Беларусь наибольший удельный вес в валовой переработке зерновых культур и государственных заготовках занимает тритикале, при переработке которой основная трудность обусловлена образованием вязких технологических сред из-за наличия в химическом составе некрахмальных полисахаридов. Все мероприятия по решению данной проблемы сводятся к подбору эффективных ферментных препаратов, гидролизующих полимеры зерна в низкомолекулярные соединения, способные утилизироваться дрожжевыми клетками с образованием этилового спирта. Собственные ферменты зерна при этом не задействованы. Решение данной проблемы возможно путем биологической активации, использование которой позволит активировать ферментные системы зерна и частично гидролизовать полимеры зерна до низкомолекулярных соединений. В работе изучены общие и специальные технологические показатели шести сортов тритикале белорусской селекции: Антось, Кастусь, Дубрава, Рунь, Прометей, Импульс. Выявлено, что наиболее перспективными сортами для процесса биоактивации и производства пищевого этилового спирта являлись сорта Антось и Дубрава. Исследована возможность использования горячего замачивания зерна тритикале для его биологической активации. Показана целесообразность внесения при горячем замачивании зеленой массы амаранта в количестве 8 % для снижения микробиологической обсемененности зерна. Изучено изменение технологических свойств тритикале сортов Антось и Дубрава после биоактивации с зеленой массой амаранта. Отмечено улучшение микробиологических характеристик зерна, повышение активности зерновых ферментов, увеличение количества низкомолекулярных соединений. Исследованы процессы, протекающие при получении сусла и бражки из биоактивированного зерна тритикале. Установлено, что переработка биоактивированного зерна тритикале приводила к получению сусла с высокой концентрацией сухих веществ, что позволило увеличить содержание этанола в зрелой бражке из сорта тритикале Антось на 19,5 %, из сорта тритикале Дубрава – на 29,3 % и снизить суммарное количество основных примесей в дистиллятах.

Ключевые слова. Тритикале, амарант, биоактивация, сусло, зрелая бражка, этанол

Для цитирования: Миронцева, А. А. Обоснование применения биоактивированного зерна тритикале в спиртовом производстве / А. А. Миронцева, Е. А. Цед, С. В. Волкова // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 1. – С. 57–65. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-57-65.

JUSTIFICATION OF BIOACTIVATED GRAIN TRITICALE USE IN ALCOHOL PRODUCTION

A.A. Mirontseva*, E.A. Tsed, S.V. Volkova

Mogilev State University of Food Technologies, 3, Schmidta Ave., Mogilev, 212027, Belarus

**e-mail: anna_mirontseva@mail.ru*

Received: 03.11.2017
Accepted: 16.03.2018

© A.A. Mirontseva, E.A. Tsed, S.V. Volkova, 2018

Abstract. Triticale accounts for the biggest share in gross processing and state procurement of grain in Belarussian production of alcohol. The main difficulty in its processing is the formation of viscous technological fluids due to the presence of non-starch polysaccharides in its chemical composition. All measures taken to solve the problem come down to the selection of the efficient enzyme preparations, hydrolyzing grain polymers into low molecular weight compounds, which have the ability to be disposed by the yeast cells and form the ethyl alcohol. But grain own enzymes are not involved. It is possible to solve the problem by means of biological activation, which will activate grain enzyme systems and partially hydrolyze grain polymers into low molecular weight compounds. The article considers general and special technological parameters of six cultivars of triticale selected in the Republic of Belarus: Antos, Kastus, Dubrava, Run, Prometheus, Impulse. The authors determined that the most promising cultivars for bioactivation and food grade ethyl alcohol production are Antos and Dubrava. The authors explored the possibility of using hot soaking of triticale grain for the biological activation. They also showed the advantages of introduction of amaranth green mass in the amount of 8% during hot soaking for the reduction of grain microbiological contamination. They studied the changes in the technological properties of triticale cultivars Antos and Dubrava after the bioactivation with the green mass of amaranth. The authors determined that grain microbiological characteristics improved, the activity of grain enzymes increased, proportion of low molecular weight compounds in the chemical composition increased. They studied the processes taking place during wort and mash production

from the bioactivated triticale grain. The authors showed that the processing of bioactivated triticale grain resulted in the production of wort with higher concentration of dry matter which allowed to increase the ethanol content in the mature mash produced from triticale cultivar Antos by 19.5% and from the triticale cultivar Dubrava by 29.3% and reduce the total quantity of the main impurities in distillates.

Keywords. Triticale, amaranth, bioactivation, wort, mature mash, ethanol

For citation: Mirontseva A.A., Tsed E.A., Volkova S.V. Justification of Bioactivated Grain Triticale Use in Alcohol Production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 1, pp. 57–65 (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-57-65.

Введение

В настоящее время сдерживающим фактором снижения материалоемкости и увеличения рентабельности производства в спиртовой отрасли является низкая эффективность использования зернового сырья. При производстве спирта среди всех зерновых культур наибольший удельный вес в валовой переработке и государственных заготовках Республики Беларусь занимает тритикале. Помимо высокого содержания ценных биополимеров (крахмала, белка) и комплекса гидролитических ферментов зерно тритикале характеризуется высоким содержанием некрахмальных полисахаридов, из-за наличия которых могут формироваться такие вязкие технологические среды, как замес и сусло, тяжело подвергаемые ферментативному гидролизу, а продукты гидролиза не усваиваются либо усваиваются дрожжевыми клетками частично [1–3].

Показано, что повысить продуктивность переработки всех составных частей зерна тритикале возможно путем применения биологической активации – влагонасыщения зерен, сопровождающегося под действием воды, тепла и воздуха эмбриональным пробуждением, в ходе которого в зерне происходит синтез и активация ферментов, частичный гидролиз высокомолекулярных веществ до низкомолекулярных продуктов расщепления [4, 5]. Использование биоактивации применительно к сырью спиртового производства будет способствовать его глубокой технологической переработке и конверсии веществ зерна в этанол, сокращению расхода ферментных препаратов за счет действия собственных ферментов зерна. Поэтому исследование возможности использования биоактивации применительно к зерновому сырью спиртового производства является актуальным.

Целью работы стало обоснование применения биоактивированного зерна тритикале в спиртовом производстве для повышения выхода и качества пищевого этилового спирта.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследований были выбраны шесть сортов тритикале, селекционированных в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (г. Жодино) и внесенных в Государственный реестр Республики Беларусь: Антось, Кастусь, Дубрава, Рунь, Прометей, Импульс. В качестве антисептирующего средства использовали искусственно высушенную зеленую массу амаранта (*Amaranthus*).

При выполнении работы применялись общепринятые и специальные органолептические, физические, физико-химические, микробиологические, хроматографические методы оценки и анализа свойств зерна тритикале, биоактивированного зерна тритикале, зерновых замесов, осахаренного сусла, зрелой бражки и ее дистиллятов [6]. Исследования проводились в лаборатории кафедры технологии пищевых производств МГУП.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы проводили комплексную оценку зерна тритикале по общим и специальным показателям качества с целью выявления наиболее перспективных сортов. Общие показатели зерна тритикале регламентированы СТБ 1522, специальные показатели качества характеризуют технологические свойства зерна для получения пищевого этилового спирта [7].

Из табл. 1 видно, что по органолептическим показателям все сорта тритикале соответствовали требованиям СТБ 1522. Зерно имело здоровое негреющееся состояние, свойственные нормальному зерну запах и цвет. По содержанию влаги все сорта относились к категории «сухое», содержание сорной и зерновой примеси находилось в пределах установленных значений. Зараженности вредителями не выявлено. Наибольшее значение натуры (объемной массы), влияющей на содержание эндосперма зерна, отметили в зерне сортов Импульс и Прометей, наименьшее – в зерне сорта Кастусь.

Таблица 1 – Общие показатели качества зерна тритикале различных сортов

Table 1 – General quality parameters of different triticale grain cultivars

Наименование показателей	Сорта тритикале					
	Антось	Кастусь	Дубрава	Рунь	Импульс	Прометей
Состояние	здоровое, негреющееся					
Цвет	свойственный нормальному зерну тритикале					
Запах						
Влажность, %	10,0 ± 0,2	10,6 ± 0,2	11,0 ± 0,2	9,2 ± 0,2	10,8 ± 0,2	9,7 ± 0,2
Натура, г/дм^3	705,5 ± 5,0	665,2 ± 5,0	717,0 ± 5,0	688,3 ± 5,0	757,6 ± 5,0	724,0 ± 5,0
Сорная примесь, %	0,3 ± 0,002	0,3 ± 0,002	0,2 ± 0,002	0,2 ± 0,002	0,3 ± 0,002	0,3 ± 0,002
Зерновая примесь, %	0,8 ± 0,004	0,7 ± 0,004	0,8 ± 0,004	0,6 ± 0,004	0,9 ± 0,004	0,8 ± 0,004
Зараженность вредителями	не обнаружено					

Дальнейшие исследования были направлены на изучение специальных показателей качества, представляющих собой комплекс физико-химических, физиологических свойств, химического состава, ферментативных способностей и микробиологических показателей зерна. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о высокой крупности сортов тритикале Антось и Импульс, что указывает на большой запас питательных веществ в зерне данных сортов. Наименьшую величину абсолютной массы сформировали сорта тритикале Рунь и Кастусь.

Оценка сортов тритикале по наиболее важному показателю – содержанию крахмала, от величины которого зависит количество сбраживаемых веществ и выход этилового спирта, выявила его высокий потенциал у большинства сортов. Максимальное количество крахмала отмечали в сортах Антось, Импульс и Дубрава. Указанные сорта также отличались наибольшим содержанием редуцирующих сахаров, что имеет важность в процессах сбраживания спиртового сусла. За счет данных веществ спиртовые дрожжи получают необходимую энергию для обеспечения жизненных процессов [8]. Несбалансированность состава сусла за счет избыточного содержания глюкозы или других легко усваиваемых источников углеводов тормозит рост дрожжевых клеток и приводит к образованию летучих примесей спирта [9]. Минимальным содержанием крахмала и редуцирующих сахаров характеризовались сорта Кастусь и Рунь.

Исследования показали, что зерно всех сортов имело высокое содержание белка, с преобладанием в сортах Кастусь, Рунь и Дубрава. Содержание белка в зерне играет важную технологическую роль при сбраживании спиртового сусла, т. к. продукты гидролиза белка являются потенциальными источниками питания для спиртовых дрожжей [9].

По содержанию аминного азота, главный компонент которого – аминокислоты, которые поступают в сусло и бражку при последующих технологических процессах, превосходили сорта тритикале Рунь, Дубрава и Кастусь. Известно, что наиболее благоприятным путем потребления азота дрожжами является прямая ассимиляция аминокислот из сбраживаемой среды, при этом обеспечивается низкий уровень образования высших спиртов, что немаловажно в ходе получения этилового спирта с высокими органолептическими характеристиками. Также недостаток азотистого питания снижает бродильную активность дрожжей, а полный аминокислотный состав, напротив, ускоряет рост дрожжей и увеличивает выход спирта благодаря экономии сахара на питание клеток. Кроме того, с помощью свободных аминокислот дрожжевая клетка регулирует также синтез ферментов [9, 10].

Обращает внимание высокое содержание жира во всех исследуемых сортах тритикале, показатель которого влияет на кормовое достоинство отхода спиртового производства – барды. Содержание минеральных веществ во всех сортах тритикале варьировалось незначительно. Титруемая кислотность зерна всех сортов, от величины значения которой зависит качество зерна, его сохранность, а также качество полупродуктов спиртового производства – сусла и бражки, лежала в пределах нормативных значений [11].

При переработке тритикале могут возникать проблемы, обусловленные высокой вязкостью замесов из-за наличия в составе зерна некрахмальных полисахаридов. Высокое содержание некрахмальных полисахаридов затрудняет перемешивание замесов, перекачивание их по производственным коммуникациям, влияет на эффективность ферментативной обработки и последующего сбраживания сусла [12]. Выявлено, что содержание некрахмальных полисахаридов в сортах тритикале варьировалось незначительно с преобладанием в сорте Прометей. Минимальным значением данного показателя характеризовалось зерно сортов Импульс, Антось и Дубрава.

Таблица 2 – Специальные показатели качества зерна тритикале различных сортов

Table 2 – Specific quality parameters of different triticale grain cultivars

Наименование показателя	Сорта тритикале					
	Антось	Кастусь	Дубрава	Рунь	Импульс	Прометей
Абсолютная масса, г	43,9 ± 1,6	34,4 ± 1,6	39,3 ± 1,6	35,0 ± 1,6	42,6 ± 1,6	37,3 ± 1,6
Содержание крахмала, %	62,8 ± 0,4	52,5 ± 0,4	60,0 ± 0,4	56,6 ± 0,4	62,6 ± 0,4	58,3 ± 0,4
Редуцирующие сахара, г/100 см^3	0,59 ± 0,02	0,39 ± 0,02	0,52 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,57 ± 0,02	0,47 ± 0,02
Содержание белка, %	11,92 ± 0,08	12,72 ± 0,09	12,38 ± 0,09	12,53 ± 0,09	11,65 ± 0,08	11,85 ± 0,08
Аминный азот, мг/100 см^3	11,08 ± 0,06	11,35 ± 0,06	11,49 ± 0,06	11,56 ± 0,06	10,27 ± 0,05	10,63 ± 0,05
Содержание жира, %	2,91 ± 0,20	2,83 ± 0,20	2,43 ± 0,20	2,53 ± 0,20	2,61 ± 0,20	3,15 ± 0,20
Зольность, %	1,95 ± 0,05	1,78 ± 0,05	1,83 ± 0,05	2,01 ± 0,05	1,94 ± 0,05	1,85 ± 0,05
Титруемая кислотность, град.	2,20 ± 0,2	2,00 ± 0,2	1,80 ± 0,2	2,20 ± 0,2	2,20 ± 0,2	2,00 ± 0,2
Энергия прорастания, %	94,0 ± 5,0	93,0 ± 5,0	93,0 ± 5,0	92,0 ± 5,0	91,0 ± 5,0	91,0 ± 5,0
Способность прорастания, %	98,0 ± 5,0	96,0 ± 5,0	97,0 ± 5,0	95,0 ± 5,0	95,0 ± 5,0	96,0 ± 5,0
Суммарное содержание гемицеллюлозы и пентозанов, %	13,4 ± 1,3	14,1 ± 1,4	13,7 ± 1,4	14,4 ± 1,4	13,4 ± 1,3	14,5 ± 1,5
Содержание пентозанов, %	5,6 ± 0,1	6,9 ± 0,1	6,3 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,4 ± 0,1	5,8 ± 0,1
АС, ед./г	0,90 ± 0,02	1,20 ± 0,03	1,20 ± 0,03	1,20 ± 0,03	0,80 ± 0,02	1,10 ± 0,03
ЦС, ед./г	0,80 ± 0,02	0,70 ± 0,02	0,90 ± 0,02	0,70 ± 0,02	0,70 ± 0,02	0,70 ± 0,02
ПС, ед./г	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,05 ± 0,02

С точки зрения механизма биологической активации зерна большой интерес представляли такие показатели, как способность и энергия прорастания. Анализируя данные таблицы, следует отметить, что в представленных сортах тритикале способность и энергия прорастания находились на высоком уровне. Максимальная энергия и способность прорастания была у зерна сортов Антось и Дубрава.

Так как основной целью биологической активации являлась активация и синтез собственных ферментативных систем зерна, были определены ферментативные способности тритикале различных сортов: амилолитическая, цитолитическая, протеолитическая. Как показали экспериментальные данные, самую высокую амилолитическую способность имели сорта Кастусь, Дубрава и Рунь, по цитолитической и протеолитической способности сорта Антось и Дубрава превосходили прочие сорта.

Известно, что высокая поверхностная обсемененность зернового сырья может оказывать негативное влияние на процесс производства этилового спирта: микроорганизмы-контаминанты утилизируют питательные вещества сусла и образуют метаболиты, токсичные для дрожжей, в результате чего происходит снижение выхода спирта и ухудшение его качества [13]. Поэтому на следующем этапе работы провели оценку степени микробиологической обсемененности тритикале различных сортов по физиологическим группам микроорганизмов. Показано (рис. 1), что зерно всех сортов имело высокую степень микробиологического загрязнения. Причем в большей степени было контаминировано зерно сорта Кастусь, наиболее биологически чистое зерно было у сортов Дубрава и Рунь.

Обобщая результаты оценки общих и специальных технологических показателей шести сортов тритикале белорусской селекции, можно констатировать, что наиболее перспективными сортами, имеющими максимальный потенциал для процесса биоактивации и производства пищевого этилового спирта, являются сорта Антось и Дубрава.

Далее зерно наиболее перспективных сортов Антось и Дубрава подвергали биоактивации. Для биоактивации нами был выбран наиболее простой метод – замачивание зерна до начальной стадии проращивания, характеризующейся минимальным образованием новых вегетативных органов («проклевывание» зерна). Известно, что режимы замачивания могут варьироваться в широких пределах. Температура замачивания может колебаться от 8 до 45 °С, продолжительность процесса при этом составляет от 3 до 48 ч, влажность зерна достигает 30–50 % [14]. При замачивании зерно из состояния покоя переходит в состояние биологической активности – начальную фазу прорастания, когда начинается активизация биохимических процессов (синтез новых белков, витаминов, гормонов, перестройка ферментов) [15]. С целью ускорения процесса активации был использован горячий режим замачивания, характеризующийся повышенной температурой замочной воды.

Известно, что высокая температура замочной воды активизирует ферменты, но до определенного предела. Обычно при температуре 45–55 °С активность ферментов максимальная [16]. Профессором Ф. Д. Братерским с сотрудниками показано, что при тепловой обработке зерна с повышением температуры до 55–65 °С увеличивается активность функциональных групп белков вследствие разворачивания пептидных связей и обнажения новых функциональных групп, эти условия называются границами термоактивации. Однако в случае тепловой обработки зерна необходимо учитывать его влажность. Так, для зерна с высокой влажностью оптимальным режимом нагревания является температура до 40–45 °С [17].

Зерно тритикале сортов Антось и Дубрава подвергали горячему замачиванию при температуре замочной воды (40 ± 2) °С при гидромодуле 1:1 до достижения зерном влажности 42–44 %. Продолжительность замачивания составляла в среднем 4 ч, за указанный период времени влажность зерна сорта Антось достигала (42,4 ± 0,2) %, сорта Дубрава – (44,8 ± 0,2) %.

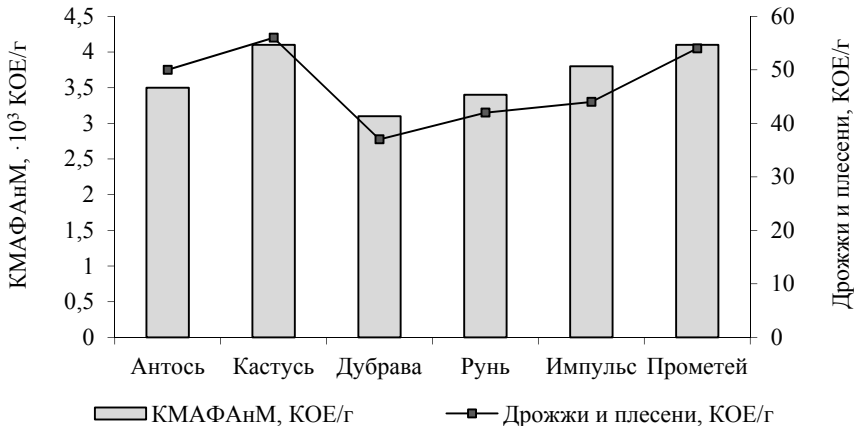

Рисунок 1 – Микробиологическая обсемененность зерна тритикале различных сортов

Figure 1 – Microbial contamination of different triticale grain cultivars

Учитывая высокую начальную обсемененность зерна и благоприятные условия для развития и роста микрофлоры, проводили оценку микробиологического состояния зерна тритикале после замачивания. Определено, что при заданном режиме замачивания количество МАФАнМ в зерне тритикале возрастает в среднем в 8,7 раза (до $3{,}0 \cdot 10^4$ КОЕ/г) по сравнению с исходным зерном, количество дрожжей и плесневых грибов увеличивается в 7,9 раза (до 348,0 КОЕ/г) соответственно. Полученные результаты указали на необходимость повышения микробиологической чистоты зерна путем подбора антисептиков.

Основываясь на литературных данных и ранее проводимых нами исследованиях, для антисептирования выбрали искусственно высушенную зеленую массу амаранта, так как известно, что алкалоиды амаранта обладают антибактериальными и фунгицидными свойствами [18–19].

Искусственно высушенную зеленую массу амаранта вносили при биоактивации тритикале в замочную воду в диапазоне концентраций от 2 до 10 % и подвергали выдержке до достижения зерном требуемой влажности. Результаты микробиологической оценки состояния зерна после замачивания с зеленой массой амаранта, представленные на рис. 2, показывают выраженное антимикробное действие амаранта по отношению к поверхностной микрофлоре зерна тритикале.

Установлено, что оптимальной концентрацией амаранта при биоактивации является 8 %, увеличение концентрации до 10 % нецелесообразно из-за отсутствия видимого усиления антисептического эффекта. Внесение оптимальных концентраций амаранта позволило снизить количество МАФАнМ в тритикале в среднем по сортам на 69,7 %, дрожжей и плесневых грибов – на 92,5 % по сравнению с контролем.

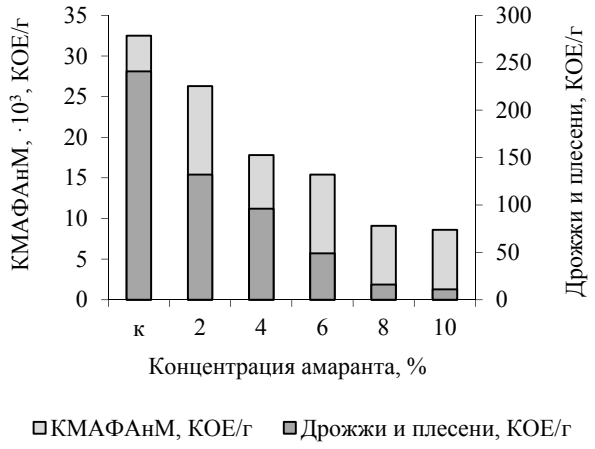

Рисунок 2 – Влияние зеленой массы амаранта на микробиологическую обсемененность биоактивированного зерна тритикале сорта Дубрава

Figure 2 – Influence of amaranth green mass on microbial contamination of bioactivated triticale grain (Dubrava cultivar)

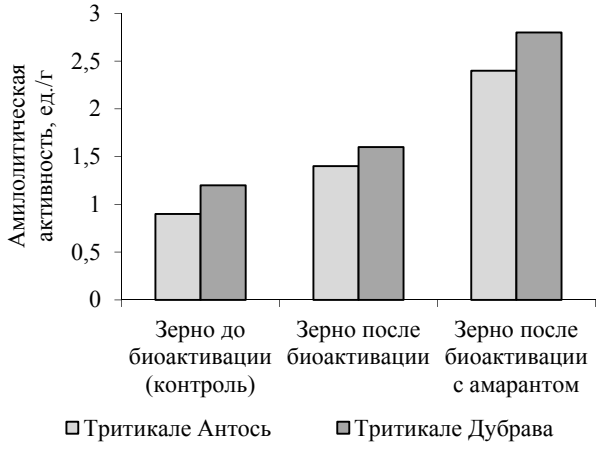

Рисунок 3 – Влияние внесения зеленой массы амаранта при биоактивации на амилолитическую активность зерна тритикале

Figure 3 – Influence of amaranth green mass introduction during bioactivation on amylolytic activity of triticale grain

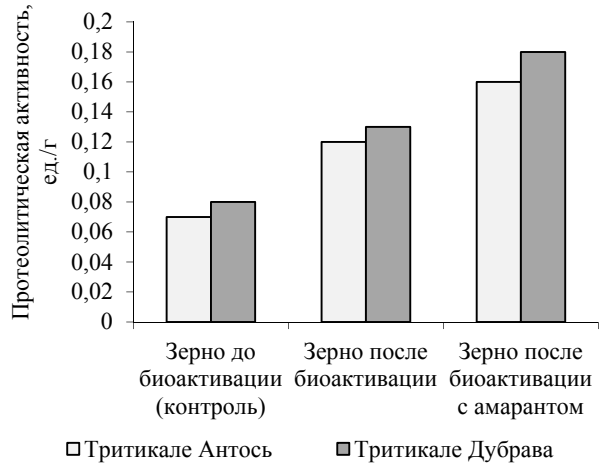

Рисунок 4 – Влияние внесения зеленой массы амаранта при биоактивации на протеолитическую активность зерна тритикале

Figure 4 – Influence of amaranth green mass introduction during bioactivation on proteolytic activity of triticale grain

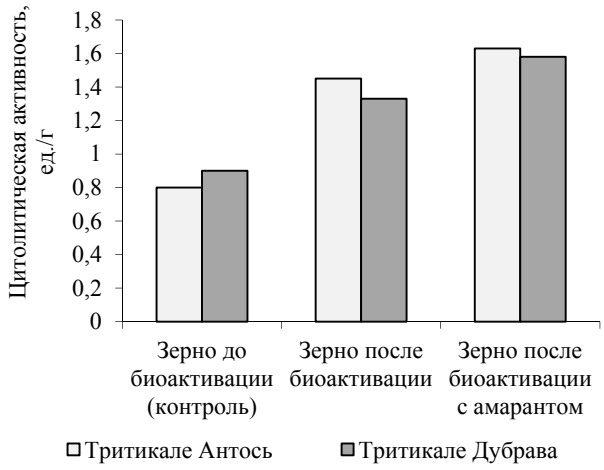

Рисунок 5 – Влияние внесения зеленой массы амаранта при биоактивации на цитолитическую активность зерна тритикале

Figure 5 – Influence of amaranth green mass introduction during bioactivation on cytolytic activity of triticale grain

Так как высокая микробная обсемененность зерна может угнетать процессы синтеза и активации ферментов, авторы считали необходимым проанализировать изменение ферментативных способностей тритикале после замачивания с выбранной оптимальной концентрацией амаранта. С этой целью после замачивания отбирали навески зерна и определяли в них активности амилолитических, протеолитических и цитолитических ферментов.

Согласно полученным данным (рис. 3–5), горячее замачивание зерна с амарантом сопровождалось повышением активности гидролитических ферментов: амилолитическая активность тритикале увеличивалась в среднем в 1,7 раза по сравнению с замачиванием зерна без амаранта; активность цитолитических ферментов повышалась в зерне тритикале в 1,8 раза; активность протеаз возрастала в 2,3 раза. Максимальные значения амилолитической и протеолитической активности наблюдали в замоченном зерне тритикале сорта Дубрава.

Наблюдаемое повышение активности всех групп ферментов в зерне объясняется активизацией метаболических процессов экстрактивными биологически активными веществами амаранта, выступающими в качестве природных стимуляторов роста.

Далее исследовали химические изменения в зерне тритикале, подвергнутом горячему замачиванию с амарантом, для этого отбирали навески замоченного зерна, измельчали на лабораторной мельнице и определяли специальные показатели качества, влажность зерна тритикале сорта Антось при этом составляла (42,2 ± 0,2) %, сорта Дубрава – (44,0 ± 0,2) %.

Изучение химического состава зерна тритикале, показало (табл. 3), что в зерне происходили сложные биохимические изменения, которые сопровождались частичным гидролизом биополимеров с образованием и накоплением низкомолекулярных, водорастворимых веществ: редуцирующих сахаров, аминного азота и пентозанов. Характер и глубина протекания данных процессов, вероятнее всего, связаны с активностью комплекса зерновых ферментов: прослеживалась корреляция между высокими ферментативными способностями замоченного зерна сорта Дубрава, максимальным снижением содержания в нем крахмала, белка, некрахмальных полисахаридов и увеличением продуктов их гидролиза.

Комплексный анализ микробиологических показателей, ферментативных способностей, химического состава показал, что горячее замачивание зерна тритикале сортов Антось и Дубрава с зеленой массой амаранта приводит к биологической активации зерна. Благодаря использованию биоактивации возможно целенаправленное изменение технологических свойств зерна: улучшаются его микробиологические характеристики, повышается активность зерновых ферментов, обеспечивается частичный гидролиз крахмала, белка, некрахмальных полисахаридов.

Представляло интерес изучить эффективность применения биоактивированного зерна тритикале перспективных сортов в дальнейших технологических процессах получения пищевого этилового спирта.

С этой целью готовили опытные образцы замесов из дробленого биоактивированного зерна Антось и Дубрава и контрольные замесы с использованием исходного зерна. Дробленое зерно смешивали с водой при гидромодуле 1:3,5, учитывая влажность зерна опытных образцов. Полученные замесы подвергали водно-тепловой и ферментативной обработке по классической механико-ферментативной схеме с использованием разжижающего ферментного препарата Ликвафло и целлюлолитического ферментного препарата Вискоферм в стандартных дозировках. Затем замесы охлаждали до температуры 56 °С, вносили в них ферментный препарат глюкоамилазы Сакзайм Плюс 2Х и осуществляли процесс осахаривания, полноту осахаривания определяли по йодной пробе. В полученных образцах спиртового сусла определяли наиболее значимые показатели качества.

Таблица 3 – Химический состав биоактивированного зерна тритикале

Table 3 – Chemical composition of bioactivated triticale grain

Наименование показателей	Сорта тритикале		
	Антось	Дубрава	Среднее отклонение от контроля, %
Содержание крахмала, %	61,7 ± 0,4	59,1 ± 0,3	−1,6
Редуцирующие сахара, г/100 см^3	1,04 ± 0,02	1,15 ± 0,02	+97,29
Содержание белка, %	11,24 ± 0,09	11,69 ± 0,08	−5,64
Аминный азот, мг/100 см^3	11,96 ± 0,06	12,38 ± 0,06	+7,84
Зольность, %	1,92 ± 0,05	1,69 ± 0,05	−1,75
Титруемая кислотность, °Т	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,2	+9,68
Суммарное содержание гемицеллюлозы и пентозанов, %	11,9 ± 1,2	12,0 ± 1,3	−11,8
Содержание пентозанов, %	6,0 ± 0,1	6,7 ± 0,1	+6,7

Таблица 4 – Физико-химические показатели качества спиртового сусла
Table 4 – Physicochemical quality parameters of alcohol mash

Наименование показателей	Образцы сусла из тритикале Антось		Образцы сусла из тритикале Дубрава	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Содержание сухих веществ, %	18,6 ± 0,2	21,4 ± 0,2	18,4 ± 0,2	22,0 ± 0,2
Содержание редуцирующих веществ, г/100 см^3	6,42 ± 0,02	9,26 ± 0,02	6,59 ± 0,02	10,64 ± 0,04
Содержание растворимых углеводов, г/100 см^3	14,65 ± 0,03	17,14 ± 0,06	14,86 ± 0,03	17,68 ± 0,06
Содержание аминного азота, мг/100 см^3	16,22 ± 0,80	20,53 ± 1,00	17,43 ± 0,90	21,69 ± 1,10
Титруемая кислотность, °Т	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,02
Вязкость, Па·с	4,03 ± 0,08	2,47 ± 0,05	3,74 ± 0,07	2,93 ± 0,06

Анализ опытных данных показал (табл. 4), что образцы сусла из биоактивированного тритикале характеризовались более высокими показателями качества по сравнению с контрольными образцами. Использование биоактивированного тритикале позволило увеличить в среднем на 17,3 % содержание сухих веществ, на 52,9 % – содержание редуцирующих веществ, на 18,0 % – содержание растворимых углеводов, на 25,5 % – аминного азота. Наиболее высокие показатели сусла отмечали в образце из биоактивированного тритикале сорта Дубрава, что, вероятно, вызвано совместным действием внесенных ферментных препаратов и ферментов зерна, активность которых в зерне данного сорта после биоактивации была максимальной.

Следует отметить, что снижение доли некрахмальных полисахаридов в биоактивированном зерне, дальнейшее совместное действие зерновых ферментов и ферментных препаратов на стадии приготовления сусла обеспечивало хорошие реологические характеристики опытных образцов, вязкость которых снижалась в среднем в 1,3–1,6 раза по сравнению с контрольными образцами.

На следующем этапе работы изучали процессы, протекающие при сбраживании опытных и контрольных образцов сусла. Для этого осахаренные образцы сусла охлаждали до начальной температуры брожения, задавали разводку дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* расы XII в количестве 10 % от объема сусла. Брожение осуществляли в течение 72 ч при температуре (30 ± 2) °С. По истечении брожения отбирали лабораторные пробы, в которых определяли показатели, характеризующие ход процесса сбраживания.

Как видно из данных, представленных в табл. 5, процесс спиртообразования зависел как от вида переработанного зерна, так и от его сорта. При сравнении значений показателей зрелых бражек необходимо отметить высокую эффективность применения биоактивации зерна для производства пищевого этилового спирта: в опытных образцах отмечали наибольшее накопление спирта и дрожжевой биомассы, меньшее количество мертвых клеток, максимальное снижение содержания сухих, редуцирующих веществ и несброженных углеводов. Переработка биоактивированного тритикале позволила увеличить содержание этанола в зрелой бражке из сорта Антось на 19,5 %, из сорта тритикале Дубрава – на 29,3 %. При этом лучшими показателями характеризовался опытный образец из биоактивированного тритикале Дубрава. Вероятно, это связано с более высоким начальным содержанием в сусле низкомолекулярных продуктов гидролиза биополимеров зерна, создающих наиболее благоприятные условия для проявления бродильной активности, а также стимулирующих дрожжевые клетки.

Таблица 5 – Физико-химические показатели качества зрелых бражек
Table 5 – Physicochemical quality parameters of ready worts

Наименование показателей	Образцы зрелых бражек из тритикале Антось		Образцы зрелых бражек из тритикале Дубрава	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Этиловый спирт, % об.	8,2 ± 0,2	9,8 ± 0,2	8,0 ± 0,2	10,6 ± 0,2
Видимые сухие вещества, %	1,8 ± 0,1	1,0 ± 0,1	2,2 ± 0,1	0,8 ± 0,1
Действительные сухие вещества, %	3,2 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1
Содержание редуцирующих веществ, г/100 см^3	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Содержание растворимых несброженных углеводов, г/100 см^3	0,53 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,52 ± 0,01	0,48 ± 0,01
Содержание аминного азота, мг/100 см^3	9,24 ± 0,50	11,43 ± 0,60	7,70 ± 0,40	10,27 ± 0,50
Титруемая кислотность, ° Т	0,66 ± 0,02	0,53 ± 0,02	0,64 ± 0,02	0,56 ± 0,02
Общее количество дрожжей, млн/см^3	96,5 ± 4,0	108,5 ± 5,0	94,0 ± 4,0	112,0 ± 5,0
Содержание мертвых клеток, %	16,5 ± 0,3	14,3 ± 0,3	17,7 ± 0,3	15,2 ± 0,3

Установлено, что титруемая кислотность опытных образцов бражек находилась в пределах нормативных значений. Титруемая кислотность контрольных образцов, напротив, несколько их превышала. Это свидетельствует о том, что использование зеленой массы амаранта в качестве антисептика при биоактивации позволяет добиться высоких микробиологических характеристик зерна и обусловливает высокие технологические показатели бражки. Вместе с тем результаты анализа контрольных образцов показали тесную взаимосвязь между высокой начальной обсемененностью зерна тритикале и ухудшением показателей зрелых бражек. Очевидно, присутствие большого количества микроорганизмов вызывает переход продуктов их метаболизма в спиртовое сусло, тем самым подавляется жизнедеятельность дрожжевых клеток при брожении, что сказывается на снижении концентраций спирта, пониженном общем количестве дрожжевых клеток и высоком содержании мертвых клеток в контрольных образцах бражек.

На завершающем этапе работы был проведен хроматографический анализ бражных дистиллятов, который показал, что суммарное содержание примесей, образуемых в процессе биосинтеза этанола из биоактивированного сырья, ниже по сравнению с использованием исходного зерна. Суммарное содержание примесей по отношению к этанолу в образцах бражек из биоактивированного тритикале составляло в среднем по сортам 3,51 %, а в образцах бражек из исходного зерна – 3,89 %.

Таким образом, проведена комплексная оценка показателей качества шести сортов тритикале белорусской селекции, выявлены наиболее перспективные для процесса биоактивации и получения пищевого этилового спирта сорта – Антось и Дубрава. Показана эффективность использования искусственно высушенной зеленой массы амаранта в качестве антисептирующего средства при горячем замачивании зерна тритикале. Установлено, что горячее замачивание с амарантом приводит к биологической активации тритикале, при этом повышается амилолитическая, цитолитическая, протеолитическая способности, происходит частичный гидролиз биополимеров зерна. Исследованы показатели качества сусла и бражки из биоактивированного тритикале. Выявлена целесообразность переработки биоактивированного тритикале в спиртовом производстве, способствующая повышению степени чистоты сброженного субстрата, улучшению микробиологических характеристик дрожжей при брожении, увеличению выхода спирта из зрелой бражки, полученной из сорта Антось на 19,5 %; из сорта Дубрава – на 29,3 %, а также снижению количества сопутствующих примесей в среднем на 0,38 %.

Список литературы

1. Effect of growing conditions on starch and protein content in triticale grain and amylose content in starch / I. Burešová [et al.] // Plant, Soil and Environment. – 2010. – Vol. 56, № 3. – P. 99–104.

2. Balcerek, M. Effect of simultaneous saccharification and fermentation conditions of native triticale starch on the dynamics and efficiency of process and composition of the distillates obtained: simultaneous saccharification and fermentation of native triticale starch / M. Balcerek, K. Pielech-Przybylska // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 88. – P. 615–622.

3. Wang, S. Grain pearling and very high gravity (VHG) fermentation technologies for fuel alcohol production from rye and triticale / S. Wang [et al.] // Process Biochemistry. – 1999. – Vol. 34, № 5. – P. 421–428.

4. Афонасенко, К. В. Ржаные хлопья из биоактивированного зерна / К. В. Афонасенко, Г. Н. Панкратов, Т. Г. Богатырева // Хлебопродукты. – 2014. – № 11 – С. 64–65.

5. Бастриков, Д. Н. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании / Д. Н. Бастриков, Г. Н. Панкратов // Хлебопродукты. – 2006. – № 1 – С. 40–41.

6. Инструкция по технохимическому и микробиологическому контролю спиртового производства / В. А. Поляков [и др.]. – М. : ДеЛи принт, 2007. – 480 с.

7. СТБ 1522-2005. Тритикале продовольственная. Требования при заготовках и поставках. – Минск : Госстандарт, 2011. – 12 с.

8. Технология и оборудование для производства спирта и ликероводочных изделий: в 2 ч. Ч. 1. Производство спирта / В. А. Шаршунов [и др.]. – Минск : Мисанта, 2013. – 783 с.

9. Лихтенберг, Л. А. Производство спирта из зерна / Л. А. Лихтенберг. – М. : Пищевая промышленность, 2006. – 324 с.

10. Булгаков, Н. И. Биохимия солода и пива / Н. И. Булгаков. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 358 с.

11. Козьмина, Н. П. Теоретические основы прогрессивных технологий (Биотехнология). Зерноведение (с основами биохимии растений) / Н. П. Козьмина, В. А. Гунькин, Г. М. Суслянок. – М. : Колос, 2006. – 464 с.

12. Теоретические и практические основы ферментативного катализа полимеров зернового сырья в спиртовом производстве / Л. В. Римарева [и др.] // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2008. – № 3. – С. 4–9.

13. Ямашев, Т. А. Микробная контаминация сырья и полупродуктов бродильных производств / Т. А. Ямашев, Н. Н. Симонова, О. А. Решетник. – Казань : КГТУ, 2010. – 252 с.

14. Нарцисс, Л. Пивоварение. Т. 1. Технология солодоращения / Л. Нарцисс. – СПб. : Профессия, 2007. – 584 с.

15. Корячкина, С. Я. Технология хлеба из целого зерна тритикале / С. Я. Корячкина, Е. А. Кузнецова, Л. В. Черепнина. – Орел : Госуниверситет – УНПК, 2012. – 177 с.

16. Егоров, Г. А. Гидротермическая обработка зерна / Г. А. Егоров. – М. : Колос, 1968. – 96 с.

17. Братерский, Ф. Д. Ферменты зерна / Ф. Д. Братерский. – М. : Колос, 1994. – 196 с.

18. Фармакологические свойства растений рода *Amaranthus* L. / С. И. Кадошников [и др.] // Аграрная Россия. – 2001. – № 6. – С. 39–42.

19. Миронцева, А. А. Сравнительный анализ эффективности использования в спиртовом производстве различных видов субстратных добавок / А. А. Миронцева, Е. А. Цед, С. В. Волкова // Молодежь в науке – 2009: прил. к журн. Весці НАН Беларусі. Серыя біялагічных навук: в 5 ч. Ч. 3. Серия аграрных наук. – 2010. – С. 436–440.

References

1. Burešová I., Burešová I., Sedláčková I., Faměra O., Lipavský J. Effect of growing conditions on starch and protein content in triticale grain and amylose content in starch. *Plant, Soil and Environment*, 2010, vol. 56, no. 3, pp. 99–104.

2. Balcerek M., Pielech-Przybylska K. Effect of simultaneous saccharification and fermentation conditions of native triticale starch on the dynamics and efficiency of process and composition of the distillates obtained: simultaneous saccharification and fermentation of native triticale starch. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2013, vol. 88, pp. 615–622.

3. Wang S., Thomas K.C., Sosulski K., Ingledew W.M., Sosulski F.W. Grain pearling and very high gravity (VHG) fermentation technologies for fuel alcohol production from rye and triticale. *Process Biochemistry*, 1999, vol. 34, no. 5, pp. 421–428.

4. Afonasenko K.V., Pankratov G.N., Bogatyreva T.G. Rzhanye khlop'ya iz bioaktivirovannogo zerna [Rye flakes from the bioactivated grain]. *Khleboprodukty* [Bread products], 2014, no. 11, pp. 64–65.

5. Bastrikov D.N., Pankratov G.N. Izmenenie biokhimicheskikh svoystv zerna pri zamachivanii [Change in the biochemical properties of the grain when soaked]. *Khleboprodukty* [Bread products], 2006, no. 1, pp. 40–41.

6. Polyakov V.A., Abramova I.M., Polygalina G.V., et al. *Instruktsiya po tekhnokhimicheskomu i mikrobiologicheskomu kontrolyu spirtovogo proizvodstva* [Instruction on the technical-chemical and microbiological control of the alcohol production]. Moscow: DeLi print Publ., 2007. 480 p.

7. *STB 1522-2005. Tritikale prodovol'stvennaya. Trebovaniya pri zagotovkakh i postavkakh* [State standard of the Republic of Belarus 1522-2005. Triticale food. Requirements for the procurement and supply]. Minsk, Gosstandart Publ., 2011. 12 p.

8. Sharshunov V.A., Tsed E.A., Kucheryavyy L.M., Kirkor A.V. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya proizvodstva spirta i likerovodochnykh izdeliy: v 2 ch. Ch. 1. Proizvodstvo spirta* [Technology and equipment for the production of alcohol and alcoholic beverages: in 2 parts. Part 1. Alcohol production: allowance]. Minsk: Misanta Publ., 2013. 783 p.

9. Lihtenberg L.A. *Proizvodstvo spirta iz zerna* [Production of alcohol from the grain]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publ., 2006. 324 p.

10. Bulgakov N.I. *Biokhimiya soloda i piva* [Biochemistry of malt and beer]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1976. 358 p.

11. Koz'mina N.P., Gun'kin V.A., Suslyanok G.M. *Teoreticheskie osnovy progressivnykh tekhnologiy (Biotekhnologiya). Zernovedenie (s osnovami biokhimii rasteniy)* [Theoretical bases of the progressive technologies (Biotechnology). Cereology (with the fundamentals of the plant biochemistry)]. Moscow: Kolos Publ., 2006. 464 p.

12. Rimareva L.V., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Abramova I.M. Teoreticheskie i prakticheskie osnovy fermentativnogo kataliza polimerov zernovogo syr'ya v spirtovom proizvodstve [Theoretical and practical bases of the enzymatic catalysis of the polymers of the grain raw materials in the alcohol production]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdeliy* [Production of alcohol and alcoholic beverages], 2008, no. 3, pp. 4–9.

13. Jamashev T.A., Simonova N.N., Reshetnik O.A. *Mikrobnaya kontaminatsiya syr'ya i poluproduktov brodil'nykh proizvodstv* [The microbial contamination of the raw materials and semi-products of fermentation productions]. Kazan: Kazan State Technological University Publ., 2010. 252 p.

14. Narciss L. *Pivovarenie. T. 1. Tekhnologiya solodorashcheniya* [Brewing: Vol. 1. Technology of malting]. St. Petersburg: Professiya Publ., 2007. 584 p.

15. Koryachkina S.Ya., Kuznetsova E.A., Cherepnina L.V. *Tekhnologiya khleba iz tselogo zerna tritikale* [Technology of the bread from the whole grain triticale]. Orel: Gosuniversitet – UNPK Publ., 2012. 177 p.

16. Egorov G.A. *Gidrotermicheskaya obrabotka zerna* [Hydrothermal processing of grain]. Moscow: Kolos Publ., 1968. 96 p.

17. Braterskiy F.D. *Fermenty zerna* [Grain enzymes]. Moscow: Kolos Publ., 1994. 196 p.

18. Kadoshnikov S.I., Kadoshnikova I.G., Galiullina S., Chernov I.A. Farmakologicheskie svoystva rasteniy roda *Amaranthus* L. [Pharmacological properties of the plants of the genus *Amaranthus* L.]. *Agrarnaya Rossiya* [Agrarian Russia], 2001, no. 6, pp. 39–42.

19. Mirontseva A.A., Tsed E.A., Volkova S.V. Sravnitel'nyy analiz effektivnosti ispol'zovaniya v spirtovom proizvodstve razlichnykh vidov substratnykh dobavok [Comparative analysis of the efficiency of using in alcohol production of the various types of substrate additives]. *Molodezh' v nauke – 2009: pril. k zhurn. Vestnik Natsional'noy akademii nauk Belarusi: v 5 ch. Ch. 3. Seriya agrarnykh nauk* [Young people in science – 2009: supplement to the journal "News of the National Academy of Sciences of Belarus": in 5 parts. Part 3. A series of agricultural sciences], 2010, pp. 436–440.

Миронцева Анна Александровна
старший преподаватель кафедры технологии пищевых производств, ГУО «Могилевский государственный университет продовольствия», 212027, Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, 3, тел.: +8-10-375-(222)-48-33-32, e-mail: anna_mirontseva@mail.ru

Цед Елена Алексеевна
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии пищевых производств, ГУО «Могилевский государственный университет продовольствия», 212027, Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, 3, тел.: +8-10-375-(222)-48-33-32

Волкова Светлана Владимировна
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии пищевых производств, ГУО «Могилевский государственный университет продовольствия», 212027, Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, 3, тел.: +8-10-375-(222)-48-33-32

Anna A. Mirontseva
Senior Lecturer of the Department of Technology of Food Productions, Mogilev State University of Food Technologies, 3, Schmidta Ave., Mogilev, 212027, Belarus, phone: +8-10-375-(222)-48-33-32, e-mail: anna_mirontseva@mail.ru

Elena A. Tsed
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of Food Productions, Mogilev State University of Food Technologies, 3, Schmidta Ave., Mogilev, 212027, Belarus, phone: +8-10-375-(222)-48-33-32

Svetlana V. Volkova
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of Food Productions, Mogilev State University of Food Technologies, 3, Schmidta Ave., Mogilev, 212027, Belarus, phone: +8-10-375-(222)-48-33-32