ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ

УДК 663.531:633.1

В. А. ШАРШУНОВ, З. В. ВАСИЛЕНКО, Е. А. ЦЕД

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР – ВАЖНЕЙШИЙ РЕЗЕРВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СПИРТА

Могилевский государственный университет продовольствия

(Поступила в редакцию 02.04.2009)

Современная спиртовая отрасль Республики Беларусь – одна из крупных технически развитых областей пищевой промышленности. Приоритетным направлением развития спиртового производства на современном этапе является интенсификация технологических процессов получения высококачественного пищевого этанола, обеспечивающих увеличение выхода продукта и повышение рентабельности производства.

В настоящее время весьма значимая роль при производстве этилового спирта отводится сырьевому фактору [1]. Так, основными видами крахмалсодержащего сырья, перерабатываемого в спиртовом производстве, являются зерновые культуры и картофель. Однако за последнее время произошло практически полное вытеснение картофеля из данного производства. Это обусловлено тем, что применение зернового сырья дает более высокий выход этанола: из 1 т зерна получают свыше 33,6 дал спирта, тогда как из 1 т картофеля – в среднем 8 дал [2, 3].

Важная особенность современного спиртового производства – это тесная зависимость производства от сырьевой базы, а также его большая науко- и материалоемкость [2]. Установлено, что качественные характеристики используемого сырья – сорность зерна, его инфицирование фитопатогенной микрофлорой и эпифитными микроорганизмами (плесневыми грибами, дикими дрожжами и бактериями), содержание токсичных примесей, зараженность вредителями, повышенная влажность – оказывают существенное влияние на образование побочных метаболитов этанола, придавая ему излишнюю горечь, жесткость, резкость, а также посторонние вкус и запах [4]. Особенно высокие требования предъявляются к сырью, перерабатываемому по механико-ферментативному способу, в основе которого лежат гидродинамические и ферментативные процессы, протекающие при температуре, не превышающей 100 °С. Поэтому повышение качества перерабатываемого сырья является залоговым показателем успешного проведения технологического процесса и получения конечных продуктов с высокими физико-химическими и органолептическими свойствами. Таким образом, можно констатировать, что выход и качество получаемого этилового спирта напрямую связаны с качеством перерабатываемого сырья.

Это послужило основанием для разработки во ВНИИ пищевой биотехнологии РСХА концепции технологической адекватности зернового сырья, предусматривающей заданные требования к его качеству, и в зависимости от их исходных параметров применение современных технологий с максимальным выходом спирта, минимальными производственными потерями и получением спирта-ректификата с высоким органолептическими показателями [2].

Таким образом, одними из основных тенденций совершенствования биотехнологических процессов в спиртовой промышленности являются исследования влияния видовых особенностей перерабатываемого сырья на биохимические процессы при сбраживании спиртового сусла и фракционный состав сопутствующих этанолу примесей, обуславливающих его качественные пара-

метры. Причем изучение механизмов синтеза летучих примесей, образующихся при брожении и плохо удаляемых при ректификации, имеет первостепенное значение при создании новых биотехнологий получения высококачественного этилового спирта.

В Могилевском государственном университете продовольствия проводятся исследования по определению влияния химического состава сырья, выращенного в климатической зоне Республики Беларусь, на протекание биохимических процессов при получении пищевого этилового спирта на всех этапах его производства. В зависимости от конкретных видов используемого крахмалсодержащего сырья это позволит целенаправленно оптимизировать режимные параметры технологии этанола с целью повышения его выхода и качества, а также снижения энергозатрат, что является крайне актуальным для спиртовой промышленности республики.

В настоящее время основной зерновой культурой, перерабатываемой отечественными спиртовыми предприятиями, является рожь, доля которой по отношению к общему количеству используемого сырья составляет 95%, и только 5% приходится на применение других зерновых культур, таких как тритикале, ячмень, кукуруза, просо, пшеница импортная. Очевидно, это связано с тем, что рожь является широко распространенной и наиболее адаптированной к климатическим условиям нашей республики зерновой культурой.

Однако при ее использовании возникает ряд различных технологических трудностей, обусловленных особенностями химического состава данной зерновой культуры. Так, при водно-тепловой обработке замесов, полученных на основе ржи, наблюдается весьма значительное увеличение эффективной вязкости получаемых растворов до 17456 Па·с, оказывающее существенное влияние на протекание гидролитических процессов при осахаривании. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению качества спиртового сусла и снижению процессов спиртообразования при его сбраживании. Поэтому при переработке ржи необходимо использовать повышенные нормы расхода ферментных препаратов различного спектра действия с целью снижения вязкости получаемого сусла, что приводит к нестабильности его качественных показателей и увеличению себестоимости продукта. Кроме того, промышленная переработка ржи на спирт очень часто сопровождается снижением выхода получаемого продукта и ухудшением его органолептических свойств: повышенной жгучестью, горечью, посторонними тонами, обусловленными образующимися при брожении различными побочными примесями этанола.

Следует отметить, что в производстве спирта было принято оценивать зерно с точки зрения содержания в нем основного сбраживающего компонента – крахмала [2, 3]. Однако при разработке новых технологий такой подход не может в полной мере охарактеризовать качество сырья, имеющего многокомпонентный состав. Установлено, что интенсивность и направленность биохимических процессов, происходящих при спиртовом брожении, зависит от качества и химического состава перерабатываемого сырья, реологических свойств получаемого замеса, азотистого и углеводного состава спиртового сусла и т. д. Поэтому качественная оценка перерабатываемого зернового сырья должна производиться по комплексу показателей, отражающих специфические особенности той или иной зерновой культуры, применительно к условиям спиртового производства.

Так, например, рожь и пшеница имеют одинаковое строение, но соотношение составных частей у них разное. Рожь содержит меньший процент эндосперма (70–74%), но большую долю оболочек (11–15%) и алейронового слоя (10–15%). Кроме того, оболочки ржи более плотно связаны с эндоспермом, чем оболочки пшеницы. Консистенция эндосперма, характеризуемая стекловидностью, у ржи отличается большей рыхлостью. Кроме того, отличительной особенностью ржи является наличие в ней слизеобразующих или гуммивеществ [5].

В МГУП был изучен химический состав различных зерновых культур, выращенных в Республике Беларусь и перерабатываемых на белорусских спиртовых предприятиях. Объектами исследований служили как традиционно используемые в спиртовом производстве зерновые культуры – рожь, кукуруза, просо, овес пленчатый, ячмень и тритикале, так и новые виды – овес голозерный. Данная культура была получена при проведении селекционных работ методом индивидуального отбора из беккросируемой гибридной популяции в лаборатории овса Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию [6]. Отличительной особенностью овса голозерного является отсутствие в ее строении мякинных оболочек (пленок), характерных для традиционной куль-

туры овса пленчатого. Кроме того, в качестве объекта исследований была взята пшеница мягких сортов белорусской селекции, выведенная и районированная также в данном учреждении.

В исследуемом зерновом сырье определяли следующие технологические показатели – влажность, натуру, абсолютную массу, содержание крахмала, аминного азота, редуцирующих веществ, белка, титруемую кислотность.

Результаты исследований (таблица) показали, что каждая зерновая культура характеризуется определенными технологическими признаками и имеет свои особенности. Так, наибольшие показатели натуры и абсолютной массы, характеризующие крупность, выравненность и выполненность зерновой массы, наблюдались у зерна кукурузы и пшеницы, составлявшие 778–821 г/дм^3. Несколько меньше натура и абсолютная масса была у тритикале, ячменя, ржи и овса голозерного – от 647 до 702 г/дм^3 и 34,2–41,3 г соответственно. Наименьшее значение данных показателей имели овес пленчатый – 525 г/дм^3, 26,5 г и просо – 620 г/дм^3, 7,4 г, что, вероятно, является результатом меньшего содержания крахмала и менее плотной укладки зерен в пурке из-за особенностей формы и размеров зерна и наличия между цветковыми пленками и плодовыми оболочками воздушных пустот.

Физико-химические показатели исследуемого зернового сырья

Показатель	Рожь	Пшеница	Ячмень	Овес пленчатый	Просо	Овес голозерный	Тритикале	Кукуруза
Натура, г/дм^3	664	821	687	525	620	647	702	778
Абсолютная масса, г	37,4	51,9	39,8	26,5	7,4	34,2	41,3	251,6
Влажность, %	14,72	11,89	14,01	11,14	13,41	11,72	13,88	11,11
Крахмал, %	53,04	62,42	53,62	45,40	55,86	60,56	56,32	59,77
Белки, %	12,67	12,42	14,82	9,08	14,24	15,21	13,98	12,12
Аминный азот, мг/100 см^3	2,52	1,63	1,78	1,32	1,96	1,77	1,68	1,4
Редуцирующие вещества, г/100 см^3	0,53	1,21	0,68	0,47	0,55	0,82	0,91	0,74
Титруемая кислотность, град.	2,2	2,1	2,7	2,5	2,2	2,0	2,8	2,3
Зольность, %	2,18	1,72	2,61	3,25	2,96	1,79	1,73	1,34
Алкилрезорцины, %	144,23	60,69	–	–	–	–	81,31	–

Влажность зерновых культур также имеет важное технологическое значение, так как обеспечивает стабильность химического состава культур при их хранении. Повышение влажности зерна свыше критических значений (15%) приводит к активизации физиологических процессов в зерне, сопровождающихся изменением углеводно-белкового состава зерна и развитием микрофлоры, что в конечном итоге будет снижать выход этанола. В исследуемых образцах зерна – кукурузы, пшеницы, овса пленчатого и овса голозерного – влажность находилась в пределах 11,11–11,89%. Влажность ржи, ячменя, проса и тритикале была несколько выше – 13,41–14,72%, но не превышала критических значений.

В технологии спирта основным сбраживаемым компонентом сырья является крахмал, структуре и свойствам которого в настоящее время исследователи уделяют особое внимание. Крахмал в зерне содержится в эндосперме в виде крахмальных гранул, которые имеют определенный размер и форму и состоят из двух полисахаридов амилозы и амилопектина. Гранулы имеют преимущественно простые концентрические слои, сплошные или с внутренней полостью. От нее в разные стороны расходятся звездообразные трещины. Амилоза концентрируется вокруг трещин, а амилопектин образует кристаллические мицеллы [2].

Наибольшее содержание крахмала отмечалось в пшенице, овсе голозерном и кукурузе – 62,42, 60,56, 59,77% соответственно. Меньше всего крахмала содержалось в овсе пленчатом – 45,40%. Содержание крахмала у ржи было ниже, чем у пшеницы и овса голозерного, и составляло 53,04%. Тритикале занимала промежуточное положение между родительскими культурами и содержала 56,32% крахмала.

По содержанию редуцирующих веществ наибольшую их концентрацию имели зерновые культуры: пшеница, тритикале и овес голозерный – 1,31, 0,91 и 0,82 г/100 см^3 соответственно. Меньше всего редуцирующих веществ было в овсе пленчатом – 0,45 г/100 см^3.

Немаловажное значение для производства этанола имеет характеристика сырья и по содержанию белка и аминного азота. Эти вещества по количеству среди сухих веществ занимают второе место после крахмала и как источники питания для дрожжей напрямую обеспечивают интенсификацию технологического процесса брожения сусла, повышение выхода и качества спирта. Кроме того, имеют значение коллоидные и другие свойства протеинов. Поскольку белки обладают гидрофильными свойствами и при набухании могут образовывать гели, при производстве спирта они способны оседать на стенках технологического оборудования и коммуникаций в виде белковых отложений. Так, наиболее гидратированным гелем является пшеничная клейковина, содержащая около 70% воды [2]. Установлено, что наибольшим количеством аминного азота характеризовались такие зерновые культуры, как просо, рожь, ячмень и овес голозерный, содержавшие от 1,77 до 1,96 мг/100 см^3. Наименьшая его концентрация была в овсе пленчатом и кукурузе – 1,32 и 1,40 мг/100 см^3 соответственно. Меньше всего белков содержалось в овсе пленчатом – 9,08%, что объясняется особенностями его строения, и больше всего в овсе голозерном, ячмене и просе – 15,21, 14,82 и 14,24% соответственно.

Оценка зерновых культур по показателю зольности связана с тем, что минеральные вещества относятся к водорастворимым соединениям, которые способны быстро переходить в спиртовое сусло и оказывать влияние на такой параметр сусла, как содержание растворимых сухих веществ, поэтому высокое содержание минеральных веществ в перерабатываемом сырье может в определенной мере влиять на интенсивность протекания технологических процессов. Установлено, что наибольшее содержание минеральных веществ обнаружено в овсе пленчатом, просе и ячмене – 3,25, 2,96 и 2,61% соответственно, что обусловлено строением данных зерновых культур, имеющих мякинную оболочку и относящихся к пленчатым культурам. Все голозерные виды зерна, к которым относятся пшеница, рожь, овес голозерный, тритикале и кукуруза, характеризовались более низкими значениями зольности.

Технологический параметр «титруемая кислотность» характеризует наличие интенсивности физиолого-биохимических процессов, происходящих в зерновых культурах при их хранении. Увеличение данного параметра свидетельствует об активизации процессов жизнедеятельности зерна, приводящих к изменению его химического состава и ухудшению качества. Овес голозерный, пшеница, рожь, просо, кукуруза характеризовались низкой титруемой кислотностью – 2,0–2,3 град. Несколько выше данный показатель был у овса пленчатого, ячменя и тритикале – 2,5, 2,7 и 2,8 град.

В настоящее время особое значение при оценке потенциала зерновых культур как сырья для получения пищевого этилового спирта имеет изучение алкилированных производных резорцина фенольной природы – алкилрезорцинов, сосредоточеных в основном в оболочке зерновки. Данные вещества обладают токсическими свойствами и могут в определенной степени оказывать влияние на ход брожения спиртового сусла. Однако в современной литературе сведения о влиянии алкилрезорцинов на технологические свойства зерна и качество получаемого этилового спирта отсутствуют.

Из всех исследуемых нами зерновых культур алкилрезорцины обнаружены только в трех из них – ржи, пшенице и тритикале, причем в наибольшем количестве алкилрезорцины присутствуют во ржи – 144,23%; в тритикале их количество меньше в 1,8 раз, в пшенице – в 2,4 раза.

Таким образом, проведенные исследования показали, что зерновые культуры существенно отличаются по параметрам, характеризующим их технологические свойства. Более того, установлено, что исследуемые новые виды крахмалсодержащего сырья, районированного и выращенного в условиях климатической зоны Республики Беларусь, – овес голозерный и пшеница – обладают весьма ценными с точки зрения спиртового производства технологическими показателями.

На следующем этапе наших исследований определяли влияние вида перерабатываемого зернового сырья на выход этанола и фракционный состав его примесей, определяющих физико-химические и органолептические свойства получаемого продукта. С этой целью на основе исследуемых образцов зерна готовили замесы, которые подвергали водно-тепловой обработке по режимам механико-ферментативной схемы, проводили осахаривание и получали спиртовое сусло, которое затем сбраживали дрожжами расы 12. По окончании процесса брожения осуществляли

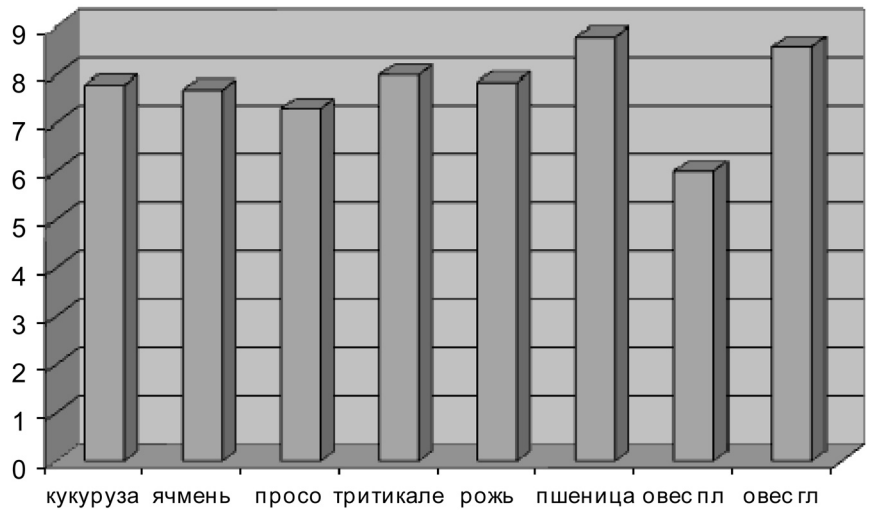

Рис. 1. Влияние вида зерновой культуры на содержание этанола в дистиллятах бражек

отгонку полученных бражек для получения дистиллятов, в которых хроматографическим методом определяли количественное содержание спирта и его сопутствующих летучих примесей.

Как видно из данных (рис. 1), интенсивность процесса спиртообразования зависела от вида используемой зерновой культуры. Так, наибольшее количество спирта обнаружено в бражках с использованием пшеницы, овса голозерного и тритикале, которое составляло 8,8, 8,6 и 8,0 об.% соответственно. Значительно меньшее количество спирта образовалось в бражках на основе ржи, кукурузы, ячменя и проса – от 7,3 до 7,9 об.% ; минимальное содержание этанола, составившее 6,0 об.% , – в бражке из овса пленчатого.

Таким образом, установлено, что использование овса голозерного и пшеницы белорусской селекции позволяет существенно интенсифицировать процесс сбраживания спиртового сусла и обеспечить более высокий выход спирта по сравнению с другими традиционно перерабатываемыми зерновым культурами.

Исследования фракционного состава примесей показали, что при сбраживании спиртового сусла образуется спектр веществ (альдегиды, эфиры, спирты), которые в той или иной степени влияют на органолептическую и аналитическую характеристику спирта. Так, практически все альдегиды (уксусный, пропионовый, масляный и т. д.) сообщают спирту резкие раздражающие запахи, терпкость и жгучесть. Высшие спирты (пропиловый, изобутиловый, амиловый, изоамиловый) относят к вредным и токсичным примесям, наличие которых сообщает этанолу жгучее вкусовое ощущение и сильный сивушный запах. Сложные эфиры (этилацетат, метилацетат, этилпропионат, метилбутират и др.) способны придавать этанолу различные оттенки ароматов, интенсивность которых зависит от их концентрации [3, 4].

Установлено, что все исследуемые дистилляты характеризовались одинаковым качественным составом примесей, однако их количественное содержание зависело от вида используемой зерновой культуры. Так, наиболее интенсивное образование уксусного альдегида происходило при сбраживании пшеничного (0,00485 об.%) и просяного (0,00379 об.%) сусла. Меньше всего его накапливалось при сбраживании сусла из овса голозерного и овса пленчатого – 0,00132 и 0,00186 об.% соответственно. Остальные исследуемые образцы по содержанию ацетальдегида отличались незначительно (рис. 2).

Наиболее активный синтез сложных эфиров, производных метанола и муравьиной кислоты – метилформиата, метанола и уксусной кислоты – метилацетата, наблюдался при сбраживании кукурузного сусла – 0,00011 и 0,00018 об.% соответственно, что свидетельствует об определенной закономерности в образовании данной группы веществ (рис. 3).

Присутствие этилацетата (сложного эфира этанола и уксусной кислоты) положительно сказывается на органолептике этилового спирта за счет смягчения его жгучести (рис. 4). Наиболее интенсивное образование этилацетата наблюдалось в бражках из проса, овса голозерного, пше-

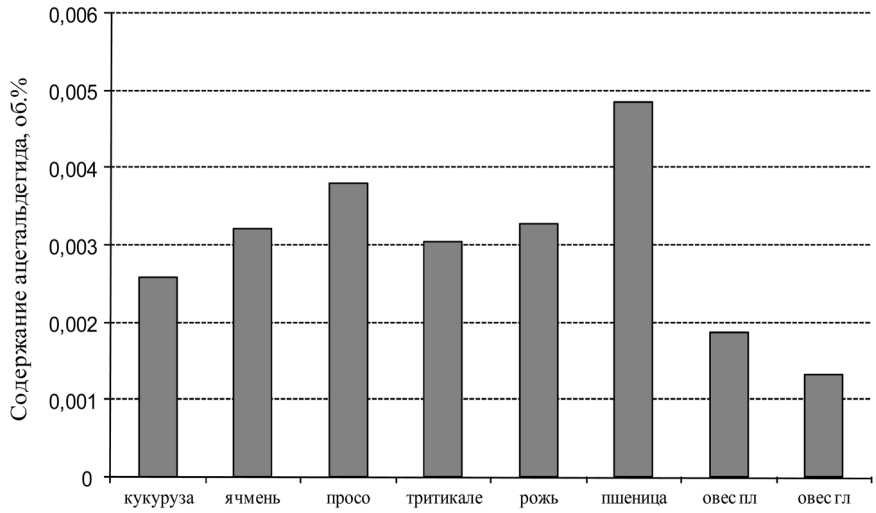

Рис. 2. Содержание уксусного альдегида в дистиллятах бражек в зависимости от вида зерновой культуры

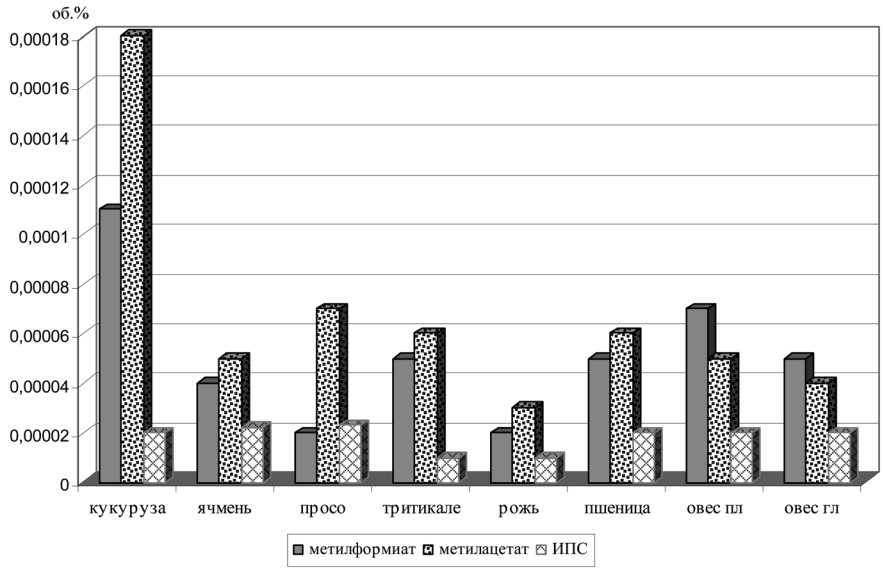

Рис. 3. Содержание метилформиата, метилацетата и изопропанола в дистиллятах бражек в зависимости от вида зерновой культуры

ницы и составляло 0,00189, 0,00156 и 0,00144 об.% соответственно, наименее интенсивное – в ячменной и ржаной бражках.

Считается, что содержание метанола и пропанола не влияет на органолептическую оценку спирта, однако эти вещества обладают высокой токсичностью [2, 3]. Так, наибольшее количество метанола отмечалось в кукурузной и просяной бражках – 0,00348 и 0,00155 об.% соответственно (рис. 4).

Изопропилового спирта больше всего образовывалось при сбраживании сусла из проса (0,000023 об.%) и ячменя (0,000022 об.%), наименьшее его содержание было в бражках из ржи и тритикале – 0,00001 об.% (рис. 3). Наибольшим количественным содержанием пропанола характеризовались кукурузная бражка (0,00773 об.%), наименьшим – ржаная (0,00226 об.%) (рис. 5).

Повышенное образование изобутилового и изоамилового сивушных спиртов наблюдалось в тритикалевой (0,02763/0,08542 об.%), пшеничной (0,03041/0,12967 об.%), кукурузной (0,02313/0,08425 об.%) и ржаной (0,02584/0,07133 об.%) бражках (рис. 5).

Сравнительный анализ общего содержания суммарных примесей показал, что наибольшей концентрацией побочных примесей характеризовались дистилляты бражек, полученных на осно-

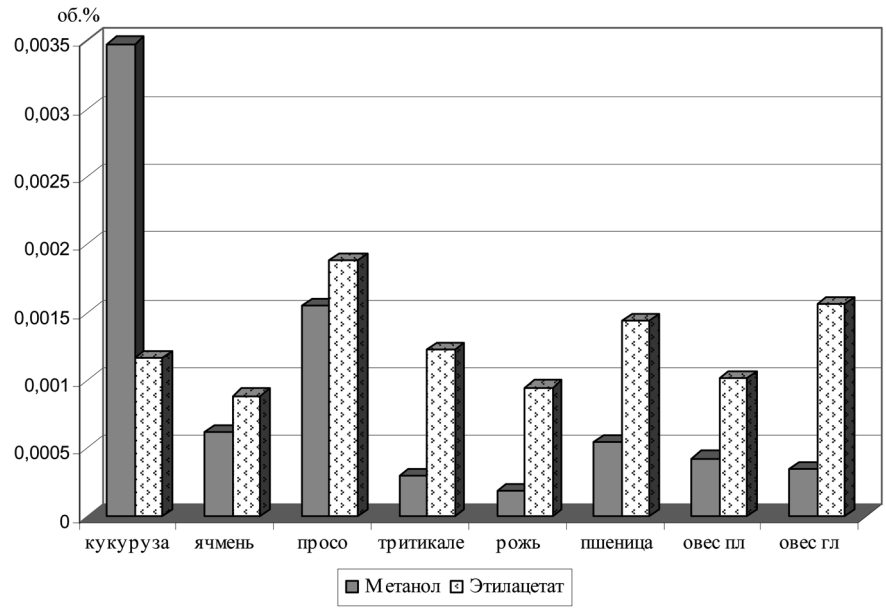

Рис. 4. Содержание этилацетата и метанола в дистиллятах бражек в зависимости от вида зерновой культуры

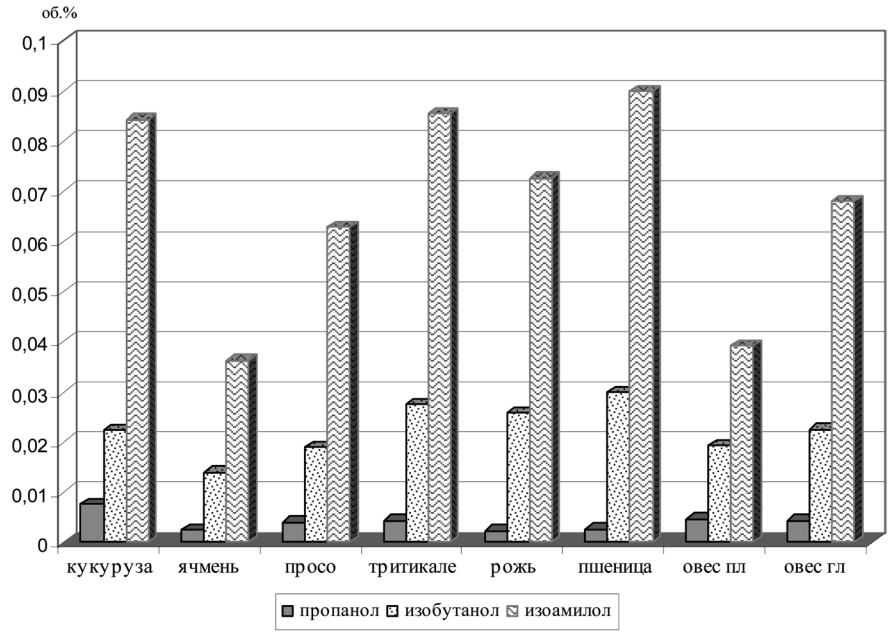

Рис. 5. Содержание пропанола, изобутанола и изоамилола в дистиллятах бражек в зависимости от вида зерновой культуры

ве следующих зерновых культур – тритикале, пшеницы, кукурузы и ржи. С одной стороны, это связано с интенсификацией биохимических процессов при сбраживании спиртового сусла, сопровождающейся активизацией углеводно-азотного обмена дрожжей [7]. Это приводило к повышенному образованию не только этанола, но и примесей, имеющих более высокую температуру кипения, чем этанол (рис. 6). Данная закономерность прослеживается на примере сбраживания пшеничного сусла. Однако при несбалансированности химического состава спиртового сусла происходит смещение обменных процессов дрожжевой клетки в сторону образования побочных продуктов, наблюдаемое при сбраживании, например, кукурузного и ржаного сусла. В этом случае углеводы сусла тратятся не на синтез основных продуктов обмена веществ дрожжевой клетки – этанола и диоксида углерода, а на другие процессы метаболизма, сопровождающиеся образованием примесей, ухудшающих качество спирта.

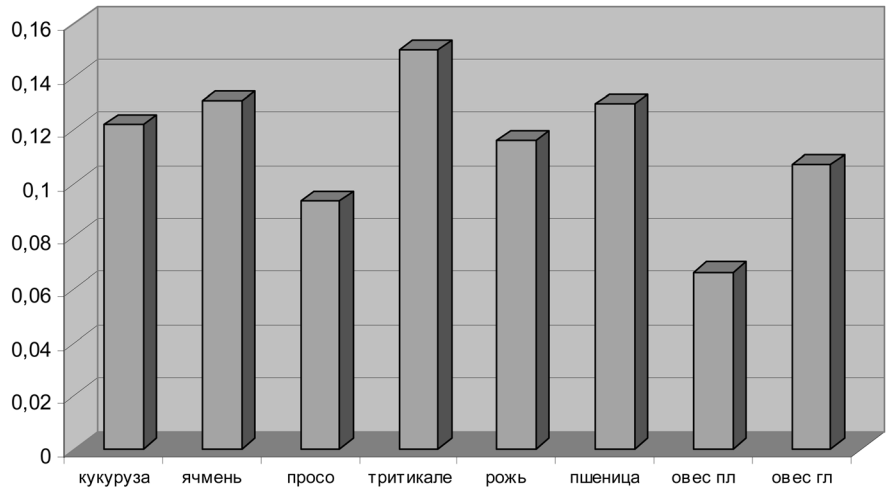

Рис. 6. Содержание суммарных примесей в дистиллятах бражек в зависимости от вида зерновой культуры

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что процессы синтеза этилового спирта и его побочных примесей в значительной степени зависят от вида перерабатываемой зерновой культуры. Переработка новых зерновых культур позволяет обеспечить повышенное образование этанола при одновременном снижении примесей, что позволит получать продукт с высокими физико-химическими и органолептическими свойствами [8].

Выводы

1. Определены качественные показатели новых видов крахмалсодержащего сырья, районированного и выращенного в условиях климатической зоны Республики Беларусь, – овса голозерного и пшеницы, использование которых в спиртовом производстве наиболее целесообразно и эффективно.

2. Использование новых зерновых культур белорусской селекции – овса голозерного и пшеницы – позволяет обеспечить не только повышенный выход этилового спирта, но и его более высокие качественные показатели, что будет способствовать повышению эффективности спиртового производства в целом.

3. Исследования фракционного состава побочных примесей показали, что при сбраживании спиртового сусла образуется значительный спектр веществ (альдегиды, эфиры, спирты), обуславливающих органолептические показатели спирта.

4. Экспериментально обснован фракционный состав побочных примесей этанола в зависимости от вида перерабатываемого зернового сырья. Наблюдаемая разная динамика биосинтеза побочных примесей в бражке обусловлена особенностями углеводно-азотного обмена дрожжевых клеток, регуляторные функции которых зависят от состава получаемого спиртового сусла.

Литература

1. Р и м а р е в а, Л. В. Повышение эффективности биотехнологических процессов спиртового производства / Л. В. Римарева // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2003. – № 4. – С. 13–18.

2. Теоретические и практические основы ферментативного катализа полимеров зернового сырья в спиртом производстве / Л. В. Римарева [и др.] // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2003. – № 3. – С. 4–9.

3. Я р о в е н к о, В. Л. Технология спирта / В. Л. Яровенко, В. А. Маринченко, В. В. Смирнов. – М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002. – 464 с.

4. Л и х т е н б е р г, Л. А. Производство спирта из зерна / Л. А. Лихтенберг. – М.: Пищевая промышленность, 2006. – 324 с.

5. К р и к у н о в а, Л. Н. Эффективность дифференцированного способа переработки зерна для получения спирта / Л. Н. Крикунова, Е. Н. Максимова, В. В. Кононенко // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2002. – № 1. – С. 10–12.

6. Технология получения высокой урожайности овса / С. П. Халецкий [и др.] // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов. – Минск, 2007. – С. 158–164.

7. К о н о в а л о в, С. А. Биохимия дрожжей / С. А. Коновалов. – М.: Пищевая промышленность, 1989. – 271 с.

8. Влияние режимов разваривания на формирование спиртового сусла из зернового сырья белорусской селекции / Е. А. Цед [и др.] // Известия вузов. Пищевая промышленность. – 2007. – № 4. – С. 70–71.

V. A. SHARSHUNOV, Z. V. VASILENKO, E. A. TSED

USE OF NEW GRAINS IS THE MOST IMPORTANT RESERVE OF INCREASING THE PRODUCTION EFFICIENCY OF HIGH QUALITY ALCOHOL

Summary

The analysis of the technological parameters of different kinds of grain raw materials processed at alcohol plants of the Republic of Belarus is given in the article.

The efficiency of using new grain cultures of Belarusian selection such as bare-grained oats and wheat in alcohol production is shown. They allow providing not only a higher alcohol yield, but also its high quality indices that in turn will contribute to the increase in the alcohol production efficiency as a whole.