

**ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ
СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ**

УДК 663.531

*З. В. ВАСИЛЕНКО, Е. А. ЦЕД, С. В. ВОЛКОВА,
Л. М. КОРОЛЕВА, А. А. МИРОНЦЕВА, А. Н. МЫСЛИЦКАЯ*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ЗЕРНОВОЙ КУЛЬТУРЫ
НА АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ СПИРТОВОГО СУСЛА
И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЕГО СБРАЖИВАНИИ**

Могилевский государственный университет продовольствия

(Поступила в редакцию 24.11.2009)

Основополагающую роль в производстве пищевого этилового спирта играют биохимические процессы, связанные с жизнедеятельностью источников брожения – дрожжевых клеток. Бродильная способность дрожжей в значительной степени зависит от их физиологического состояния и способности адаптироваться к условиям среды в процессе брожения, причем функции их биологических структур, образование различных ферментов и уровень их каталитического действия в дрожжевых клетках обуславливается прежде всего составом питательной среды. Недостаток тех или иных веществ в субстрате приводит к снижению их обмена веществ и затуханию процесса брожения [1, 2]. Таким образом, развитие и активность метаболизма клеток дрожжей во многом зависит от полноценности химического состава питательной среды, используемой для их культивирования.

Известно, что жизнедеятельность дрожжей напрямую связана с биологической ассимиляцией азота, первыми продуктами которой являются аминокислоты. Благодаря азотистому обмену обеспечиваются процессы размножения дрожжевых клеток и их бродильная способность, причем более 70% необходимого дрожжам азота клетки получают за счет утилизации аминокислот, содержащихся в сусле.

Азотистый состав спиртового сусла во многом зависит от вида и химического состава сырья, используемого для его получения [3, 4]. Считается, что зерновое сусло по сравнению с другими сырьевыми источниками, например, картофелем или мелассой, с точки зрения содержания в нем аминного азота, является наиболее полноценной питательной средой для развивающихся дрожжевых клеток [3]. Однако сведения, касающиеся влияния аминокислотного состава зернового спиртового сусла на интенсивность биохимических процессов при его сбраживании, на сегодняшний день отсутствуют.

Цель настоящей работы – определение эффективности процесса сбраживания спиртового сусла в зависимости от качественного и количественного содержания в нем аминокислот, а также выявление закономерностей между спиртообразованием и концентрацией отдельных видов аминокислот, содержащихся в сусле.

Объекты и методы исследований. Исследования проводили в условиях лаборатории кафедры «Технология пищевых производств» Могилевского государственного университета продовольствия в 2008–2009 гг. Объектами исследования являлись образцы спиртового сусла, полученные с использованием трех видов зерновых культур: ржи сорта Пуховчанка, овса пленчатого сорта Юбіляр и новой зерновой культуры – овса голозерного сорта Вандроўнік. Выбор данных зерновых культур обусловлен следующими факторами. Основной зерновой культурой, перера-

батываемой отечественными спиртовыми предприятиями, является рожь, которая широко распространена и наиболее адаптирована к климатическим условиям нашей республики. Однако при ее использовании возникает ряд различных технологических трудностей, приводящих к снижению выхода получаемого этанола и ухудшению его органолептических свойств.

Вторым сырьевым объектом являлась новая зерновая культура – овес голозерный *Avena nuda L.*, отличительной особенностью которой является отсутствие в ее строении мяканных оболочек, характерных для традиционной культуры овса пленчатого. Она была получена при проведении селекционных работ методом индивидуального отбора из беккроссируемой гибридной популяции в лаборатории овса Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию [5]. В качестве контроля по отношению к овсу голозерному был использован овес пленчатый.

Оценку физико-химических показателей исследуемых образцов суслу и зрелой бражки проводили согласно Инструкции по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства, аминокислотный состав определяли с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе работы для получения суслу были приготовлены замесы с использованием овса голозерного, овса пленчатого и ржи, которые получали путем смешивания дробленого зерна (размер частиц 1 мм) с водой при гидромодуле 1 : 3,5. Выбранное значение гидромодуля является традиционно применяемым при переработке зерновых культур с высокой крахмалистостью. Полученные замесы разваривали по двум температурно-временным режимам – 90 и 130 °С в течение 100 мин; после стадии разваривания массу быстро охлаждали до температуры 56 °С и проводили осахаривание затора. В качестве разжижающего и осахаривающего средств использовали ферментные препараты Термамил SC и Сан-Экстра L при стандартных дозировках – 2 и 7 ед. активности на 1 г условного крахмала соответственно.

В полученных образцах суслу определяли следующие физико-химические показатели, характеризующие качество получаемого продукта: содержание сухих и редуцирующих веществ, растворимых и общих сбраживаемых углеводов, доброкачественность и титруемую кислотность суслу.

Как свидетельствуют данные табл. 1, вид зерновой культуры и температурные режимы разваривания в значительной степени влияют на физико-химические показатели исследуемых образцов суслу. Установлено, что максимальная концентрация сухих веществ в осахаренном сусле, независимо от режимов разваривания, отмечалась в образце № 1, полученном на основе новой зерновой культуры; причем наибольшее их количество (20,20%) наблюдалось в сусле из овса голозерного, разваренного при температуре 90 °С, минимальное (15,40%) – в сусле из овса пленчатого.

Наиболее высокой концентрацией редуцирующих веществ также характеризовался образец суслу № 1, полученный из овса голозерного, разваренный при температуре 90 °С, – 15,33 г/100 см³, что в 2,2 раза превышало содержание их в сусле из овса пленчатого и в 1,9 раза из ржи.

Таблица 1. Физико-химические показатели образцов спиртового суслу на основе овса голозерного, овса пленчатого и ржи, полученных при различных режимах разваривания

Показатель	Овес голозерный		Овес пленчатый		Рожь	
	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4	образец № 5	образец № 6
Содержание сухих веществ, %	20,20	18,60	15,40	15,20	16,60	18,00
Содержание редуцирующих веществ, г/100 см ³	15,33	14,28	6,93	6,73	7,80	9,15
Содержание растворимых углеводов, г/100 см ³	18,88	17,24	10,89	10,83	12,96	14,14
Содержание общих углеводов, г/100 см ³	20,61	19,29	16,53	16,00	17,10	18,66
Доброкачественность, %	93,47	92,67	70,71	71,25	78,07	78,56
Титруемая кислотность, град	0,15	0,15	0,12	0,12	0,15	0,15

Аналогичная динамика наблюдалась и при анализе содержания растворимых сбраживаемых и общих углеводов. Сусло, полученное на основе овса голозерного сорта, разваренного при температуре 90 °С (образец № 1), отличалось от образцов сусла из овса пленчатого и ржи более высокой (в среднем в 1,2–1,7 раза) концентрацией данных веществ.

Повышение температуры разваривания до 130 °С приводило к увеличению содержания растворимых сбраживаемых и общих углеводов при использовании зерновой культуры ржи (14,14 и 18,66 г/100 см³ соответственно).

Доброкачественность сусла из овса голозерного независимо от температуры разваривания замесов была в среднем в 1,2 раза выше, чем в сусле из ржи, и в 1,3 раза, чем в сусле из овса пленчатого.

Титруемая кислотность во всех исследуемых образцах сусла находилась на уровне 0,12–0,15 град и не зависела от режима разваривания и вида зерновой культуры.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что все исследуемые образцы спиртового сусла характеризовались определенными показателями качества, которые существенно зависели от вида используемой зерновой культуры. Установлено, что наиболее высокими физико-химическими показателями обладали образцы сусла № 1 и № 2, полученные на основе овса голозерного.

На следующем этапе данной работы были проведены исследования по определению количественного и качественного аминокислотного состава опытных образцов сусла.

Анализ данных табл. 2 показал, что аминокислотный состав сусла во всех исследуемых образцах был идентичен, однако количественное содержание аминокислот в них было различно и зависело от вида используемой культуры.

Так, наибольшим суммарным количеством аминокислот характеризовались образцы № 2 и № 6, полученные из ржи и из овса голозерного, разваренные при температуре 130 °С и 90 °С (640 и 629 мг/100 г соответственно); минимальным – образец № 3, полученный из овса пленчатого, разваренного при температуре 90 °С (395,2 мг/100 г). Необходимо отметить, что концентрация отдельных аминокислот в опытных образцах сусла также была различной и зависела от вида используемой культуры.

Таким образом, установлено, что все исследуемые образцы сусла характеризовались достаточно широким набором аминокислот, суммарная концентрация которых зависела от вида зерновой культуры и режима разваривания.

Таблица 2. Аминокислотный состав образцов сусла, полученных из овса голозерного, овса пленчатого и ржи при различных режимах разваривания замесов, мг/100 г

Аминокислота	Овес голозерный		Овес пленчатый		Рожь	
	образец № 1	образец № 2	образец № 3	образец № 4	образец № 5	образец № 6
Аспарагиновая	91,1±18,2	71,5±14,3	53,8±10,8	50,4±10,1	44,6±8,9	69,4±13,9
Глютаминовая	116,2±23,2	102,4±20,5	67,5±13,5	93,0±18,6	86,9±17,4	93,6±18,7
Серин	27,4±5,5	25,4±5,1	22,9±4,6	23,7±4,7	15,6±3,1	15,4±3,1
Треонин	13,8±2,8	12,0±2,4	9,9±2,0	11,3±2,3	8,9±1,8	10,6±2,1
Глицин	21,2±4,2	13,5±2,7	15,0±3,0	17,7±3,5	29,3±5,9	31,1±6,2
Аланин	23,0±4,6	22,2±4,4	23,7±4,8	39,1±7,8	26,1±5,2	36,7±7,3
Аргинин	8,3±1,7	7,4±1,5	5,5±1,1	7,1±1,4	5,7±1,2	6,7±1,3
Пролин	37,2±7,5	37,3±7,5	25,2±5,0	27,4±5,5	33,9±6,8	69,0±13,8
Валин	26,5±5,3	17,9±3,6	16,6±3,3	23,3±4,7	47,9±9,6	74,0±14,8
Метионин	16,3±3,3	19,6±3,9	5,7±1,1	6,1±1,2	11,1±2,2	19,1±3,8
Лейцин	35,4±7,1	14,1±2,8	12,9±2,6	13,3±2,7	13,0±2,6	14,6±2,9
Изолейцин	33,8±6,8	24,7±4,9	16,8±3,3	28,2±5,6	17,1±3,4	16,7±3,3
Фенилаланин	22,0±4,4	11,8±2,4	11,4±2,3	15,3±3,1	27,7±5,5	27,2±5,4
Цистеин	18,7±3,7	11,4±2,3	9,8±2,0	6,7±1,3	12,6±2,5	8,7±1,7
Лизин	34,4±6,9	22,6±4,5	16,5±3,3	11,8±2,4	14,8±2,9	19,8±4,0
Гистидин	34,3±6,9	37,1±7,4	33,2±6,6	30,0±6,0	46,4±9,23	54,8±11,0
Тирозин	70,3±14,1	56,0±11,2	48,8±9,8	59,6±11,9	71,4±14,3	73,2±14,6
Суммарное количество	629,9±126,0	506,9±101,4	395,2±79,0	464,0±92,8	513,0±102,6	640,6±128,1

В настоящее время выявлены определенные закономерности в отношении скорости потребления и участия различных аминокислот в азотном обмене дрожжевой клетки. Установлено, что при брожении наиболее интенсивно потребляется практически весь метионин, на 85% лизин и гистидин, на 63% цистин, и только на 14% используется пролин. Таким образом, по скорости потребления дрожжами аминокислоты делятся на четыре группы [1]:

I группа – быстро абсорбируемые: серин, треонин, лизин;

II группа – средне абсорбируемые: аргинин, аспарагиновая кислота, глютаминовая кислота, валин, метионин, лейцин, изолейцин;

III группа – медленно абсорбируемые: гистидин, глицин, фенилаланин, тирозин;

IV группа – мало или вообще не абсорбируемые: аланин, пролин.

Исходя из этого был проведен сравнительный анализ количественного содержания аминокислот в исследуемых образцах сусла с точки зрения скорости их абсорбции дрожжевой клеткой. Так, наибольшим содержанием серина, независимо от температуры разваривания, характеризовалось сусло, полученное из овса голозерного, – 25,4–27,4 мг/100 г, наименьшее количество содержало сусло из ржи – 15,6–15,4 мг/100 г.

Содержание треонина в сусле с использованием овса голозерного также было выше, чем в ржаном и сусле из овса пленчатого. Максимальным количеством треонина характеризовался образец № 1 из овса голозерного, полученный при температуре разваривания 90 °С, – 13,8 мг/100 г.

Кроме того, образцы сусла из овса голозерного, независимо от температуры разваривания, характеризовались и наибольшей концентрацией лизина – 22,6–34,4 мг/100 г; наименьшая концентрация (11,8 мг/100 г) отмечалась в образце № 4 из овса пленчатого, полученного при температуре разваривания 130 °С, и в образце № 5 – 14,8 мг/100 г.

Таким образом, установлено, что наибольшее содержание аминокислот с высокой скоростью абсорбции отмечалось в образце сусла, приготовленного с использованием новой зерновой культуры – овса голозерного.

Содержание аминокислот, имеющих среднюю скорость абсорбции, было следующим. Максимальная концентрация аргинина отмечалась в образце № 1, полученном из овса голозерного, разваренного при температуре 90 °С, – 8,3 мг/100 г; минимальная (5,5–5,7 мг/100 г) – в образцах сусла из овса пленчатого и ржи, разваренных при температуре 90 °С.

Наибольшее количество аспарагиновой кислоты также было в сусле из овса голозерного, разваренного при температуре 90 °С (91,1 мг/100 г), что в среднем в 1,7 раза выше ее содержания в сусле из овса пленчатого и в 2 раза из ржи, разваренных при этой же температуре. В образцах, полученных с применением температуры разваривания 130 °С, наибольшее содержание аспарагиновой кислоты отмечалось в сусле из овса голозерного сорта – 71,5 мг/100 г, минимальное количество содержало сусло из овса пленчатого – 50,4 мг/100 г.

Содержание глютаминовой кислоты независимо от режимов разваривания превалировало в сусле из овса голозерного и составляло 102–116 мг/100 г. Ее концентрация превышала таковую в 1,3–1,7 раз по сравнению с образцами из ржи и овса пленчатого, полученных при температуре разваривания 90 °С, и 1,1 раза по сравнению с данными культурами, разваренными при температуре 130 °С.

Самая высокая концентрация лейцина наблюдалось в сусле из овса голозерного, разваренного при температуре 90 °С, – 35,4 мг/100 г, что в 2,7 раза превышало содержание данной аминокислоты в сусле из овса пленчатого и ржи, разваренных при этой же температуре. Концентрация лейцина в образцах сусла, разваренных при температуре 130 °С, независимо от вида используемого зернового сырья, находилась на уровне 12,9–14,6 мг/100 г.

Повышенным содержанием изолейцина характеризовалось сусло из овса голозерного, полученное при температуре разваривания замеса 90 °С, – 33,8 мг/100 г, наиболее низким (16,7 мг/100 г) – ржаное сусло, разваренное при 130 °С. Кроме того, повышенное количество изолейцина отмечалось в образце сусла из овса пленчатого (образец № 4) – 28,2 мг/100 г.

Максимальным содержанием цистеина характеризовалось сусло из овса голозерного (образец № 1) – 18,7 мг/100 г, минимальным из овса пленчатого (образец № 4) – 6,7 мг/100 г.

Высокая концентрация метионина наблюдалась в образцах суслу из овса голозерного и ржи, разваренных при температуре 130 °С, – 19,1–19,6 мг/100 г, наиболее низким содержанием данной аминокислоты, независимо от температуры разваривания, характеризовалось сусло из овса пленчатого – 5,7–6,1 мг/100 г.

Следует отметить, что максимальное содержание валина – 74,0 мг/100 г было отмечено в ржаном сусле, полученном при 130 °С (образец № 6), что в 2,8–4,1 раза превышало содержание данной аминокислоты в образцах суслу из овса голозерного и в 3,2–4,5 раза из овса пленчатого.

Самая высокая концентрация медленно абсорбируемых аминокислот (гистидин, глицин, фенилаланин, тирозин), независимо от температуры разваривания замеса, наблюдалась в образцах суслу из ржи и превышала таковую в образцах из овса голозерного и из овса пленчатого: гистидина – в 1,7 раза, глицина и фенилаланина – в 1,9 раза, тирозина – в 1,3 раза.

Образцы суслу из ржи и овса пленчатого, независимо от температуры разваривания, характеризовались максимальной концентрацией аланина и пролина – аминокислот, относящихся к группе мало (или вообще) не абсорбируемых дрожжевой клеткой, причем содержание пролина в ржаном сусле превышало его содержание в образцах суслу из овса голозерного в среднем в 1,8 раза, аланина – в 1,6 раза.

Проведенные исследования позволили установить, что вид используемой зерновой культуры оказывает существенное влияние на формирование азотистого состава спиртового суслу, что в последующем может предопределять активность развития дрожжей и интенсивность биохимических процессов на стадии сбраживания спиртового суслу. Так, сусло, полученное с использованием овса голозерного, характеризовалось превалирующим содержанием аминокислот с высокой и средней скоростью абсорбции и низкой концентрацией аминокислот, относящихся к группе медленно и мало (или вообще) не абсорбируемых дрожжевой клеткой. Это свидетельствует о наиболее благоприятном аминокислотном составе суслу из овса голозерного по сравнению с образцами суслу из других исследуемых зерновых культур. Например, при получении ржаного суслу, независимо от режимов разваривания, в нем накапливаются повышенные концентрации преимущественно тех аминокислот, которые практически не абсорбируются дрожжевой клеткой.

На третьем этапе исследований для определения взаимосвязи аминокислотного состава суслу и последующих биохимических процессов при его сбраживании в опытные образцы суслу вносили разводку дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* расы XII в количестве 10% от объема суслу и подвергали их брожению в течение 72 ч при температуре 30 °С. После окончания сбраживания в зрелой бражке определяли концентрацию этилового спирта и физиологическое состояние дрожжевых клеток.

Как следует из представленных данных (рис. 1), наиболее интенсивное спиртообразование (10 об%) происходило в сусле, полученном из овса голозерного при температуре разваривания 90 °С (образец № 1); минимальная концентрация этилового спирта, независимо от температуры разва-

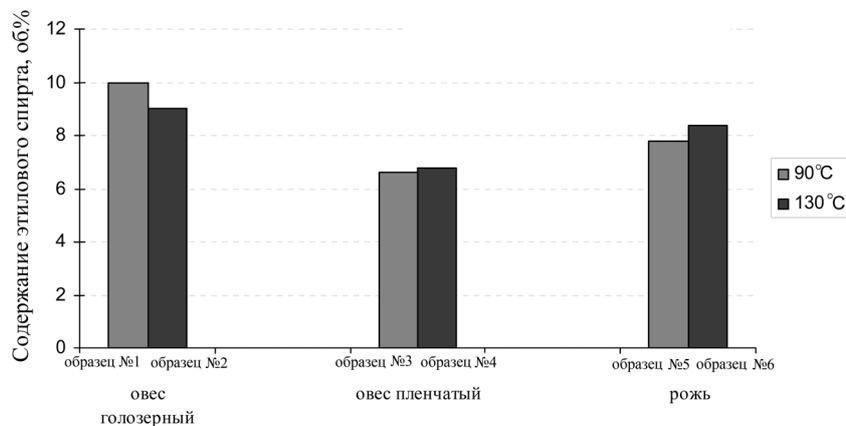


Рис. 1. Содержание этилового спирта в зрелых бражках в зависимости от вида зерновой культуры и температуры разваривания

ривания, накапливалась в зрелых бражках из овса пленчатого (от 6,6 до 6,8 об.%), что в 1,5 раза ниже, чем в бражках из овса голозерного, и в 1,2 раза ниже, чем в бражках из ржи.

Кроме того, в бражке с использованием овса голозерного отмечалось также и более интенсивное снижение видимых и действительных сухих веществ, чем в других опытных образцах.

Аналогичная закономерность наблюдалась и при определении растворимых несброженных и общих углеводов, а также редуцирующих веществ. Минимальным значением данных показателей характеризовалась бражка, полученная из овса голозерного, независимо от режима разваривания.

Анализ концентраций дрожжевых клеток показал (рис. 2), что наибольшей их концентрацией характеризовалась бражка овса голозерного, полученная при температуре разваривания 90 °С (111,50 млн/см³); наименьшим – ржаные бражки, независимо от температуры разваривания (62,00–69,00 млн/см³).

Наиболее низкий процент содержания мертвых дрожжевых клеток наблюдался также в бражке на основе овса голозерного, независимо от температуры разваривания (рис. 3). Наибольшее количество мертвых дрожжевых клеток отмечалось в бражке из ржи, полученной при температуре разваривания 130 °С, – 17,0%.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных установлено, что между спиртообразованием и концентрацией в сусле различных аминокислот существует определенная взаимосвязь, обуславливающая эффективность процесса брожения и, соответственно, предопределяющая необходимый выход этилового спирта.

Использование овса голозерного при получении спиртового сусла позволяет обеспечить более высокие концентрации этилового спирта и наилучшие показатели бражки по сравнению

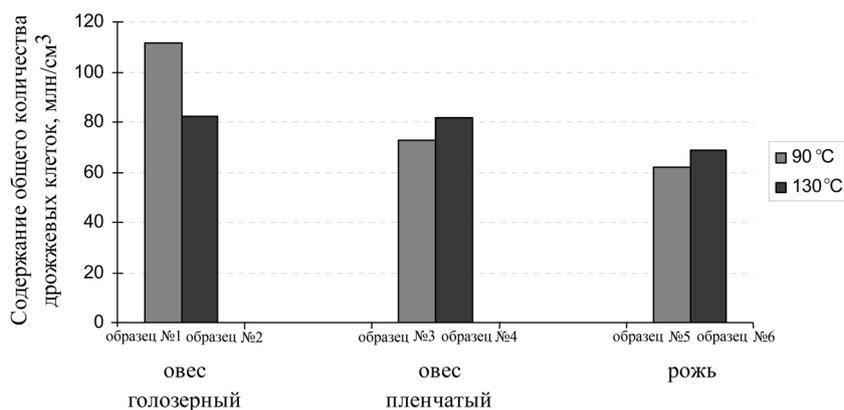


Рис. 2. Содержание общего количества дрожжевых клеток в зрелых бражках в зависимости от вида зерновой культуры и температуры разваривания

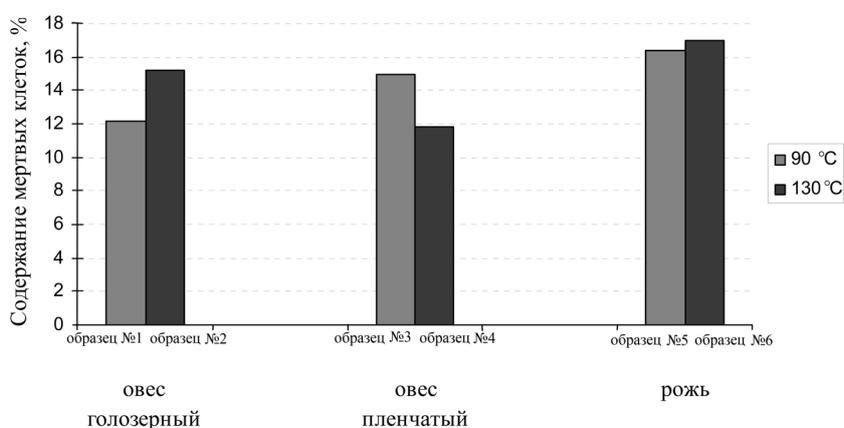


Рис. 3. Содержание мертвых клеток дрожжах в зависимости от вида зерновой культуры и температуры разваривания

с традиционно применяемыми в спиртовом производстве зерновыми культурами – рожью и овсом пленчатым, что способствует повышению эффективности спиртового производства в целом. Более того, наличие в сусле из овса голозерного высоких концентраций наиболее метаболически значимых для дрожжей аминокислот позволяет исключить использование дорогостоящих ферментных препаратов протеолитического спектра действия, применяемых при получении суслу из других зерновых культур.

Выводы

1. Исследование физико-химических показателей и аминокислотного состава образцов спиртового суслу в зависимости от вида зерновой культуры (ржи, овса пленчатого, овса голозерного) и температуры разваривания замеса (90 и 130 °С) показало, что наибольшей суммарной концентрацией аминокислот характеризовалось суслу, полученное из ржи, разваренной при температуре 130 °С (640 мг/100 г), и из овса голозерного, разваренного при температуре 90 °С (629 мг/100 г); минимальной – суслу, полученное из овса пленчатого при температуре 90 °С (395,2 мг/100 г).

2. Спиртовое суслу в зависимости от вида применяемой зерновой культуры существенно различается по количественному содержанию отдельных аминокислот. Установлено, что в сусле с использованием овса голозерного преобладают аминокислоты с высокой и средней скоростью абсорбции, это свидетельствует о наиболее благоприятном для развития дрожжевых клеток его аминокислотном составе. Ржаное суслу содержит повышенные концентрации преимущественно тех аминокислот, которые практически не абсорбируются дрожжевой клеткой.

3. Установлена взаимосвязь эффективности процесса брожения спиртового суслу и его аминокислотного состава. Показано, что при сбраживании суслу из овса голозерного, независимо от температуры разваривания, происходит более интенсивное спиртонакопление (на 28–51%), по сравнению с традиционно применяемыми в спиртовом производстве зерновыми культурами рожью и овсом пленчатым, чему в значительной степени способствует сбалансированность аминокислотного состава получаемого спиртового суслу.

4. Переработка овса голозерного при получении пищевого этилового спирта позволяет исключить использование дорогостоящих ферментных препаратов протеолитического спектра действия, применяемых при получении суслу из других зерновых культур.

Литература

1. Коновалов, С. А. Биохимия дрожжей / С. А. Коновалов. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 271 с.
2. Жвирблянская, А. Ю. Микробиология в пищевой промышленности / А. Ю. Жвирблянская, О. А. Бакушинская. – 2-е изд. – М.: Пищевая пром-сть, 1975. – 500 с.
3. Яровенко, В. Л. Технология спирта / В. Л. Яровенко, В. А. Маринченко, В. В. Смирнов. – М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002. – 464 с.
4. Лихтенберг, Л. А. Производство спирта из зерна. – М.: Пищевая промышленность, 2006. – 324 с.
5. Технология получения высокой урожайности овса / С. П. Халецкий [и др.] // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. научн. материалов. – Минск, 2007. – С. 158–164.

*Z. V. VASILENKO, A. A. TSED, S.V. VOLKOVA, L.M. KOROLEVA,
A. A. MIRONTSEVA, A.N.MYSLITSKAYA*

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CEREAL CROPS ON AMINO ACID STRUCTURE OF SPIRIT MASH AND BIOCHEMICAL PROCESS AT ITS FERMENTATION

Summary

The article deals with the results of research on identifying the amino acid structure of spirit mash samples depending on the type of cereal crop (rye, oat filmy, oat bare) and the temperature of boiling (90 and 130 °С). **It is established that the optimum amino acid structure is formed in the process of oat bare processing which ensures a higher concentration of amino acid with high and average speed of absorption in spirit mash.** It allows not only to intensify biochemical process at the fermentation of mash but also to exclude the use of expensive ferment preparations that are applied in the process of getting mash from other cereal crops.