

УДК 663.53

Профессор Г.В. Агафонов, доцент И.В. Новикова,
доцент А.Н. Яковлев
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии броидильных производств
и виноделия, тел. (473) 255-37-32)
доцент А.В. Коростелев,
(ООО «Объединенные частные пивоварни»), тел. 8-920-345-54-81

Исследование процесса сбраживания суслу в производстве крепких алкогольных напитков с применением различных микроорганизмов

Изучены процессы производства крепких алкогольных напитков. Исследована возможность применения дрожжей различных видов.

Studying of strong alcoholic drinks manufacture processes. Research of application possibility of various kinds of yeast.

Ключевые слова: технология крепких алкогольных напитков, спиртовые дрожжи, пивоваренные дрожжи, спиртовое сусло.

Стадия брожения в производстве виски аналогична применяемой в производстве других спиртных напитков, причем в большинстве нормативных актов допускается лишь использование дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Для обеспечения требуемого состава и вкусоароматических характеристик спиртов-виски для сбраживания суслу использовали спиртовые и пивоваренные дрожжи [1].

Основная цель – исследование процесса сбраживания комбинированного зернового суслу с применением пивоваренных и спиртовых дрожжей, анализ физико-химических показателей образцов бражки.

Для исследования процесса сбраживания применяли образцы суслу 6 (приготовленного настойным способом из смеси ржаного и ячменного солодов), 7 (приготовленного модифицированным способом совместного затирания с применением микробных ферментных препаратов из смеси ржаного, ячменного солодов и кукурузы), выбранные на основе предварительных экспериментальных исследований.

Для сбраживания комбинированного зернового суслу использовали сухие пивоваренные дрожжи рода *Saccharomyces* вида *carlsbergensis*, расы 143 и спиртовые дрожжи рода *Saccharomyces*, вида *cerevisiae* (*Fermiol*), расы DY 7221.

Сбраживание образцов суслу проводили при температуре 29 – 30 °С при использовании

и спиртовых, и пивоваренных дрожжей, что представляется возможным, так как целью исследования является получение не пива, а спирта-виски.

В процессе брожения комбинированного зернового суслу происходят различные микробиологические и биохимические процессы. Повышается кислотность, изменяются белковый состав и содержание углеводов, снижается активность ферментов за счет длительного нахождения в кислой среде [2, 4].

Качественные показатели спирта-виски в значительной степени зависят от продолжительности брожения, о которой можно судить по скорости выделения диоксида углерода и накоплению биомассы. Качество спирта-виски также зависит от рода микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности. Нами было проведено исследование и определена рациональная продолжительность брожения с применением пивоваренных и спиртовых дрожжей для образцов суслу, полученных различными способами.

Показано (рис. 1), что в случае сбраживания комбинированного суслу, полученного модифицированным способом, спиртовыми дрожжами при продолжительности 46 – 48 ч наблюдали максимальный объем выделенного диоксида углерода, а в случае сбраживания суслу пивоваренными дрожжами

максимальный объем диоксида углерода фиксировали при продолжительности 55 – 57 ч.

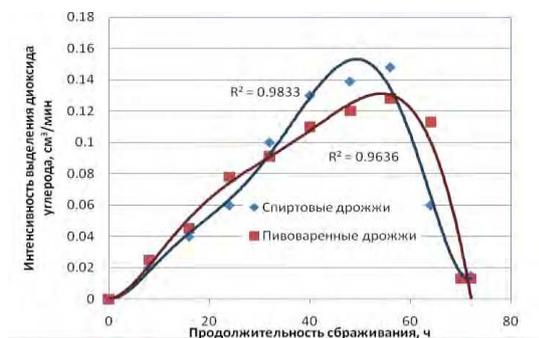


Рис. 1. Интенсивность выделения углекислого газа при сбраживании сусла, полученного модифицированным способом совместного затирания с применением ферментных препаратов из смеси ржаного, ячменного солода и кукурузы

Затем объем выделенного диоксида углерода во всех опытах снижался до 0,011 – 0,012 см³/мин.

В случае сбраживания сусла, полученного настойным способом, спиртовыми дрожжами при продолжительности 54 – 56 ч объем диоксида углерода максимален, как и в случае сбраживания сусла пивоваренными дрожжами, затем объем диоксида углерода во всех опытах снижался до 0,013 см³/мин (рис. 2).



Рис. 2. Интенсивность выделения диоксида углерода при сбраживании сусла, полученного настойным способом из ячменного и ржаного солода

Проводили интегрирование функций (рис. 1-2). Полученная интегральная функция характеризует глубину или степень сбраживания сусла к определенному моменту времени [3].

Интегрировали dF/dt – скорость изменения объема диоксида углерода $F(t)$ по времени и восстанавливали исходную величину

$F(t)$. Были получены экспериментальные данные об интенсивности выделения диоксида углерода в 11 моментов времени за 72 ч сбраживания (рис. 1–2). Со степенью сбраживания коррелирует объем выделенного диоксида углерода, вычисляемый как интеграл во времени от интенсивности выделения данного вещества. В связи с непостоянными промежутками времени между замерами интенсивности значения данного объема рассчитывали по формуле

$$V_1 = 0; V_i = \int_0^{t_i} C(t)dt \approx V_{i-1} + \frac{1}{2}(t_i - t_{i-1})(C_i + C_{i-1}),$$

где i изменяется от 2 до 11. Указанная формула известна как формула трапеций для численного интегрирования с переменным шагом [5]. Объем выделенного диоксида углерода CO_2 (см³) в различные промежутки времени и результаты расчетов приведены в табл. 1 (рис. 3 – 5).

Т а б л и ц а 1

Динамика выделения диоксида углерода для различных видов дрожжей и сусла, полученного настойным и модифицированным способом

Продолжительность сбраживания, ч	Объем выделенного диоксида углерода, см³.			
	Интегральная функция			
	Сусло, полученное модифицированным способом		Сусло, полученное настойным способом	
	Спиртовые дрожжи	Пивоваренные дрожжи	Спиртовые дрожжи	Пивоваренные дрожжи
0	0	0	0	0
8	4,8	6,0	4,8	6,0
16	19,2	22,8	19,2	22,8
24	43,2	52,3	43,2	52,3
32	81,6	91,4	81,6	92,9
40	136,8	132,2	136,8	141,1
48	202,8	193,4	201,4	196,3
56	267,6	253,0	270,2	255,8
64	312,0	300,5	320,2	313,7
70	325,5	315,4	333,7	336,4
72	327,3	317,0	335,5	337,9

Как следует из табл. 1, способ приготовления сусла (настоянный либо модифицированный) оказывает влияние на объем выделенного CO_2 лишь после 32 ч сбраживания и в незначительных масштабах, а именно объем выделенного CO_2 при использовании сусла, полученного настоянным способом, больше, чем при использовании сусла, полученного модифицированным способом на 6,6 % при применении для сбраживания пивоваренных дрожжей; на 2,5 % – спиртовых дрожжей.

Согласно данным табл. 1 после 72 ч сбраживания виды применяемых дрожжей и объем CO_2 при сбраживании сусла, приготовленного различными способами, можно расположить в следующем порядке (по убыванию объема выделенного CO_2): настоянный способ приготовления сусла (пивоваренные дрожжи); настоянный способ приготовления сусла (спиртовые дрожжи); модифицированный способ приготовления сусла (спиртовые дрожжи); модифицированный способ приготовления сусла (пивоваренные дрожжи).

Различие между крайними пунктами списка составляет $\left(\frac{337,9}{317,0} - 1\right) \cdot 100 = 6,6\%$.

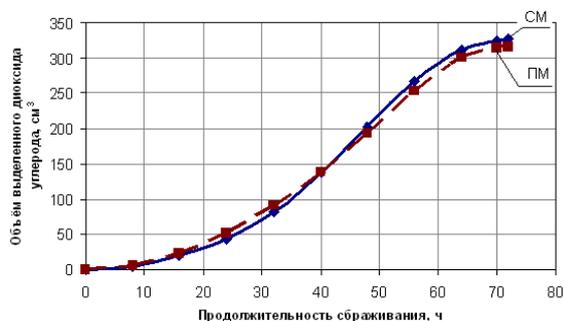


Рис. 3. Динамика выделения оксида углерода для сусла, полученного модифицированным способом: СМ – спиртовые дрожжи, модифицированный способ; ПМ – пивоваренные дрожжи, модифицированный способ

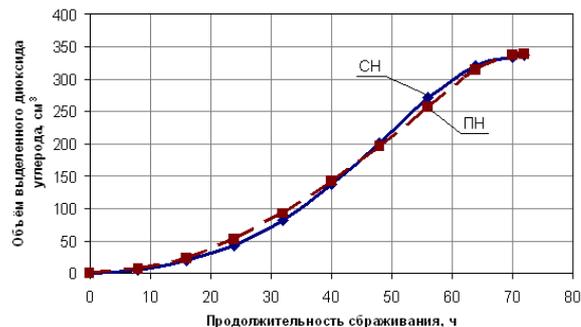


Рис. 4. Динамика выделения оксида углерода для сусла, полученного настоянным способом: СН – спиртовые дрожжи, настоянный способ; ПН – пивоваренные дрожжи, настоянный способ

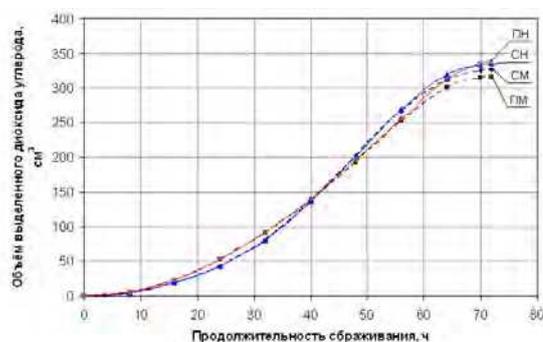


Рис. 5. Зависимость объёма выделенного диоксида углерода (cm^3) от продолжительности сбраживания (ч) для различных видов дрожжей и сусла, приготовленного различными способами: СМ – спиртовые дрожжи, модифицированный способ; ПМ – пивоваренные дрожжи, модифицированный способ, СН – спиртовые дрожжи, настоянный способ, ПН – пивоваренные дрожжи, настоянный способ

В результате анализа данных, представленных на рис. 5, можно установить, что значения интегральных функций выделения диоксида углерода (скорость сбраживания) при применении сусла, приготовленного настоянным способом спиртовыми и пивоваренными дрожжами (рис. 3), и сусла, приготовленного модифицированным способом спиртовыми и пивоваренными дрожжами (рис. 4), отличаются незначительно. В связи с этим в дальнейших исследованиях анализировали объемную долю этанола в образцах бражки, величина которой является определяющим фактором для обеспечения нормативного выхода спирта-виски (табл. 2).

Концентрация биомассы в начале процесса брожения и при его окончании находилась в пределах 80-100 млн клеток/см³.

Максимальное накопление биомассы спиртовых и пивоваренных дрожжей в случае сбраживания суслу, полученного настольным способом (250 и 210 млн клеток /см³), наблюдали на 54 – 56 ч брожения, что коррелирует с экспериментальными данными по наибольшему объему диоксида углерода.

Максимальное накопление биомассы спиртовых дрожжей при сбраживании суслу, полученного модифицированным способом с применением ферментных препаратов (250 млн клеток /см³), наблюдали на 48 ч брожения, пивоваренных дрожжей (203 млн клеток /см³) – на 56 ч брожения.

На 48 ч брожения в сусле находится достаточно большое количество сбраживаемых веществ, активность микроорганизмов также высока за счет того, что они уже приспособились к среде и начали активно размножаться. В дальнейшем за счет активного потребления субстрата микроорганизмы оседают на дно, их содержание в бродящем сусле понижается, однако остаётся на достаточно высоком уровне. Снижение скорости выделения диоксида углерода обусловлено снижением концентрации субстрата в сусле, т.е. жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но менее активно. Одним из условий успешного проведения процесса брожения является значительная концентрация биомассы. Этим условиям в полной мере отвечает продолжительность брожения 68 – 72 ч при применении спиртовых дрожжей.

От содержания сахаров в сусле до брожения зависит предельно возможное накопление этанола при брожении. Исходное содержание сухих веществ составляло 18,2 и 18,8 %; редуцирующих веществ – 13,9 и 14,5 г на 100 см³ суслу (для образцов, приготовленных модифицированным и настольным способом).

Исследовали накопление этанола в образцах бражки и получили следующие результаты. Процесс синтеза этанола во времени имеет явную лаг-фазу, в ходе которой накопление спирта во всех случаях незначительно. Затем синтез этанола становится более интенсивным.

Наиболее интенсивное образование этанола спиртовыми дрожжами происходило до 46 – 48 ч брожения, пивоваренными дрожжами – до 55 – 57 ч. Максимальное содержание этанола наблюдали в образцах сброженного суслу, приготовленного по модифицированному способу с применением ферментных препаратов и спиртовых дрожжей – 9,4 % об. При применении пивоваренных дрожжей объемная доля этанола достигла значения 8,9 % об.

Максимальное содержание этанола наблюдали в образцах сброженного суслу, приготовленных настольным способом при применении спиртовых дрожжей – 9,1 %. Это значение на 3,2 % ниже, чем в сусле с использованием несоложенного сырья. При применении пивоваренных дрожжей содержание этанола в бражке достигло значения 8,7 % об.

Видимо, наибольшее накопление этанола в образцах сброженного спиртовыми дрожжами суслу из ячменного, ржаного солода и кукурузы, приготовленного модифицированным способом с применением ферментных препаратов, связано с повышенным содержанием сухих веществ, в том числе редуцирующих, в исходном сусле, с оптимальной температурой для жизнедеятельности спиртовых дрожжей *Fermiol*, расы DY 7221.

При осахаривании с применением микробных ферментных препаратов скорость гидролиза конечных декстринов суслу при температуре 29 – 30 °С выше скорости их гидролиза ферментами солодов (настольный способ приготовления суслу). В результате сбраживания при использовании ферментных препаратов происходит более эффективно, скорость гидролиза конечных декстринов до сбраживаемых сахаров здесь является лимитирующим фактором, от которого зависит скорость сбраживания суслу.

Поскольку содержание объемной доли этанола в бражке является определяющим фактором для обеспечения нормативного выхода спирта-виски, в дальнейших экспериментах применяли дрожжи спиртовые *Sacch. cerevisiae*, *Fermiol*, раса DY 7221.

Физико-химические показатели зрелой бражки, приготовленной из зерновых композиций (образцы 6, 7) с использованием спиртовых дрожжей представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели зрелой бражки из различного зернового сырья

№ обр.	Наименование показателей			
	Видим. масс. доля сухих веществ, %	Кисл. град.	Содерж. несброжен. углеводов, г/100 см ³	Объемная доля спирта, %
6	0,3	0,32	0,24	9,10
7	0,2	0,40	0,43	9,40

Из табл. 2 видно, что объемная доля этанола, величина отброда, кислотности, содержание несброженных углеводов в образцах бражки соответствуют нормативным показателям для спиртового производства [1, 2].

Для приготовления суслу в производстве напитков «Виски» является целесообразным использование модифицированного способа с применением ферментных препаратов из ячменного, ржаного солода и несоложенного сырья – кукурузы, сбраживание осахаренного суслу в течение 68 – 72 ч дрожжами спирто-

выми *Sacch. cerevisiae, Fermiol*, расы DY 7221 при температуре 30 °С, оптимальной для их жизнедеятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ли, Э. Спиртные напитки: особенности брожения и производства [Текст] / Э. Ли, Дж. Пиготт. – Профессия, 2006. – 564 с.
2. Whisky. Technology, Production and Marketing // Edited by: Inge Russell, Graham Stewart, Charlie Bamforth. – Elsevier, 2003. – P. 350.
3. Грачёв, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. [Текст] / Ю.П. Грачёв, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
4. Панфилов, В.А. Фундаментальная наука и пищевые технологии будущего [Текст] / В.А. Панфилов // Вестник ВГУ. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2011.- № 1. -С. 4 – 7
5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. [Текст] / Г.Корн, Т. Корн. - М.: Наука. 1984. – С. 696.