

УДК 664.15+661.72

Влияние длительности культивирования спиртовых дрожжей на результаты сбраживания мелассного сусла

Л. В. Левандовский, д-р техн. наук, профессор; О. В. Ничик, канд. техн. наук; А. А. Яковенко
Национальный университет пищевых технологий, г. Киев

Ключевые слова: спиртовые дрожжи, культивирование, мелассное сусло, сбраживание, дрожжегенерирование

Key words: distillers yeast, cultivating, molasses wort, fermentation, generating yeast

Одним из вариантов переработки мелассы в производстве спирта в Украине и России служит получение одновременно двух целевых продуктов — ректификованного спирта и прессованных хлебопекарных дрожжей [1]. Такое технологическое решение имеет ряд экономических преимуществ перед производством этих продуктов на отдельных предприятиях — спиртовых и специализированных дрожжевых [2]. При этом весь технологический процесс состоит из двух этапов: выращивание продуцента спирта (дрожжей) с последующим сбраживанием ими углеводов в спирт.

Основной особенностью культивирования биомассы в технологии совместного производства спирта и хлебопекарных дрожжей в отличие от специализированного дрожжевого производства является сочетание двух путей катаболизма углеводов: гликолиза (с образованием спирта) и цикла трикарбоновых кислот (с образованием конструктивных элементов для синтеза дрожжевых клеток) [3]. Несмотря на то что главной целью стадии дрожжегенерирования является накопление биомассы дрожжей, полностью переключить метаболизм продуцента на аэробное окисление углеводов нецелесообразно. Причиной этого, как считают исследователи [2, 4], является то, что функциональная способность аэробно выращенной биомассы не в полной мере удовлетворяет требованиям эффективного анаэробного сбраживания субстрата в спирт.

Исходя из этого культивирование дрожжей для реализации спиртового сбраживания сахаров следует осуществлять в частично аэробных условиях, чтобы достичь повышенного накопления

биомассы продуцента, обладающей способностью эффективно (с максимальным выходом) превращать углеводы в этанол. Одним из основных факторов при решении данной задачи является продолжительность процесса культивирования.

В качестве основного компонента питательной среды использовали свеклосахарную мелассу, содержащую 78,5% сухих веществ (СВ) и 50,3% сбраживаемых углеводов. Сусло для культивирования готовили путем разбавления мелассы водой до концентрации СВ 21–22% и подкисления 1 н. H_2SO_4 до pH 5,2. Процесс выращивания дрожжей осуществляли на хемостатной стендовой установке в аппарате объемом 2,5 л при интенсивности аэрирования 0,10–0,15 л/л мин и температуре 29 ± 1 °С. В качестве продуцента использовали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, штамм У-563 [1]. Длительность культивирования варьировали в пределах 6–16 ч путем установления соответствующей скорости притока сусла в аппарат перистальтическим насосом.

Видимую и действительную концентрацию СВ сред анализировали ареометрическим методом, pH и кислотность среды — потенциметрически, величину биомассы дрожжей — весовым методом, ее зимазную активность — газометрическим методом, концентрацию спирта — пикнометрически, несброженные углеводы — колориметрическим методом с резорциновым реагентом [5].

Результаты исследований и их обсуждение. Экспериментальный материал, полученный при изучении влияния длительности дрожжегенерирования на конечные результаты процесса, представлен в табл. 1.

С увеличением длительности культивирования дрожжей с 6 до 10 ч установлено нарастание биомассы от 21,5 (6 ч процесса) до 27,2 (8 ч) и 31,0 г/л (10 ч). Дальнейшее увеличение продолжительности процесса до 12, 14 и 16 ч не повлияло на данный показатель.

Концентрация спирта в среде после культивирования поступательно увеличивалась с 4,35 (через 6 ч культивирования) до 7,90 об.% (16 ч). В данном эксперименте интересным было проследить показатель накопления дрожжей относительно уровня спиртообразования: он

Таблица 1

Показатель	Продолжительность процесса, ч					
	6	8	10	12	14	16
Видимая концентрация СВ, %	13,5	13,0	11,4	9,7	9,2	8,5
Действительная концентрация СВ, %	14,2	13,9	13,3	12,0	11,3	11,0
pH среды	5,3	5,2	5,3	5,3	5,2	5,3
Кислотность, град	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Биомасса дрожжей 75%-ной влажности:						
г/л среды	21,5	27,2	31,0	30,0	30,3	29,3
г/мл спирта	0,49	0,46	0,51	0,43	0,40	0,37
Зимазная активность дрожжей, мин	18±1	17±1	16±2	18±1	21±1	22±1
Концентрация спирта, об. %	4,35	5,30	6,05	7,05	7,55	7,90
Несброженные углеводы, г/100 мл	7,25	6,60	4,87	3,55	1,22	0,59

Таблица 2

Продукты метаболизма	Единица измерения	Продолжительность процесса, ч					
		6	8	10	12	14	16
Глицерин	г/100 мл среды	0,53	0,63	0,70	0,79	0,79	0,77
	г/л б. с.	122,1	118,0	115,2	113,0	104,5	97,3
Альдегиды	об. %	0,070	0,068	0,038	0,028	0,017	0,016
	мл/л б. с.	16,1	12,8	6,3	4,0	2,3	2,0
Высшие спирты	об. %	0,069	0,062	0,041	0,042	0,044	0,039
	мл/л б. с.	15,9	11,7	6,8	6,0	5,8	4,9
Летучие кислоты	мг/100 мл среды	24,0	22,6	29,4	25,2	28,8	31,0
	г/л б. с.	5,5	4,3	4,9	3,6	3,8	3,9
Эфиры	мг/100 мл среды	11,7	12,7	11,5	9,4	9,0	8,8
	г/л б. с.	2,6	2,4	1,9	1,3	1,2	1,1

Таблица 3

Показатели зрелой бражки	Продолжительность выращивания дрожжей, ч					
	6	8	10	12	14	16
Видимая концентрация СВ, %	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1
Действительная концентрация СВ, %	10,1	10,2	10,4	10,3	10,5	10,3
pH среды	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,3
Кислотность, град	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Биомасса дрожжей, г/л	32,6	34,2	38,2	36,0	34,3	35,0
Зимазная активность, мин	27±2	16±1	14±1	14±1	18±1	20±2
Концентрация спирта, об. %	8,0	7,9	8,1	7,95	7,9	7,95

был максимальным при 6–10 ч культивирования (0,46–0,51 г/мл спирта), а с возрастом длительности процесса до 16 ч постепенно уменьшался до 0,37 г/мл.

При этом зимазная активность выращенной биомассы, которая характеризует ее спиртообразующую способность, была достаточно высокой (16–18 мин) в вариантах с длительностью 6–12 ч, а в последних двух вариантах несколько ослаблялась до 21–22 мин.

Из приведенных данных следует, что при накоплении этанола в среде выше 6 об. %, т. е. в условиях выращивания биомассы длительностью более 10 ч, наступает ингибирование роста дрожжевых клеток образовавшимся спиртом. Об этом свидетельствуют показатели величины биомассы дрожжей и их зимазной активности.

В табл. 2 отражены показатели биосинтеза вторичных продуктов метаболизма дрожжей при их культивировании.

Следует отметить тенденцию к уменьшению количества альдегидов (от 0,07 до 0,016 об. %) и высших спиртов (от 0,069 до 0,039 об. %) с возрастанием длительности процесса. Такая динамика высших спиртов согласуется с известными представлениями ученых о прямой зависимости величины образования этой группы веществ от величины прироста дрожжевой биомассы [2].

Определенной закономерности в количестве синтезируемых летучих кислот не выявлено, а содержание эфиров снижается в среде после 12, 14 и 16 ч выращивания дрожжей (9,4–8,8 мг/100 мл) в сравнении с их количеством после 6–10 ч культивирования биомассы (11,6–12,7 мг/100 мл).

Вместе с тем в пересчете на единицу объема накопленного спирта количество всех вышеуказанных вторичных продуктов уменьшается с увеличением длительности процесса.

Концентрация глицерина в среде несколько увеличивается от 0,53 (6 ч процесса) до 0,77 г/100 мл (12 ч), а в следующих вариантах (14 и 16 ч) практически не изменяется. Однако в пересчете на количество безводного спирта (б. с.) имеет место постепенное снижение накопления глицерина с 122,1 (6 ч) до 97,3 г/л б. с. (16 ч).

Приведенные результаты позволяют сделать вывод об ослаблении интенсивности образования вторичных продуктов метаболизма дрожжей в сравнении со скоростью образования спирта при длительности выращивания биомассы с 6 до 16 ч. Указанное позволяет расширить существующее представление о биохимических процессах на стадии дрожжегенерирования в технологии спирта.

При анаэробном дображивании сред, характеристика которых приведена в табл. 1 и 2, получены зрелые бражки с показателями, представленными в табл. 3.

Следует отметить, что длительность анаэробной стадии брожения дополняла общую продолжительность процесса до 24 ч.

Колебания концентрации спирта в зрелых бражках рассматриваемых вариантов (7,9–8,1 об. %) не имели определенной закономерности в зависимости от длительности дрожжегенерирования.

Накопление дрожжей в зрелых бражках при 10–12 ч дрожжегенерирования было большим, чем при 6-часовом их выращивании (38,2–36,0 против 32,6 г/л). Эти же варианты были более предпочтительными и по показателю зимазной активности дрожжей (14 против 27 мин).

Количество глицерина и летучих кислот имело тенденцию к некоторому увеличению от первого до последнего варианта, а глубина сбраживания углеводов в зрелых бражках была наибольшей в случае выращивания дрожжей в течение 10 и 12 ч (0,23 и 0,24 г/100 мл). Накопление альдегидов, высших спиртов и эфиров во всех вариантах колебалось в пределах погрешности методов их анализа.

Таким образом, по совокупности основных результатов процесса сбраживания мелассного суслу концентрацией 21–22 % СВ с целью повышения накопления дрожжей и достижения наивысшей их зимазной активности предпочтительной длительностью культивирования можно считать 8–10 ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовой технологический регламент получения мелассно-спиртовой бражки и прессованных хлебопекарных дрожжей. — Киев: Украинский научно-исследовательский институт спирта и биотехнологии продовольственных продуктов; Министерство аграрной политики Украины, 2004. — 62 с.
2. Левандовский, Л. В. Научное обоснование и разработка прогрессивных технологий спирта и хлебопекарных дрожжей из мелассы в спиртовом производстве: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.07/УГУПТ/Л. В. Левандовский. — Киев, 1995. — 43 с.
3. Маринченко, В. А. Технология спирта/В. А. Маринченко [и др.]; под ред. В. А. Маринченко. — Винница: Подолье — 2000, 2003. — 496 с.
4. Пирог, Т. П. Общая биотехнология: учебник/Т. П. Пирог, О. А. Игнатова. — Киев: НУПТ, 2009. — 336 с.
5. Польшалина, Г. В. Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства/Г. В. Польшалина. — М.: Колос, 1999. — 336 с.