

**Влияние состава мелассного суслу на эффективность двухпродуктового
производства спирта и хлебопекарных дрожжей**

Леонид Викторович Левандовский, Оксана Васильевна Ничик, Юлия Валериевна
Семенюк

Одним из прогрессивных направлений комплексной переработки свеклосахарной мелассы в производстве спирта есть получение из нее двух продуктов – этанола и хлебопекарных дрожжей [1]. Такая технология имеет целый ряд экономических преимуществ в сравнении с выработкой каждого из этих продуктов отдельно и эксплуатируется на нескольких спиртовых предприятиях Украины и России. Задачей такого производства есть достижение необходимого выхода каждого из этих продуктов с обеспечением требуемых показателей их качества. При этом следует учесть, что в зависимости от конъюнктуры рынка технология должна быть регулируемой в плане соотношения объемов выработки спирта и дрожжей [2]. В связи с этим необходимо изыскать такие режимы переработки сырья, которые бы способствовали решению поставленной задачи

Важнейшими факторами совместного биосинтеза спирта и дрожжевой биомассы есть содержание в питательной среде азота, фосфора, а также концентрация в ней сухих веществ и сбраживаемых углеводов [3]. Целью наших исследований было определение потребности продуцента спирта и дрожжей в источниках азотистого и фосфорного питания для увеличения

выхода дрожжей по отношению к этанолу, а также оптимизация концентрации сухих веществ (СВ) мелассного сусла.

Объекты и методы исследований

Сырьём для приготовления мелассного сусла служила свеклосахарная меласса, содержащая 49,6% сбраживаемых углеводов и 78,8% СВ, которую обогащали азотистым (карбамид) и фосфорным (H_3PO_4) питанием, после чего разбавляли водой до необходимой концентрации СВ. Активную кислотность среды устанавливали на уровне рН 5,2 - 5,3 подкислением 1н H_2SO_4 . Сбраживание сусла осуществляли в анаэробных условиях при температуре 29-31°C в колбах, закрытых сернокислотными затворами. Объем сусла - 200 мл, количество засевных дрожжей - 5 г/л.

Брожение считали завершённым при прекращении выделения CO_2 из бражки и стабилизации ее массы [1]. Зрелую бражку анализировали по показателям действительной концентрации СВ, кислотности, биомассы дрожжей, концентрации спирта, несброженных углеводов и глицерина по принятым в науке и практике спиртового производства методикам [4]. Подъемную силу дрожжей контролировали согласно техническим условиям [5], а зимазную активность – газометрически [4]. Уровень накопления высших спиртов, летучих кислот, сложных эфиров и альдегидов в зрелой бражке определяли известными в научно-исследовательской практике методами [2].

Экономический коэффициент использования углеводов субстрата для биосинтеза дрожжей и спирта рассчитывали путем отношения суммы масс накопившейся абсолютной сухой биомассы и безводного спирта к количеству введенных в процесс углеводов. Константы скорости сбраживания углеводов

сусла (K_c) и коэффициент ингибирования процесса (K_i) вычисляли согласно [6].

Результаты исследований и их обсуждение

Данные исследований влияния концентрации СВ меласного сусли на результаты его сбраживания представлены в табл.1. Несмотря на то, что максимальное содержание дрожжевой биомассы наблюдалось при концентрации сусли 16 и 20% СВ, экономический коэффициент ее биосинтеза был наивысшим в варианте с 8% СВ – 0,10 г АСД/г – и постепенно снижался до 0,04 г/г в случае использования сусли с 24% СВ (табл.1). Уменьшение концентрации сбраживаемого сусли обеспечивало также снижение содержания несброженных углеводов и глицерина в зрелой бражке, а также наилучшую ферментативную активность дрожжей. В результате указанного имела место обратная зависимость выхода спирта от концентрации СВ сусли, что свидетельствовало об ослаблении ингибирующего действия продуктов брожения и сухих веществ среды на метаболизм дрожжей. При этом улучшались также кинетические параметры процесса: сокращалась длительность брожения, уменьшался коэффициент ингибирования процесса с 41,0 (24% СВ) до 14,2 (8% СВ) усл. единиц с одновременным увеличением константы скорости сбраживания углеводов, соответственно, с 0,08 до 0,42 ч⁻¹ (рис.1).

Рисунок 1. Зависимость константы скорости сбраживания углеводов сусли (K_c) и коэффициента ингибирования процесса (K_i) от концентрации сухих веществ сусли : 1 – K_c ; 2 – K_i .

Суммарный экономический коэффициент использования углеводов субстрата на биосинтез спирта и дрожжей с возрастанием начальной

концентрации СВ сусла постепенно снижался с 0,59 (8% СВ) до 0,52 (24% СВ) г/г введенных углеводов (табл.1).

Анализируя результаты исследований, можно заключить, что с точки зрения эффективности конверсии субстрата в совместном производстве спирта и дрожжей целесообразно использовать сусло концентрацией 8-12% СВ.

Исходя из того, что главными элементами конструктивного обмена дрожжей (кроме углерода) являются азот и фосфор, нами проведены исследования по поиску оптимальных дозировок указанных веществ для обеспечения максимального накопления дрожжей в среде.

С целью установления диапазона исследуемых дозировок источников азотистого питания использовали известную формулу, позволяющую определить теоретическую потребность в них при сбраживании сусла с целью накопления двух целевых продуктов:

$$A = \frac{Dp g N g (100 + L)}{10 g C} - 10 g M g N_1$$

где: А- количество азота, которое надо внести в мелассу из расчета на 1000 дал спирта, кг;

Др– концентрация дрожжей 75%-ной влажности в зрелой бражке , г/л;

Н – содержание общего азота в хлебопекарных дрожжах 75%-ной влажности ;

N₁ – содержания формольного азота в мелассе, % ;

Л – количество неиспользуемого азота, % ;

М – количество мелассы для получения 1000 дал спирта, т;

С – концентрация спирта в зрелой бражке, об.%.

Аналогичным образом рассчитывали потребность дрожжей в фосфоре, а средние значения индексов приняты такие :

$$N = 2,1\%; \quad N_1 = 0,245\%; \quad L = 30\%; \quad C = 8,5 \text{ об.}\%; \quad M = 32,05\text{г};$$

содержание фосфора в дрожжах – 0,95%.

Для перевода полученных количеств азота в карбамид применяли коэффициент 2,17, а фосфора в H_3PO_4 – 1,97.

Результаты расчетов, сведенные в табл. 2, показывают, что для биосинтеза дрожжей в количестве 32 - 40 г/л необходимо ввести карбамида 0,15 – 0,34, а H_3PO_4 – 0,20 – 0,28% к массе мелассы, расходуемой в процессе сбраживания.

Эксперименты проведены путем аэрирования мелассного суслу (21% СВ) с засевными дрожжами (5 г/л) в течении 6 ч в склянках Дрекслея при 30°C с последующим дображиванием в анаэробных условиях на протяжении 18ч (табл.3).

Повышение дозировки карбамида до 0,3% к массе мелассы благоприятно сказалось на накоплении биомассы дрожжей и способствовало уменьшению содержания альдегидов и глицерина в зрелой бражке.

Последнее может служить объяснением некоторого увеличения накопления спирта в вариантах с 0,2 – 0,4% карбамида к массе мелассы при постоянном количестве несброженных углеводов (0,30 – 0,31 г/100 мл).

Увеличение количества введенного в среду карбамида привело также к повышению концентрации сложных эфиров и высших спиртов, что, вероятно, обусловлено более интенсивным биосинтезом дрожжевых клеток.

Внесение ортофосфорной кислоты в мелассное суслу в количестве от 0,15 до 0,3% к массе мелассы при постоянной дозировке карбамида (0,3%)

повышало накопление дрожжей до 43,3 г/л, а дальнейшее обогащение среды этим источником фосфора не влияло на величину данного параметра. При этом наблюдается снижение содержания спирта в среде в вариантах с внесением H_3PO_4 0,30 и 0,35%, что, вероятно, вызвано затратами углеводов на синтез дрожжей, количество которых в этих вариантах было максимальным. С точки зрения образования вторичных продуктов брожения заметна тенденция к улучшению экономичности метаболизма в вариантах с введением H_3PO_4 в количестве 0,25 – 0,3% к массе мелассы, где обнаружено наименьшее содержание глицерина и альдегидов в зрелой бражке. Выявленное обстоятельство может быть обусловлено снятием лимитирования процесса биосинтеза дрожжей по источникам азота и фосфора.

Таким образом, максимальное накопление дрожжевой биомассы при сбраживании мелассного суслу достигается обогащением среды карбамидом и ортофосфорной кислотой в количестве по 0,3% к массе мелассы каждого из этих компонентов.

АННОТАЦИЯ

к статье «Влияние состава мелассного сусла на эффективность
двухпродуктового производства спирта и хлебопекарных дрожжей»

Авторы – Леонид Викторович Левандовский, Оксана Васильевна Ничик., Юлия
Валериевна Семенюк

Приведены результаты научных исследований оптимизации состава мелассного сусла в двухпродуктовом производстве спирта и хлебопекарных дрожжей из мелассы. Установлены оптимальные дозы азотистого и фосфорного питания для накопления биомассы дрожжей и этанола. Экспериментально доказано, что наиболее эффективной концентрацией сухих веществ мелассного сусла в процессе совместного биосинтеза спирта и дрожжей является 8 – 12 %, при которой достигается максимальный экономический коэффициент использования углеводов субстрата.

АННОТАЦІЯ

до статті «Вплив складу мелясного сусла на ефективність двопродуктового
виробництва спирту та хлібопекарських дріжджів»

Автори – Леонід Вікторович Левандовський, Оксана Василівна Ничик, Юлія
Валеріївна Семенюк

Наведено результати наукових досліджень оптимізації складу мелясного сусла у двопродуктовому виробництві спирту і хлібопекарських дріжджів з

меляси. Встановлено оптимальні дози азотистого та фосфорного живлення для накопичення біомаси дріжджів та етанолу. Експериментально доведено, що найбільш ефективною концентрацією сухих речовин мелясного суслу у процесі одночасного біосинтезу спирту і дріжджів є 8 – 12 %, за якої досягається максимальний економічний коефіцієнт використання вуглеводів субстрату.

ANNOTATION

to the article "Influence of composition of molasses wort on efficiency of two food production of alcohol and bakery yeasts"

Authors – Leonid Levandovskiy, Oksana Nychyk, Juliya Semenjuk

The results of scientific researches of optimization of composition of molasses wort are resulted in two food production alcohol and bakery yeasts from molasses. The optimum doses of nitrous and phosphoric feed are set for the accumulation of biomass of yeasts and ethanol. It is experimentally well-proven that the most effective concentration of dry matters of molasses wort in the process of joint biosynthesis of alcohol and yeasts is 8 - 12%, which the maximal economic coefficient of the use of carbohydrates of substrat is arrived at.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовой технологический регламент получения меласно-спиртовой бражки и прессованных хлебопекарных дрожжей – Киев: Украинский научно-исследовательский институт спирта и биотехнологии продовольственных продуктов : Министерство аграрной политики Украины, 2004. – 62 с.
2. Левандовський, 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. – Киев, 1995. – 43 с.
3. Маринченко, В. А. Технология спирта / В. А. Маринченко, В. А. Домарецкий, П. Л. Шиян и др.; под ред. В. А. Маринченко. – Винница: «Подолье – 2000», 2003. – 496 с.
4. .Полыгалина, Г.В. Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства. – М.: Колос, 1999. – 336 с.
5. ТУ Украины 18.455 – 98. Дрожжи хлебопекарные прессованные.
- 6.. Пирог, Т.П. Общая биотехнология: Учебник / Т. П. Пирог, О. А. Игнатова – Киев: НУПТ, 2009. – 336 с.

Таблица 1

Характеристика зрелой бражки в зависимости от концентрации СВ
меласного сусла

Показатели	Начальная концентрация сухих веществ меласного сусла, %				
	8	12	16	20	24
Продолжительность брожения, ч	9	13,5	16	37,5	46
Кислотность, град	0,54	0,60	0,60	0,70	0,75
Биомасса дрожжей, г/л	19,9	24,6	27,5	27,3	24,9
Концентрация спирта, об.%	3,13	4,58	6,20	7,56	9,04

Несброженные углеводы :					
– г/100 мл	0,12	0,16	0,17	0,19	0,33
– % к введенным	2,3	2,1	1,7	1,5	2,2
Глицерин, г/100 мл	0,23	0,28	0,36	0,50	0,63
Подъемная сила дрожжей, мин	63	65	74	74	74
Зимазная активность, мин	18	29	31	34	38
Экономический коэффициента выхода :					
– биомассы, г / г сахара	0,10	0,08	0,07	0,06	0,04
– спирта, мл/100 г условного крахмала	65,24	63,60	63,35	63,01	62,81
Экономический коэффициент использования субстрата для биосинтеза спирта и дрожжей	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52

Таблица 2

Расчетный расход карбамида и ортофосфорной кислоты для повышенного
накопления биомассы дрожжей

Биомасса в зрелой бражке, г/л	Выход дрожжей, кг/дал	Расход, % к массе мелассы	
		карбамида	ортофосфорной кислоты
32	3,8	0,15	0,20
40	4,7	0,34	0,28
42,5	5,0	0,39	0,30
45	5,3	0,45	0,32

Таблица 3

Влияние дозировки карбамида H_3PO_4 на показатели зрелой бражки.

Показатели	Дозировка карбамида, % к массе мелассы				0,3% карбамида + дозировка H_3PO_4 , % к массе мелассы				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Биомасса, г/л	32,0 ±1,9	34,3 ±1,9	38,2 ±2,0	37,0 ±1,8	36,3 ±2,0	38,5 ±1,8	41,9 ±2,2	43,3 ±2,1	43,4 ±2,3
Концентрация спирта, об. %	8,10	8,19	8,19	8,15	8,02	8,09	8,13	8,01	7,98
Несброженные углеводы, г/100 мл	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,28	0,28	0,27	0,27
Выход дрожжей, кг/дал спирта	3,99	4,18	4,66	4,54	4,52	4,75	5,15	5,40	5,43
Содержание: - высших спиртов, об. %	0,024	0,026	0,029	0,029	0,026	0,030	0,033	0,036	0,035
- летучих кислот, г/л безвод. спирта	1,36	1,37	1,29	1,36	1,25	1,33	1,38	1,31	1,40
- сложных эфиров, г/л безвод. спирта	0,31	0,28	0,39	0,50	0,33	0,28	0,31	0,35	0,33
- альдегидов, об. % · 10 ⁻³	7,6	7,8	6,2	5,8	8,2	6,1	5,7	5,5	5,2
- глицерина, г/100 мл бражки	0,58	0,47	0,45	0,46	0,50	0,48	0,44	0,41	0,44

Рисунок 1

Зависимость константы скорости сбраживания углеводов сусла (K_c) и коэффициента ингибирования процесса (K_i) от концентрации сухих веществ

сусла : 1 – K_i ; 2 – K_c .

