

УДК 663.5

Влияние осветления сусла на показатели качества зерновой бражки

К. А. ГОРЯЧЕВ, магистрант; В. А. РОМАНОВ, аспирант; Д. С. АЛИМОВА, аспирант;
Н. В. БАРАКОВА, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Одна из основных технологических операций, формирующих показатели качества при производстве спирта, — сбраживание сусла. Есть сведения о том, что осветление зернового сусла позволяет улучшить показатели качества зрелой бражки [1–3]. Однако в литературных источниках не приводятся данные о степени осветления, что является серьезным недостатком, поскольку компоненты среды влияют на развитие и жизнеспособность дрожжевой клетки, поэтому определенная степень осветления сусла может негативно повлиять на ход брожения [4, 5].

Осветление также изменяет осмотическое давление в сусле, поэтому дрожжи, при обычных условиях имеющие хорошие показатели жизнедеятельности и бродильной активности в сусле любого состава и экстрактивности, в осветленном сусле могут находиться в состоянии осмотического стресса. Известно, что как гипо-, так и гиперосмотический стресс вызывает существенную перестройку метаболизма дрожжей [6]. Высокое осмотическое давление среды вызывает в клетках протеинкиназную реакцию, увеличивающую активность одних ферментов и уменьшающую — других [7, 8]. Это приводит к ускорению синтеза побочных продуктов брожения. Поскольку на образование побочных продуктов брожения расходуются сбраживаемые углеводы, в случае сдвига метаболического баланса в сторону синтеза этих продуктов итоговая крепость бражки падает [6, 9].

Цель данной работы — исследование влияния степени осветления зернового сусла на процесс спиртового брожения, накопления этилового спирта и побочных продуктов брожения в зрелой бражке. Для этого был проведен эксперимент, заключавшийся в приготовлении зернового замеса из ячменя, его осахарива-

нии, осветлении полученного сусла при различных режимах центрифугирования, сбраживании, дистилляции зрелой бражки и анализе зернового и бродящего сусла, бражки и дистиллята.

Замес с гидромодулем 2,5:1 готовили из воды и ячменя влажностью 12% (определенной на автоматическом влагомере Shimadzu MOC63 u) и условной крахмалистостью 56% (определенной методом Эверса на поляриметре Optical Activity AA-55 (A)) [10]. Измельчение ячменя проводили на лабораторной мельнице ЛМЗ-1 до степени, при которой средний интегральный размер частиц $\langle d \rangle$, определенный на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава Malvern Mastersizer 2000, составил 118,18 мкм.

Осахаривание замеса проводили с помощью ферментных препаратов амилолитического и гемицеллюлазного действия: препарата α -амилазы Termamyl BrewQ фирмы Novozymes в дозировке 2,5 ед. АС·г⁻¹ условного крахмала, препарата ксиланазы Ceremix Plus фирмы Novozymes в дозировке 1 ед. КС·г⁻¹ сырья и препарата глюкоамилазы Дистицим АГ фирмы Erbslöh (дозировка 7,0 ед. ГлС·г⁻¹ условного крахмала; 50% расчетного количества). После одновременного внесения препаратов при температуре 50 °С замес выдерживали в течение 30 мин при постоянном перемешивании, а после нагревали до 70 °С и выдерживали в течении 240 мин [11].

Готовое зерновое сусло подвергали осветлению на центрифуге Hettich Rotanta 460 при различном числе оборотов ротора: 1500, 3000 и 4500 мин⁻¹. Длительность центрифугирования во всех случаях составляла 15 мин. В качестве контрольного образца использовали образец того же замеса, не подвергавшийся центрифугированию.

В образцах осветленного и контрольного сусла находили массовую долю сухих веществ на рефрактометре PTR 46 марки Index Instruments [12]; определяли количество α -аминного азота колориметрическим методом с нингидрином [13], количество сбраживаемых углеводов — методом Бертрана [14], мутность образцов сусла — по ГОСТ Р 52060–2003 [15] на фотометре КФК-3-01 при длине волны $\lambda = 560$ нм. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Регулирование числа оборотов ротора центрифуги приводит к изменению центробежных сил, воздействующих на нерастворенные частицы сусла. Изменение центробежного ускорения способствовало раз-

Таблица 1
Физико-химические показатели сусла, полученного при различных режимах центрифугирования

Показатель	Значение показателя при скорости ротора центрифуги, мин ⁻¹			
	0	1500	3000	4500
Мутность, ед. ЕВС	45,4	13,7	9,3	4,3
Сухие вещества, %	21,6	21,3	21,3	21,3
Аминный азот, мг/100 см ³	19,2	18,7	18,6	19,0
Сбраживаемые углеводы, мг/100 см ³	18,04	18,07	18,17	18,49

Таблица 2

Коэффициенты уравнений аппроксимации зависимости относительной скорости потребления α -аминного азота от времени

Образец	Коэффициенты аппроксимации		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Мутность 45,4 ед. ЕВС	1,660	-1,919	-6,334
Мутность 13,7 ед. ЕВС	1,934	-2,220	-7,493
Мутность 9,3 ед. ЕВС	1,767	-1,996	-6,843
Мутность 4,3 ед. ЕВС	1,015	-1,139	-3,695

Таблица 4

Коэффициенты уравнений аппроксимации зависимости относительной скорости выделения CO₂ от времени

Образец	Коэффициенты аппроксимации		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Мутность 45,4 ед. ЕВС	4,041	-5,240	-1,027
Мутность 13,7 ед. ЕВС	8,918	-1,138	-2,988
Мутность 9,3 ед. ЕВС	8,246	-1,049	-2,724
Мутность 4,3 ед. ЕВС	5,207	-5,869	-1,612

личной степени осаждения нерастворенных частиц и позволило получить сусло с различной мутностью: при 4500 мин⁻¹ мутность сусла была минимальной и составила 4,3 ед. ЕВС; при 3000 мин⁻¹ — 9,3 ед. ЕВС; при 1500 мин⁻¹ — 13,7 ед. ЕВС. Мутность неосветленного сусла составила 45,4 ед. ЕВС. Для оценки влияния мутности сусла на показатели качества зрелой бражки проводили спиртовое брожение при помощи сухих спиртовых дрожжей DistilaMax GW фирмы Lallemand. Доза внесения дрожжей во все образцы сусла составила 1 г · дм⁻³, согласно инструкции производителя.

Процесс брожения проводили периодическим способом на объеме каждого образца, равном 250 см³, в термостате марки ТС-1/80 СПУ при температуре 30 °С в течение 72 ч с предварительным добавлением препарата глюкоамилазы Дистицим АГ (остальные 50% расчетного количества) для увеличения концентрации сбраживаемых углеводов [16].

В процессе брожения проводили отбор проб через 24, 48 и 72 ч. Оценивали изменение содержания α -аминного азота и сбраживаемых углеводов [13, 14], количество дрожжевых клеток определялось прямым подсчетом в камере Горяева под микроскопом Zeiss Axio Lab. A1 с объективом $\times 40$ [17]. Интенсивность брожения оценивали по количеству диоксида углерода, выделявшегося в единицу времени. Количество углекислоты устанавливали по убыли массы сосуда, снабженного затвором [18].

Для наглядного представления данных табл. 1 были найдены значения среднесуточного потребления α -аминного азота и сбраживаемых углеводов, отнесенные к средней скорости изменения концентраций этих веществ в первые сутки брожения. Также находили соответствующие отношения для прироста общего

Таблица 3

Коэффициенты уравнений аппроксимации зависимости относительной скорости потребления сбраживаемых углеводов от времени

Образец	Коэффициенты аппроксимации		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Мутность 45,4 ед. ЕВС	4,968	-6,443	-1,395
Мутность 13,7 ед. ЕВС	1,159	-1,453	-4,091
Мутность 9,3 ед. ЕВС	1,211	-1,512	-4,307
Мутность 4,3 ед. ЕВС	1,240	-1,552	-4,420

Таблица 5

Коэффициенты уравнений аппроксимации зависимости относительной скорости прироста общего количества дрожжевых клеток от времени

Образец	Коэффициенты аппроксимации		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Мутность 45,4 ед. ЕВС	1,267	-1,625	-4,477
Мутность 13,7 ед. ЕВС	1,966	-2,510	-7,276
Мутность 9,3 ед. ЕВС	1,811	-2,304	-6,673
Мутность 4,3 ед. ЕВС	1,607	-2,032	-5,872

количества дрожжевых клеток и выхода углекислоты. Таким образом, каждому образцу был поставлен в соответствие набор значений (из которых первое число всегда есть 1):

$$\frac{\Delta_i y}{\Delta \tau} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta_i y} = \frac{y_i - y_{i-1}}{y_1 - y_0}, \quad (1)$$

где $y = \{n, r, z, CO_2\}$ — количество α -аминного азота (мг · 100 см⁻³), сбраживаемых углеводов (г · 100 см⁻³), дрожжевых клеток (10⁶ · см⁻³) или выход диоксида углерода (г · 100 см — 3); τ — время брожения; $\Delta \tau$ — промежуток времени, равный 24 ч.

Наборы значений (1) для каждого образца были подвергнуты нелинейной аппроксимации методом наименьших квадратов. Общий вид уравнений аппроксимации:

$$a + b\tau + c/\tau^2. \quad (2)$$

Тем же способом были обработаны данные о количестве выделившегося CO₂ и изменении общего количества дрожжевых клеток во время сбраживания всех образцов сусла. Соответствующие коэффициенты *a*, *b*, *c* приведены в табл. 2–5, графики на рис. 1–4. Все полученные уравнения вида (2) характеризовались показателем достоверности аппроксимации *R*² не ниже 0,99.

После подбора коэффициентов аппроксимации определяли значения времени τ_x , при которых относительная скорость прироста общего количества дрожжевых клеток, потребление α -аминного азота и сбраживаемых углеводов были максимальными. Данные максимумы определяли как длины подкасательных к соответствующим кривым, причем угол между каса-

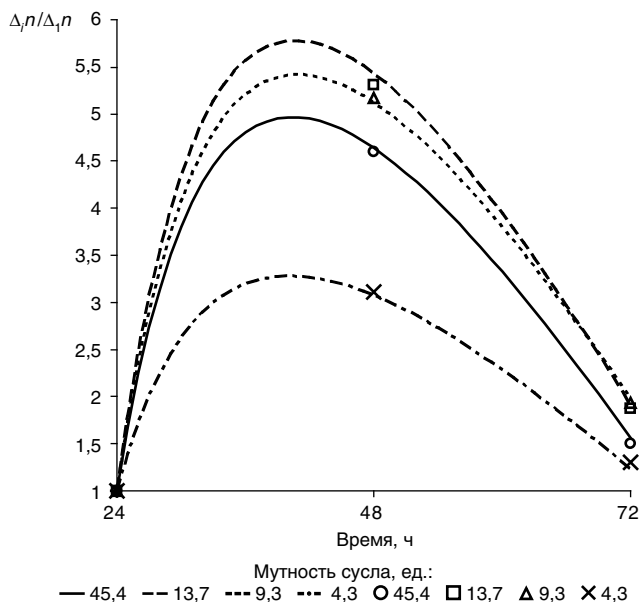


Рис. 1. Зависимость изменения относительной скорости потребления α-аминного азота от времени

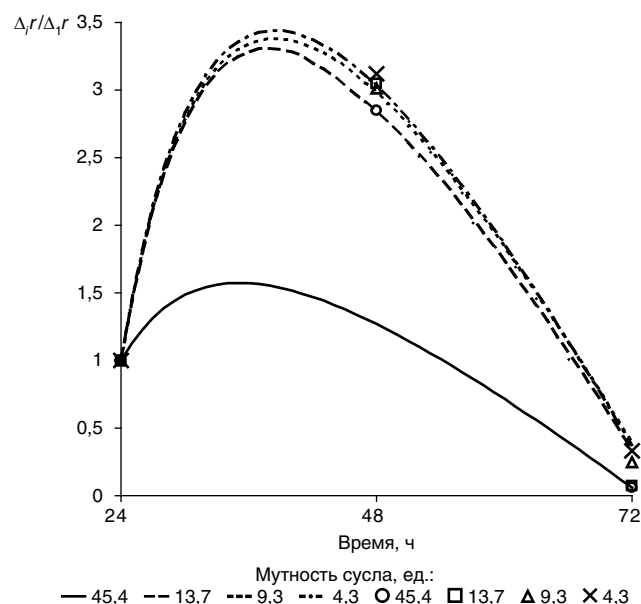


Рис. 2. Зависимость изменения относительной скорости потребления сбраживаемых углеводов от времени

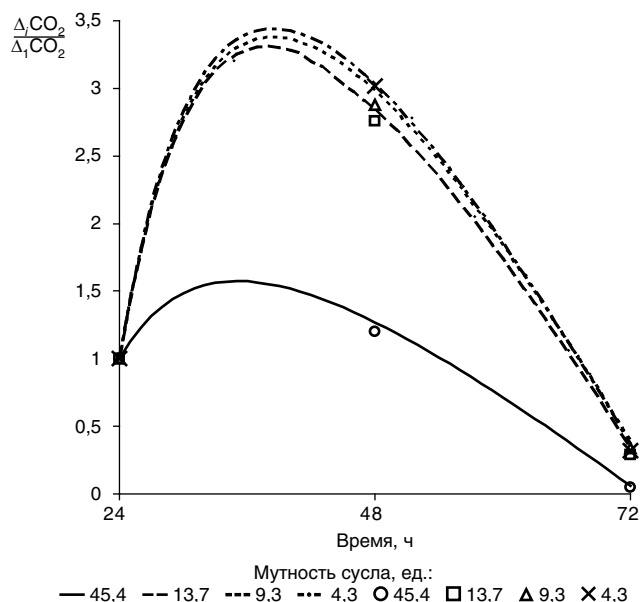


Рис. 3. Зависимость изменения относительной скорости выделения углекислоты от времени

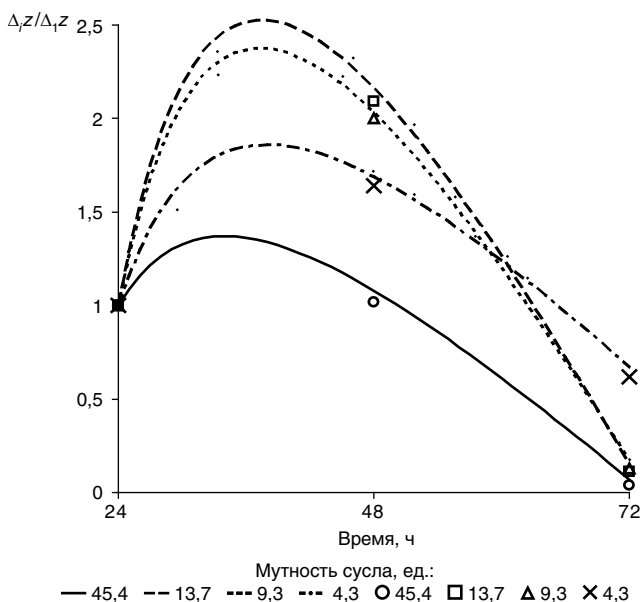


Рис. 4. Зависимость изменения относительного прироста количества дрожжевых клеток от времени

тельной и осью абсцисс всегда был наибольшим для каждого семейства касательных:

$$\tau_x = \max y \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \left| \frac{\max y(\tau)}{\max y'(\tau)} \right|, \quad (3)$$

где τ_x — искомое значение времени; α — угол между касательной к соответствующей кривой и осью абсцисс; $y'(\tau)$ — значение производной уравнения кривой $y(\tau)$.

Максимумы τ_x находили перебором значений τ в уравнениях (3) в окрестности графически видимого оптимума с шагом 1 ч.

Анализ графика на рис. 1 позволяет сделать вывод, что по мере снижения мутности образцов скорость потребления α-аминного азота в процессе спиртового

брожения увеличивалась. На 40 ч брожения скорость потребления α-аминного азота во всех образцах была максимальной.

Следующими были обработаны данные об изменении относительной скорости потребления сбраживаемых углеводов дрожжами во время сбраживания всех образцов сула. Соответствующие коэффициенты a , b , c показаны в табл. 3 и на рис. 2.

Анализ приведенных графических данных показывает, что по мере снижения мутности образцов относительная скорость потребления сбраживаемых углеводов в процессе брожения увеличивалась. Для осветленных образцов этот показатель достиг максимума через 39 ч брожения, что позже по сравнению с максимумом для контрольного образца, 37 ч. Можно сде-

Таблица 6

Изменение общего количества дрожжевых клеток, доли почкующихся и мертвых клеток в ходе брожения

Время, ч	Мутность, ед. ЕВС			
	45,4	13,7	9,3	4,3
<i>Общее количество дрожжей, 10⁶ мл⁻³</i>				
0	14,75	14,72	14,73	14,75
24	42,25	43,26	45,01	49,5
48	164,52	162,07	159,31	151,24
72	169,55	171,74	168,77	154,93
<i>Почкующиеся клетки, %</i>				
0	24,41	24,20	24,52	24,37
24	79,66	77,66	79,75	81,65
48	5,49	6,83	6,65	6,79
72	3,09	4,04	4,15	4,11
<i>Мертвые клетки, %</i>				
0	4,81	4,95	4,55	4,62
24	2,46	2,53	2,36	2,42
48	2,62	2,15	2,25	2,25
72	3,12	3,97	4,04	4,00

лать вывод о лучшей динамике процесса по данному показателю у осветленных образцов.

Далее были обработаны значения количества выделившегося CO₂ во всех образцах суслу (табл. 4, рис. 3).

Анализируя график на рис. 3, можно отметить, что по мере снижения мутности образцов относительная скорость выделения углекислоты в процессе брожения увеличивалась. Относительная скорость изменения показателя достигла максимума через 34 ч сбраживания неосветленного образца с мутностью 45,4 ед. ЕВС; 38 ч — осветленных образцов с мутностью 13,7 ед. ЕВС и 4,3 ед. ЕВС; 39 ч — осветленного образца суслу с мутностью 9,3 ед. ЕВС, т. е. динамика сбраживания осветленных образцов была ближе к оптимальной по показателю выделения углекислоты.

В последнюю очередь были обработаны данные о приросте общего количества дрожжевых клеток во всех образцах суслу. Соответствующие коэффициенты приведены в табл. 5 и на рис. 4.

График рис. 4 позволяет сделать вывод, что по мере снижения мутности образцов относительная скорость прироста числа клеток в процессе спиртового брожения увеличивалась и достигала максимума через 38 ч после начала брожения.

Кроме общего числа дрожжевых клеток, определяли показатели процентной доли почкующихся и мертвых клеток с окрашиванием метиленовым синим (табл. 6).

Из табл. 6 видно, что через 24 ч от начала брожения доля почкующихся клеток в сусле с наименьшей мутностью заметно превышала показатели остальных образцов. Доля мертвых клеток во всех образцах броющего суслу была примерно одинаковой. В дальнейшем доля мертвых клеток во всех образцах также оставалась приблизительно равной. Через 48 ч от начала брожения доля почкующихся клеток в контрольном образце неосветленного суслу снизилась по сравнению с другими образцами, и до конца брожения соотношение не изменялось.

Готовые зрелые бражки подвергали дистилляции. В дистиллятах определяли концентрацию побочных продуктов брожения газохроматографическим анализом на хроматографе «Кристалл-2000 М» с дозатором ДАЖ-2М, колонкой НР-FFAP 0,32 мм × 0,5 мкм, в газовой фазе 99,999% азота ос. ч. Для расчета концентраций веществ выбирали пики с расхождением не более 10%. Полученные данные сведены в табл. 7.

Содержание этилового спирта в зрелой бражке увеличивалось по мере снижения мутности образцов: 13,7 ед. ЕВС — 10,9 об. %; 9,3 ед. ЕВС — 10,9; 4,3 ед. ЕВС — 11,1 об. %. В контрольном образце мутностью 45,4 ед. ЕВС объемная доля этилового спирта составила 6,5%. Наименьшее суммарное количество примесей было получено при дистилляции сброженного суслу мутностью 13,7 ед. — 3756,11 мг/дм³.

Одним из побочных продуктов, накапливающихся при брожении в значительных концентрациях, является уксусный альдегид. Согласно теории анаэробного метаболизма дрожжей, альдегид образуется из сбраживаемых углеводов, доступность которых для клетки

увеличивается по мере возрастания степени осветления [19]. Поэтому следовало ожидать увеличения содержания ацетальдегида со снижением мутности суслу. Количество уксусного альдегида составило: при мутности суслу 13,7 ед. — 41,4 мг/дм³; 9,3 ед. — 85,3; 4,3 ед. — 77,4 мг/дм³. В контрольном образце мутностью 45,4 ед. этот показатель равен 19,2 мг/дм³, что подкрепляет вывод практически.

В силу того, что ацетальдегид служит основным химическим предшественником вторичных продуктов брожения, в том числе некоторых сложных эфиров, увеличение концентрации эфиров, накопленных во время брожения, по мере возрастания осветления суслу также соответствует предпосылкам теории [20]. Количество сложных эфиров составило: при 13,7 ед. — 149,71 мг/дм³; 9,3 ед. — 144,32; 4,3 ед. — 138,69 мг/дм³. В контрольном образце мутностью 45,4 ед. этот показатель равен 97,84 мг/дм³.

Химизм образования высших спиртов связан с общим обменом веществ, включающим как азотистый, так и углеводный, поэтому на их синтез не оказывает однозначного влияния степень осветления суслу. После сбраживания образцов осветленного суслу и отгонки бражки содержание высших спиртов составило: 13,7 ед. мутности — 3565 мг/дм³; 9,3 ед. — 4160; 4,3 ед. — 3713 мг/дм³. В контрольном образце мутностью 45,4 ед. этот показатель равен 6486 мг/дм³. Концентрация этих примесей в осветленных образцах гораздо ниже, чем в контрольном, однако определенная тенденция к уменьшению или увеличению содержания высших спиртов в зависимости от мутности суслу отсутствует.

Основные выводы исследования заключаются в том, что степень осветления суслу, регулируемая изменением режима центрифугирования, влияет на образование этилового спирта и вторичных продуктов брожения. Содержание уксусного альдегида и сложных эфиров по мере уменьшения мутности

Показатели качества дистиллятов зерновых бражек

Показатель	Мутность, ед. ЕВС			
	45,4	13,7	9,3	4,3
Крепость, об. %	6,5±0,1	10,9±0,1	10,9±0,1	11,1±0,1
<i>Сложные эфиры</i>				
Метилацетат, мг/дм ³	15,9±2,4	17,4±2,6	21,1±3,2	21,0±3,0
Этилацетат, мг/дм ³	81,9±9,0	132,3±14,0	123,2±13,0	117,7±12,7
Всего, мг/дм ³	97,8±11,4	149,7±16,6	144,3±16,2	138,7±15,7
<i>Альдегиды</i>				
Ацетальдегид, мг/дм ³	19,2±1,9	41,4±4,1	85,3±8,5	77,4±7,7
<i>Высшие спирты</i>				
1-Пропанол, мг/дм ³	223,1±22,3	234,0±23,4	254,0±25,4	250,0±25,0
2-Пропанол, мг/дм ³	1664,0±250,0	924,0±92,4	1491,0±224,0	730,0±73,0
1-Бутанол, мг/дм ³	13,2±1,3	13,1±1,3	14,5±1,4	14,1±1,4
Изобутанол, мг/дм ³	688,0±68,8	361,4±36,1	381,0±38,1	389,0±38,9
Изоамилол, мг/дм ³	3898,1±585,0	2032,0±305,0	2020,4±303,0	2330,0±350,0
Всего, мг/дм ³	6486,0±927,3	3565,0±457,3	4160,0±591,4	3713,0±488,4
Спирт метиловый, об. %	(4,0±0,6)·10 ⁻³	(4,6±0,7)·10 ⁻³	(3,2±0,5)·10 ⁻³	(3,6±0,5)·10 ⁻³
Всего примесей, мг/дм ³	6603,0±940,2	3756,1±478,0	4389,6±616,1	3929,1±511,8

сусла возрастает в зрелой бражке и ее дистилляте. Содержание этилового спирта и ацетальдегида в дистилляте зрелой бражки, полученной из контрольного (неосветленного) суслу, оказалось минимальным, что согласуется с теорией. Наименьшее суммарное количество примесей было получено в дистилляте зрелой бражки из осветленного суслу мутностью 13,7 ед. ЕВС.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы. При изменении степени осветления зернового суслу в процессе спиртового брожения меняется скорость потребления α-аминного азота, сбраживаемых углеводов, а также скорость выделения диоксида углерода. Изменяя степень осветления зернового суслу, можно регулировать образование вторичных продуктов спиртового брожения.

Л и т е р а т у р а

1. *Востриков, С. В.* Эффективность брожения осветленного и традиционного зернового суслу при использовании протосубтилина Г10х на стадии приготовления замеса / С. В. Востриков, М. В. Боднар // Известия вузов. Пищевая технология. — 1999. — № 1. — С. 43–45.
2. *Востриков С. В.* Сравнительный анализ динамики накопления этилового спирта и примесей при сбраживании осветленного и традиционного суслу / С. В. Востриков, М. В. Боднар, А. Н. Анашин // Известия вузов. Пищевая технология. — 1997. — № 4–5. — С. 36–39.
3. *Востриков С. В.* Влияние температуры на образование побочных продуктов при сбраживании осветленного зернового суслу / С. В. Востриков, Г. Г. Губрий, Е. А. Горшков // Известия вузов. Пищевая технология. — 2001. — № 1. — С. 36–38.
4. *Толмачева, Е. Н.* Изменение концентрации азотистых соединений при сбраживании суслу новыми расами дрожжей / Е. Н. Толмачева, Н. М. Агеева, А. Ю. Даниелян // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 101 (07). — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/45.pdf> — Дата обращения: 01.05.2017.
5. *Устинова, А. С.* Пути интенсификации процесса сбраживания высококонцентрированного ячменного суслу / А. С. Устинова, Н. В. Баракова, В. С. Тирская // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2012. — № 2. — С. 45.

R e f e r e n c e s

1. *Vostrikov S. V., Bodnar' M. V.* [Efficiency of fermentation of clarified and traditional grain wort using protosubtilin G10x at the stage of preparation of batch]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1999, no. 1, pp. 43–45. (In Russ.)
2. *Vostrikov S. V., Bodnar' M. V., Anashin A. N.* [Comparative analysis of the dynamics of accumulation of ethyl alcohol and impurities during fermentation of clarified and traditional wort]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1997, no. 4–5, pp. 36–39. (In Russ.)
3. *Vostrikov S. V., Gubrii G. G., Gorshkov E. A.* [The influence of temperature on the formation of by-products in fermenting clarified grain wort]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2001, no. 1, pp. 36–38. (In Russ.)
4. *Tolmacheva E. N., Ageeva N. M., Danielyan A. Yu.* [The change in the concentration of nitrogenous compounds during fermentation of wort by new races of yeast]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2014, no. 101 (07). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/45.pdf>. Date of circulation: 01.05.2017. (In Russ.)
5. *Ustinova A. S., Barakova N. V., Tirskaia V. S.* [Ways to intensify the process of fermentation of highly concentrated barley wort]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*, 2012, no. 2, p. 45. (In Russ.)
6. *D'Amore T., Panchal C. J., Russell I.* Osmotic pressure effects and intracellular accumulation of ethanol in yeast during fer-

6. D'Amore, T. Osmotic pressure effects and intracellular accumulation of ethanol in yeast during fermentation / T. D'Amore, C. J. Panchal, I. Russell // *J. of Ind. Microbiol. & Biotech.*, 1988. — 2 (6). — P. 365–372.
7. Dihazi, H. High osmolarity glycerol (HOG) pathway-induced phosphorylation and activation of 6-phosphofructo-2-kinase are essential for glycerol accumulation and yeast cell proliferation under hyperosmotic stress / H. Dihazi, R. Kessler, K. Eschrich // *J. of Biol. Chem.*, 2004, 279 (23). — DOI: 10.1074/jbc.M312974200.
8. Vallejo, M. C. Delayed turnover of unphosphorylated Ssk1 during carbon stress activates the yeast Hog1 MAP kinase pathway / M. C. Vallejo, P. Mayinger // *PLoS ONE*, 2015, 10 (9). — DOI: 10.1371/journal.pone.0137199.
9. Piao H., MacLean Freed J., Mayinger P. Metabolic activation of the HOG MAP kinase pathway by Snf1 regulates lipid signaling at the Golgi / H. Piao, J. MacLean Freed, P. Mayinger / *Traffic*, 13 (11). Wiley, 2012. — P. 1522–1531.
10. Краус, С. В. Совершенствование технологии экструзионной переработки крахмалосодержащего зернового сырья / С. В. Краус // Дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01. — М., 2004.
11. Баракова, Н. В. Разработка технологии этилового спирта при пониженных режимах водно-тепловой и ферментативной обработки высококонцентрированных замесов из ячменя / Н. В. Баракова // автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07. — СПб., 2010. — 16 с.
12. Полягалина, Г. В. Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства / Г. В. Полягалина. — М.: Колос, 1999. — С. 336.
13. Lie, S. The EBC — ninhydrin method for determination of free alpha amino nitrogen / S. Lie // *J. Inst. Brew* (79). — P. 825–833.
14. Поляков, В. А. Перспективные ферментные препараты и особенности их применения в спиртовой промышленности / В. А. Поляков, Л. В. Римарева. — Пиво и напитки. — 2000. — № 2. — С. 52.
15. ГОСТ Р 52060–2003. Патока крахмальная. Общие технические условия. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
16. Samarth S. S. R. Decision making in dry-grind ethanol industry using near-infrared spectroscopy: Dissertation (Ph. D.) — Champaign, University of Illinois at Urbana, 2009.
17. Зуева, Н. В. Влияние ферментных препаратов различного действия на динамику накопления сбраживаемых углеводов / Н. В. Зуева, С. В. Востриков. — Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2008. — № 4. — С. 7–9.
18. Качмазов, Г. С. Дрожжи бродильных производств. Практическое руководство: Учебное пособие. — СПб.: Лань, 2012. — С. 224.
19. Романюк, Т. И. Получение осветленного суслу из зерна ржи и его сбраживание на этанол / Т. И. Романюк, А. Е. Чусова, Г. В. Агафонов. — Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2013. — № 4. — С. 12–16.
20. Абрамов, Ш. А. Образование побочных метаболитов дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* в условиях спиртового брожения / Ш. А. Абрамов, Э. А. Халилова. — Хранение и переработка сельхозсырья. — 2007. — № 9. — С. 64–67.
- mentation. *J. of Ind. Microbiol. & Biotech.*, 1988, no. 2 (6), pp. 365–372.
7. Dihazi H., Kessler R., Eschrich K. High osmolarity glycerol (HOG) pathway-induced phosphorylation and activation of 6-phosphofructo-2-kinase are essential for glycerol accumulation and yeast cell proliferation under hyperosmotic stress. *J. of Biol. Chem.*, 2004, 279 (23). DOI: 10.1074/jbc.M312974200.
8. Vallejo M. C., Mayinger P. Delayed turnover of unphosphorylated Ssk1 during carbon stress activates the yeast Hog1 MAP kinase pathway. *PLoS ONE*, 2015, 10 (9). DOI: 10.1371/journal.pone.0137199.
9. Piao H., MacLean Freed J., Mayinger P. Metabolic activation of the HOG MAP kinase pathway by Snf1 regulates lipid signaling at the Golgi. *Traffic*, 13 (11). Wiley, 2012, pp. 1522–1531.
10. Kraus S. V. *Sovershenstvovanie tekhnologii ekstruzionnoi pererabotki krakhamalosoderzhashchego zernovogo syr'ya*: Dis. d-ra tekhn. nauk: 05.18.01 [Perfection of technology of extrusion processing starch-containing grain raw materials: Dr. Diss. (Techn. Sci.)]. Moscow, 2004.
11. Barakova N. V. *Razrabotka tekhnologii etilovogo spirta pri ponizhennykh rezhimakh vodno-teplovoy i fermentativnoi obrabotki vysokokontsentrirrovannykh zamesov iz yachmenya* / avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk: 05.18.07 [Development of technology of ethyl alcohol with reduced modes of water-heat and enzymatic treatment of highly concentrated batch of barley: Cand. Diss. (Techn. Sci.)]. St. Petersburg, 2010. 16 p.
12. Polygalina G. V. *Tekhnokhimicheskii kontrol' spirtovogo i likerovodochnogo proizvodstva* [Technochemical control of alcohol and distillery production]. Moscow, Kolos Publ., 1999.
13. Lie S. The EBC — ninhydrin method for determination of free alpha amino nitrogen. *J. Inst. Brew*, 79, pp. 825–833.
14. Polyakov V. A., Rimareva L. V. [Promising enzyme preparations and features of their use in the alcohol industry]. *Pivo i napitki*, 2000, no. 2, p. 52. (In Russ.)
15. GOST R 52060–2003. The starch is starchy. General specifications. Moscow, IPK Publishing House of Standards, 2003. (In Russ.)
16. Samarth S. S. R. Decision making in dry-grind ethanol industry using near-infrared spectroscopy: Dissertation (Ph. D.). Champaign, University of Illinois at Urbana, 2009.
17. Zueva N. V., Vostrikov S. V. [Effect of enzyme preparations different effects on the dynamics of accumulation of fermentable carbohydrates]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii*, 2008, no. 4, pp. 7–9. (In Russ.)
18. Kachmazov G. S. *Drozhdzhi brodil'nykh proizvodstv. Prakticheskoe rukovodstvo*: Uchebnoe posobie [Yeast of fermentation productions. A Practical Guide]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2012.
19. Romanyuk T. I., Chusova A. E., Agafonov G. V. [Preparation of clarified wort from the grain of rye and its fermentation to ethanol]. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii*, 2013, no. 4, pp. 12–16. (In Russ.)
20. Abramov Sh. A., Khalilova E. A. [Formation of secondary metabolites by yeast *Saccharomyces cerevisiae* in conditions of alcoholic fermentation]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*, 2007, no. 9, pp. 64–67. (In Russ.)

Влияние осветления сусла на показатели качества зерновой бражки

Ключевые слова

альдегиды; высшие спирты; зерновое сусло; мутность; осветление; этанол; эфиры; ячмень.

Реферат

Исследовано влияние степени осветления осахаренного сусла на такие показатели зрелой бражки, как крепость и содержание побочных продуктов брожения. Степень осветления сусла оценивали по мутности, определенной согласно методике ЕВС по величине оптической плотности при длине волны $\lambda = 560$ нм. После водно-тепловой и ферментативной обработки осветленное и неосветленное сусло сбраживали сухими спиртовыми дрожжами Lallemand DistilaMax GW при температуре 30 °С в течение 72 ч для получения зрелой бражки. В процессе сбраживания всех образцов определяли: общее количество дрожжевых клеток; долю почкующихся и мертвых клеток; количество выделенного диоксида углерода; концентрацию α -аминного азота. Были найдены зависимости изменения этих показателей (в безразмерной форме) от времени сбраживания, позволившие найти максимумы следующих показателей: относительная скорость прироста общего количества дрожжевых клеток, относительная скорость потребления α -аминного азота, сбраживаемых углеводов и выделения диоксида углерода в осветленных и неосветленных образцах. В зрелой бражке дополнительно определяли крепость и концентрацию побочных продуктов брожения, вследствие чего было установлено, что при увеличении степени осветления сусла возрастают крепость бражки и выход спирта. С увеличением степени осветления суммарное количество побочных продуктов брожения снижается. В то время как содержание высших спиртов (1-пропанола, 2-пропанола, 1-бутанола, изобутанола, изоамилола) в осветленных образцах уменьшается, количество уксусного альдегида и таких эфиров, как метилацетат и этилацетат, увеличивается. Полученные результаты могут быть использованы в технологии этилового спирта и зернового виски в целях улучшения их качества.

Авторы

Горячев Кирилл Анатольевич, магистрант;
Романов Всеволод Алексеевич, аспирант;
Алимова Диана Сергеевна, аспирант;
Баракова Надежда Васильевна, канд. техн. наук
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9, kiralord@yandex.ru, dyvom@notsharingmy.info, alimova-diana@mail.ru, n.barakova@mail.ru

Effect of Wort Clarification on the Quality of Grain Brags

Key words

aldehydes; higher alcohols; cooked grain; turbidity; clarification; ethanol; esters; barley.

Abstract

The effect of cooked mash clarification degree on fermented wash parameters, such as ethanol and by-product concentration, was studied. The output of clarification was quantified via mash turbidity, which was calculated according to EBC method by measuring optical density at the wave length λ of 560 nm. After cooking and enzyme treatment, clarified and non-clarified mashes were fermented with Lallemand Distila Max GW dry distillers' yeast. The fermentation took 72 hours at 30 °C. During fermentation, the samples were examined for yeast cell total, budding index and cell death percentage, emitted carbon dioxide quantity, and free α -amino nitrogen (FAN) concentration. Drift of these parameters (in relative form) as a function of fermentation time was analyzed, which allowed for determination of the following maxima: relative cell total growth rate maximum, relative FAN uptake and carbon dioxide emission rates maxima during fermentation of clarified and non-clarified samples. Additionally, ethanol and fermentation by-product concentration and sugars to alcohol conversion ratio was determined in the resulting washes, and a conclusion was made that better mash clarification leads to bigger ethanol concentration in the wash and more productive sugars conversion. Net quantity of fermentation by-products falls as the starting mash becomes more clarified; while in clarified samples the amount of higher alcohols (1-propanol, 2-propanol, 1-butanol, isobutanol, isoamylol) is lower, concentrations of acetaldehyde and such esters as methyl acetate and ethyl acetate are higher. The results obtained may have applications in potable ethanol and grain whisky production.

Authors

Goryachev Kirill Anatolievich, Student;
Romanov Vsevolod Alekseyevich, Post-graduate Student;
Alimova Diana Sergeevna, Post-graduate Student;
Barakova Nadezhda Vasilyevna, Candidate of Technical Sciences
St. Petersburg National Research University Information Technology, Mechanics and Optics, 9 Lomonosova st., St. Petersburg, 191002, Russia, kiralord@yandex.ru, dyvom@notsharingmy.info, alimova-diana@mail.ru, n.barakova@mail.ru