

Исследование состава основных примесей зрелой бражки в зависимости от продолжительности сбраживания, расы спиртовых дрожжей и применяемых ферментных препаратов




Наталья В. Зуева	¹	nataspirit30@yandex.ru	 0000-0003-2840-398X
Геннадий В. Агафонов	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0003-0346-9245
Елизавета А. Новокшенова	¹	liza.simona2000@mail.ru	
Александр Н. Долгов	¹	adolgov977@gmail.com	 0000-0003-4572-7417
Алла Е. Чусова	¹	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В статье проведены исследования процесса интенсификации сбраживания концентрированного сусла с учетом внесения комплекса ферментов амилотического, гемицеллюлазного и протеолитического действия. Определили зависимость выхода этанола, содержания летучих примесей, содержания редуцирующих веществ в зависимости от различных рас дрожжей при норме засева 15 млн клеток на 1 см³ сусла. Для выявления параметров процесса брожения сусла с повышенным содержанием сухих веществ, исследовали динамику накопления летучих примесей, варьируя норму засева дрожжей и продолжительность сбраживания при использовании дрожжей расы 987-05. Выявили, что качественный состав примесей в бражке, полученной из высококонцентрированного сусла, зависит как от продолжительности сбраживания, так и от нормы засева дрожжей. Так, в зависимости от продолжительности процесса сбраживания, содержание ацетальдегида увеличивается (с 613,17 мг/дм³ к 54 ч до 1724,6 мг/дм³ к 72 ч), количество этилацетата снижается (с 409,2 мг/дм³ к 54 ч до 207 мг/дм³ к 72 ч), содержание метанола к 54 ч при норме засева дрожжей 15 млн клеток на 1 см³ сусла составило 0,0043 мг/см³, тогда как к 72 ч сбраживания при той же норме засева дрожжей – 0,0070 мг/дм³, количество 1-пропанол и 1-бутанол снижается с 903,14 мг/см³ и 6,38 мг/см³ – 54 час до 880 мг/см³ и 5,57 мг/см³ – к 72 ч соответственно. Минимальное содержание изобутанола вне зависимости от продолжительности сбраживания составил 900-1100 мг/см³ при норме засева дрожжей 15 млн клеток на 1 см³ сусла, количество изоамилола возрастает с 1219,08 мг/дм³ (54 ч) до 2673,84 мг/дм³ (72 ч). Выявили, что наименьшее суммарное количество примесей получено при норме засева дрожжей 15 млн клеток на 1 см³ сусла при продолжительности сбраживания 54 ч. Установили, что максимальное содержание этилового спирта в бражке при минимальном накоплении в ней летучих примесей соответствует варианту: продолжительность сбраживания – 54 ч при норме задачи дрожжевых клеток – 15,0 млн/см³ сусла.

Ключевые слова: ферментные препараты, сусло, комплексная технология, бражка, дрожжи, летучие примеси

The study of the main impurities mature mash depending on the duration of fermentation, yeast alcohol race and used enzyme preparations

Natalia V. Zueva	¹	nataspirit30@yandex.ru	 0000-0003-2840-398X
Gennady V. Agafonov	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0003-0346-9245
Elizabeth A. Novokshenova	¹	liza.simona2000@mail.ru	
Alexander N. Dolgov	¹	adolgov977@gmail.com	 0000-0003-4572-7417
Alla E. Chusova	¹	hycovai@mail.ru	 0000-0003-1237-4870

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The paper studied the process of intensification of concentrated fermentation mash with account of the complex amylolytic enzymes, hemicellulase and proteolytic activities. We determined the dependence of ethanol yield, the content of volatile impurities, the content of reducing substances, depending on the different strains of yeast at a seed rate 15 million cells per 1 cm³ wort. To identify the parameters of the fermentation process the wort with an increased solids content, investigated the dynamics of accumulation of volatile impurities by varying the rate and duration of seeding yeast fermentation using 987-05 race yeast. It revealed that the qualitative composition of impurities in the mash, the resulting wort of high-concentration depends both on the duration of fermentation, and from normal seeding yeast. Thus, depending on the duration of the fermentation process, the acetaldehyde content increases (from 613,17 mg/dm³ to 54 h to 1724,6 mg/dm³ to 72 hours), the amount of ethyl acetate is reduced (from 409,2 mg/dm³ to 54 hours prior to 207 mg/dm³ to 72 hours), the methanol content to 54 h at a rate of 15 million yeast seeding cells per 1 cm³ of the wort amounted to 0,0043 mg/cm³, whereas by 72 h of fermentation at the same seed rate yeast – 0,0070 mg/dm³, the amount of 1-propanol and 1-butanol was reduced from 903,14 mg/cm³ and 6,38 mg/cm³ - 54 h to 880 mg/cm³ and 5,57 mg/cm³ - to 72 hours, respectively. The minimum content of isobutanol independent of the duration of fermentation was 900-1100 mg/cm³ at a seed rate 15 million yeast cells per 1 cm³ wort isoamilola number increases from 1219,08 mg/dm³ (54 hr) to 2673,84 mg/dm³ (72 h). It revealed that the smallest total amount of impurities obtained by seed rate yeast 15 million cells per 1 cm³ wort at the duration of fermentation 54 hours was found that maximum ethanol content in the mash with minimal accumulation therein volatiles corresponds embodiment. Duration of fermentation - 54 hours at normally the problem of yeast cells – 15,0 million / cm³ wort.

Keywords: enzyme preparations, wort, complex technology, brew, yeast, volatiles

Для цитирования

Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Новокшенова Е.А., Долгов А.Н., Чусова А.Е. Исследование состава основных примесей зрелой бражки в зависимости от продолжительности сбраживания, расы спиртовых дрожжей и применяемых ферментных препаратов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 78–84. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-78-84

For citation

Zueva N.V., Agafonov G.V., Novokshenova E.A., Dolgov A.N., Chusova A.E. The study of the main impurities mature mash depending on the duration of fermentation, yeast alcohol race and used enzyme preparations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 78–84. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-78-84

Введение

На сегодняшний день важной задачей на спиртовых заводах является повышение эффективности работы бродильного отделения. Это возможно улучшением качества спиртовых дрожжей и расширением ассортимента используемых ферментов. Традиционно в спиртовой отрасли использовали одну расу дрожжей, которая обеспечивала достаточную скорость брожения, стабильный выход спирта [1–4]. Перспективные направления развития технологии производства этанола решают следующие задачи: повышение концентрации сухих веществ перерабатываемых сред, обеспечение снижения себестоимости этанола за счет экономии сырья, электроэнергии и топлива, проведение процесса брожения при повышенных температурах и повышенной крепости в бражке. В таких условиях необходимо использование рас дрожжей, обладающих термостабильностью, осмофильностью и высокой бродильной активностью. Поэтому селекционные работы по скринингу активных рас дрожжей, выбор оптимальных режимов сбраживания концентрированного сусла являются перспективным направлением совершенствования технологии производства спирта. Массообменные процессы, протекающие между дрожжевой клеткой и питательной средой в процессе брожения, во многом определяются концентрацией питательной среды. Поскольку высокое осмотическое давление оказывает угнетающее действие на жизнедеятельность дрожжей, то при сбраживании сред повышенной концентрации предъявляются высокие требования к составу сбраживаемой среды и к дрожжам, которые должны быть осмо-, спирто- и кислотоустойчивыми [5].

Для нормальной жизнедеятельности дрожжевой клетки необходимо обеспечить в среде, с одной стороны, достаточное количество элементов питания, а с другой – содержание в среде ряда витаминов и микроэлементов для их усвоения [7, 9].

Для нормальной жизнедеятельности в анаэробных условиях дрожжам, как и другим микроорганизмам, необходим азот, который дрожжи способны усваивать в различных формах [6, 8].

Источником азотистого питания дрожжевых клеток являются растворимые соединения азота: органические и неорганические. Для поддержания своей жизнедеятельности дрожжи, с одной стороны, как автотрофы могут синтезировать все аминокислоты, используя неорганические формы азота, или, с другой стороны, использовать уже

имеющиеся в сусле аминокислоты. Из общего количества азота, необходимого дрожжам, 70% они ассимилируют в виде аминокислот, остальные в виде аммония, амидного азота и пептидов. Поэтому при брожении содержание азотистых веществ в сусле уменьшается на 1/3 [10–12].

Таким образом, для обеспечения интенсивного размножения дрожжевых клеток и их высокой бродильной активности необходимо обеспечить в бродящей среде достаточное количество азотистого питания.

Наиболее рациональным решением проблемы обогащения осахаренного сусла свободными аминокислотами является гидролиз собственных белков зерновых культур протеолитическими ферментными препаратами.

Материалы и методы

В ходе исследований применялись три расы дрожжей, используемые в виде чистой культуры: XII, 987-05, К-81:

- термотолерантная раса К-81 (полученная КТИПП и ВНИИПБТ);
- гибридная раса дрожжей 987 – 05, используемая в виде чистой культуры (получена из центральной лаборатории ГНУ ВНИИПБТ Россельхозакадемии);
- *Saccharomyces cerevisiae* расы XII.

Концентрацию растворимых сбраживаемых углеводов, суммарного содержания сбраживаемых углеводов, несброженных углеводов и концентрации нерастворенного крахмала находили колориметрическим антроновым методом; измерение оптической плотности проводили на фотоэлектроколориметре КФК-3 [10].

Интенсивность брожения оценивали по количеству диоксида углерода, выделявшегося в единицу времени из определенного объема среды. Количество углекислоты устанавливали по убыли веса сосуда, снабженного затвором [9].

Определение концентрации побочных и вторичных метаболитов спиртового брожения проводили газохроматографическим методом (ГОСТ Р 51652–2000).

Технология получения концентрированного сусла с использованием ферментных препаратов различного действия представлена в предыдущих работах [1, 7].

Результаты и обсуждение

Для выявления параметров сбраживания сусла с повышенным содержанием сухих веществ, исследовали динамику накопления летучих примесей, варьируя норму засева дрожжей и продолжительность сбраживания при использовании дрожжей расы 987-05. Выявили, что качественный состав примесей (таблица 1) в бражке, полученной из высококонцентрированного сусла, зависит как от продолжительности сбраживания, так и от нормы засева дрожжей.

Так, в зависимости от продолжительности процесса сбраживания, содержание ацетальдегида увеличивается (с 613,17 мг/дм³ к 54 ч до 1724,6 мг/дм³ к 72 ч), количество этилацетата снижается (с 409,2 мг/дм³ к 54 ч до 207 мг/дм³ к 72 ч), содержание метанола к 54 ч при норме засева дрожжей 15 млн клеток на 1 см³ сусла составило 0,0043 мг/см³, тогда как к 72 ч сбраживания при той же норме засева дрожжей – 0,0070 мг/дм³, количество 1-пропанол и 1-бутанол снижается с 903,14 мг/см³ и 6,38 мг/см³ – 54 час до 880 мг/см³ и 5,57 мг/см³ – к 72 ч соответственно. Минимальное содержание изобутанола вне зависимости от продолжительности сбраживания составило

900–1100 мг/см³ при норме засева дрожжей 15 млн клеток на 1 см³ сусла, количество изоамилола возрастает с 1219,08 мг/дм³ (54 ч) до 2673,84 мг/дм³ (72 ч). Выявили, что наименьшее суммарное количество примесей получено при норме засева дрожжей 15 млн клеток на 1 см³ сусла при продолжительности сбраживания 54 ч. Установлено, что максимальное содержание этилового спирта в бражке при минимальном накоплении в ней летучих примесей соответствует варианту: продолжительность сбраживания – 54 ч при норме задачи дрожжевых клеток – 15,0 млн/см³ сусла.

Таблица 1.

Сравнительный анализ содержания основных примесей в бражке

Table 1.

Comparative analysis of the content of the main impurities in the brew

Основные примеси, мг/дм ³ безводного спирта Main impurities, mg/dm ³ anhydrous alcohol	Норма засева дрожжей, млн клеток на 1 см ³ сусла Yeast sowing rate, million cells per 1 cm ³ wort											
	12,5	15,0	17,5	12,5	15,0	17,5	12,5	15,0	17,5	12,5	15,0	17,5
	Продолжительность сбраживания, час Fermentation duration, hour											
	54			60			66			72		
Ацетальдегид Ethyl aldehyde	613,17	634,11	742,36	646,53	714,08	876,54	883,15	1085,4	1443,38	1346	1378	1724,6
Этилацетат ethyl acetate	423,3	409,2	246,14	387,18	382,53	232,37	319,84	304,50	213,85	328,70	348,17	207,42
Метанол Methanol	0,0050	0,0043	0,0060	0,0055	0,0050	0,0063	0,0060	0,0059	0,0068	0,0065	0,0070	0,0075
1-Пропанол 1 Propanol	914,71	903,14	801,36	942,10	953,13	825,83	803,17	763,41	889,01	862,65	880,38	921,28
Изобутанол Isobutanol	1343,05	1171,76	1213,18	1294,99	1002,15	1196,59	1034,41	942,15	1301,18	1157,26	1124,61	1368,21
1-Бутанол 1 Butanol	6,91	6,38	6,22	6,73	6,06	5,81	5,92	5,97	5,96	5,87	5,57	5,95
Изоамилол Izoamilol	1219,08	1273,61	1522,13	1841,02	2042,20	2171,92	2067,08	1987,02	2556,84	2183,48	2285,21	2673,84
Суммарное количество примесей Total amount of impurities	4516,35	4409,32	4521,246	5123,04	5100,82	5306,99	5101,63	5085,58	6385,90	5876,80	6015,02	6896,31

Изучали процесс интенсификации сбраживания концентрированного сусла с учетом внесения комплекса ферментов амилолитического, гемицеллюлазного и протеолитического действия. Определяли зависимость выхода этанола, содержания летучих примесей, содержания редуцирующих веществ в зависимости от различных рас дрожжей при норме засева 15 млн клеток на 1 см³ сусла. Полученные данные представлены в таблице 2.

При получении стандартного сусла (контроль) использовали ферментные препараты разжижающего и осахаривающего действия и исследовали состав концентрированного сусла, полученного при внесении в водно-мучнистую суспензию пшеницы протеолитического ферментного препарата Протоферм FP, а также полученное при использовании не только

протеолитического, но и целлюлолитического действия. В качестве источника ферментных препаратов целлюлолитического действия использовали Висколазу 150 L. Процесс сбраживания осуществляли при температуре 32–33 °С, с использованием дрожжей расы 987-О5, норма внесения дрожжей составляла 15 млн/см³.

Анализируя данные таблицы, видим, что содержание редуцирующих веществ в бражке, полученной с использованием дрожжей К-81 и 987-О5, соответствовало норме уже к 60 ч сбраживания (0,36–0,39 г./100 см³) при совместном использовании ферментных препаратов протеолитического и целлюлолитического действия, тогда как при применении XII расы дрожжей к 66 ч сбраживания этот показатель составил от 0,81 до 0,66 г./100 см³.

Таблица 2.

Влияние ферментных препаратов различного действия на показатели бражки, полученной из высококонцентрированного пшеничного сусла с использованием различных рас дрожжей

Table 2.

The effect of enzyme preparations of various actions on the performance of brew obtained from highly concentrated wheat wort using different yeast races

Расы дрожжей Races yeast	Варианты сусла* Wort	Редуцирующие вещества, г/100 см ³ Reducing agents, g/100 ml				ОРВ, г/100 см ³ ORV, g/100 ml		Выход этанола, дал/т. у.к. Ethanol yield, dal/t		Суммарная концентрация основных примесей, мг/см ³ Total concentration of main impurities, mg/ml	
		Продолжительность сбраживания, ч Duration, h									
		48	54	60	66	54	60	54	60	54	60
K-81	I	5,71	0,72	0,47	0,44	0,56	0,50	65,0	65,4	5356,8	6562,2
	II	5,46	0,66	0,43	0,40	0,51	0,49	65,5	65,9	4938,1	6152,3
	II	5,2	0,53	0,39	0,37	0,44	0,42	66,2	66,4	4579,5	5211,6
XII	I	6,8	1,2	0,9	0,81	1,8	0,92	63,6	63,9	6613,0	8059,7
	II	6,52	0,97	0,82	0,77	0,93	0,88	63,8	64,6	52086,7	7500,3
	II	6,41	0,9	0,71	0,66	0,82	0,75	64,1	65,2	5169,2	7354,9
987-O5	I	5,8	0,68	0,46	0,40	0,56	0,53	65,3	65,5	5006,8	6135,2
	II	5,6	0,52	0,40	0,38	0,52	0,49	65,8	66,1	4728,6	5849,3
	II	5,0	0,47	0,36	0,34	0,48	0,45	66,4	66,7	4273,5	5011,7

* I – Контроль (без протеаз и целлюлаз) Control (no proteases and cellulases); II – Протоферм FP Protoferm FP; III – Протоферм FP + Висколаза 150L Protoferm FP+Viskolaza 150L

Установлено, что термотолерантная раса 985-O5 более активно размножается, интенсивно ассимилирует углеводы, и уже к 54–60 ч брожения процесс практически прекращается: выход спирта составляет 66,6 дал/т.у.к. крахмала, к 66 ч – 66,9 дал/т.у.к. При использовании расы K-81 и XII выход этанола составил 66,2 дал/т.у.к. крахмала и 65,2 дал/т.у.к. соответственно. При этом максимальный выход спирта наблюдали при использовании сусла, в ходе получения которого были использованы и Протоферм FP и Висколаза 150 L.

Установлено, что состав сусла, используемая раса дрожжей и продолжительность сбраживания существенно влияют как на суммарное количество примесей, так и на их состав. Однако применение полного комплекса ферментов наряду с увеличением выхода спирта способствовало снижению образования побочных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола. Так, концентрация общих примесей при сбраживании концентрированного сусла, полученного по механико-ферментативной схеме с использованием только ферментов амилолитического действия, к 54 ч сбраживания составила 5356 мг/дм³, к 60 ч 6562 мг/дм³ при использовании дрожжей расы K-81; 6613 мг/дм³ и 8059 мг/дм³ при использовании дрожжей расы XII; 5006 и 6135 мг/дм³ при использовании дрожжей расы 987-O5. Присутствие в комплексе ферментов протеолитического и гемицеллюлазного действия позволило уменьшить образование побочных метаболитов более чем в 1,5 раза – до концентрации 4273–5000 мг/см³ при использовании расы дрожжей 987-O5 в основном за счет синтеза высших спиртов альдегидов и сложных эфиров. Использование полного комплекса ферментов

при подготовке сырья к сбраживанию позволяет улучшить качество целевого продукта – этанола. Установлено, что комплекс ферментов амилолитического, гемицеллюлазного и протеолитического действия обеспечивает наибольший выход спирта с одновременным снижением образования побочных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола.

Обогащение сусла легко ассимилируемыми компонентами азотистого питания позволит увеличить скорость размножения дрожжей, повысить плотность дрожжевой популяции и бродильную активность. Вероятно, это связано с обогащением сусла легко ассимилируемыми компонентами азотистого питания, которые используются дрожжевыми клетками непосредственно для построения биомассы. Интенсификацию синтеза белка и активирование содержащихся в дрожжевой клетке ферментов способствует интенсификации развития и размножения дрожжей.

При обеспечении дрожжей азотистым питанием биосинтез белков клетки происходит преимущественно за счет ассимиляции аминокислот среды. Таким способом экономится сахар на построение биомассы дрожжей, углеводы расходуются в основном на анаэробное дыхание и, следовательно, на образование спирта.

Можно говорить о том, что при сбраживании сусла увеличение выхода спирта, обогащённого продуктами протеолиза растительного белка, зависит от проведения более экономичного процесса, повышения степени биоконверсии углеводов в этанол, сокращения потерь крахмала на образование побочных метаболитов.

Изучали динамику сбраживания сусле дрожжами расы XII, К-81, 987-О5. В ходе сбраживания исследовали изменение несброженных углеводов и этанола. Полученные данные приведены на рисунках 1, 2.

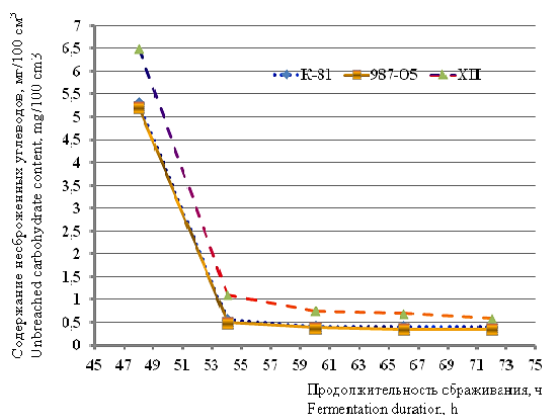


Рисунок 1. Зависимость содержания несброженных углеводов в бражке от расы дрожжей

Figure 1. Dependence of unbreached carbohydrates in the mash on the race of yeast

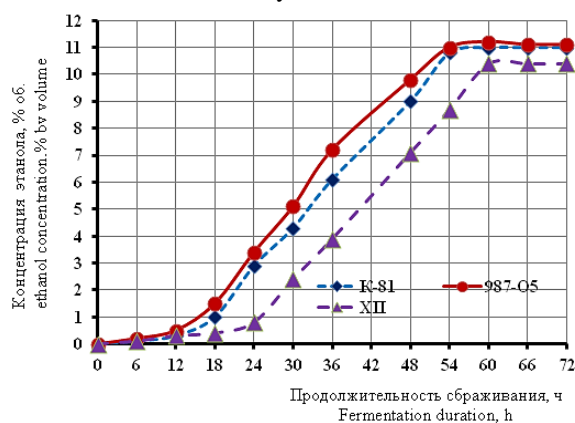


Рисунок 2. Зависимость изменения концентрации этанола в бражке от расы дрожжей

Figure 2. Dependence of unbreached carbohydrates in the mash on the race of yeast

Как видно из рисунков лучшие результаты получены при использовании дрожжей рас К-81 и 987-О5. Так, содержание несброженных углеводов (РВ) к 54 ч брожения составило 0,65 мг/100 см³ при сбраживании дрожжами расы К-81 и 0,5 мг/100 см³ при сбраживании дрожжами расы 987-О5, тогда как при сбраживании XII расой содержание несброженных углеводов – 1,1 мг/100 см³. На 66 ч сбраживания при использовании рас К-81 и 987-О5 количество РВ составило 0,40 и 0,35 мг/100 см³ соответственно, и 0,60 мг/100 см³ при применении XII расы, а этанола – 10,8 и 11,2% об., соответственно. Установлено, что при использовании XII расы процесс сбраживания идет с увеличением накопления спирта в бражке на протяжении всего времени исследований и достигает своего максимума к 60–66 ч – 10,7% об., тогда как при использовании рас 987-О5 и К-81 наивысшее содержание спирта достигается в бражке к 54 ч сбраживания – 11,12 и 11,1% об. соответственно.

Процесс сбраживания концентрированного сусле анализировали с учетом изменения основных технологических показателей, содержания спирта и побочных метаболитов дрожжей. Известно, что сбраживание концентрированного сусле можно осуществлять при повышенных температурах (около 32–35 °С).

Дрожжи при повышенных температурах теряют свою физиологическую активность, что приводит к снижению их конкурентоспособности к посторонней микрофлоре, и как следствие образованию посторонних метаболитов. Поэтому изучали влияние температуры сбраживания на метаболизм дрожжей рас XII, К-81 и 987-О5. Сбраживание осуществляли в течение 48–72 ч при температурах: 28–30 °С и повышенных 32–33 и 35 °С (таблица 3).

Таблица 3.

Зависимость физиологической активности различных рас дрожжей от продолжительности сбраживания

Table 3.

Dependence of unbreached carbohydrates in the mash on the race of yeast

Т брожения, °С T fermentation, °C	Расы дрожжей yeast races	Количество дрожжей, млн/см ³ Amount of yeast, ppm/cm ³						
		24 ч (hours)		48 ч (hours)			72 ч (hours)	
		Всего total	почк. budding	Всего total	почк. budding	мерт. dead	Всего total	мерт. dead
28–30	К-81	97	14	138	16	1,7	96	6
	987-О5	115	18	142	22	1,0	100	4
	XII	88	10	127	12	3,0	80	15
32–33	К-81	148	18	175	22	2,0	103	7
	987-О5	146	20	184	24	1,5	112	8
	XII	121	17	150	19	5	81	30
35	К-81	62	15	98	10	5	80	25
	987-О5	78	14	104	11	2,5	85	20
	XII	54	12	79	8	8	60	44

Физиологическое состояние дрожжей при температуре 28–30 и 32–33 °С можно оценить, как хорошее. К 24 ч сбраживания наблюдали в среднем: общее содержание дрожжей составило 97–146 млн/см³, почкующихся 14–20 млн/см³, к 48 ч общее количество дрожжей и содержание почкующихся дрожжей увеличилось на 26–42%. Так, к 48 ч брожения при температуре 28–30 °С максимальное количество дрожжевых клеток наблюдали при использовании расы дрожжей 987-О5. Оно составило: общее – 142 млн/см³, почкующихся – 22 млн/см³, а минимальное при использовании расы XII: общее содержание дрожжевых клеток составило 127 млн/см³, почкующихся 12 млн/см³. При увеличении температуры до 32–33 °С содержание общих и почкующихся дрожжей возросло до 150–184 млн/см³ и 22–24 млн/см³ соответственно. К 72 ч сбраживания при температуре 28–30 °С при использовании К-81 и 987-О 5 количество мертвых клеток составило 4–6%, против 1,0–1,7% к 48 ч, для расы XII 15% против 3% к 48 ч. Увеличение температуры до 32–33 °С не привело к существенному изменению физиологического состояния дрожжей. Но когда температура брожения была повышена до 35 °С, это существенно отразилось на физиологической активности дрожжей и более резко выявило их различие. При использовании XII расы снизилась способность дрожжей к размножению, их упитанность, вырос коэффициент гибели клеток и к 48 ч сбраживания составил 8% против 2,5% у расы 987-О5, а к 72 ч – 44% против 20–25% у рас К-81 и 987-О5.

Заключение

Определено влияние различных факторов на процесс сбраживания концентрированного сусла после выделения глютенана. Доказано, что использование расы 987-О5 и внесение протеолитических ферментных препаратов Протоферм FP и Висколаза 150L в водно-мучнистую суспензию пшеницы позволяет сократить длительность брожения с 72 до 54 ч, увеличить выход этанола с 9,1 до 11,1% об., снизить содержание несброженных углеводов с 0,7 до 0,4 г / 100 см³, а также в 1,5–2 раза снизить образование побочных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола, и повысить концентрацию аминного азота в сусле в 2 раза.

Обогащение сусла аминокислотами в результате протеолиза белков сырья под их действием активизирует жизнедеятельность дрожжевых клеток, что приводит к повышению содержания почкующихся клеток, увеличению интенсивности процесса сбраживания сусла, глубокому сбраживанию углеводов с одновременным увеличением выхода спирта.

Увеличение выхода спирта можно также объяснить и тем, что в результате обогащения питательной среды свободными аминокислотами сокращается расход сбраживаемых углеводов на синтез биомассы дрожжей и образование вторичных продуктов брожения, главным образом, высших спиртов. Это происходит из-за прямой ассимиляции аминокислот из окружающей среды без их дезаминирования. Содержащиеся в сбраживаемой среде углеводы расходуются преимущественно на анаэробное дыхание дрожжей, и, следовательно, на образование этилового спирта.

Литература


- 1 Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Корчагина М.В., Долгов А.Н. Влияние ферментных препаратов на основные показатели продуктов при разработке технологии переработки концентрированного сусла на этанол // Вестник ВГУИП. Т. 79. № 2. С. 191–197.
- 2 Willberg-Keyriläinen P., Ropponen J., Lahtinen M., Pere J. Improved reactivity and derivatization of cellulose after pre-hydrolysis with commercial enzymes // BioResources. 2019. V. 14. № 1. P. 561–574.
- 3 Chniti S. et al. Kinetic of sugar consumption and ethanol production on very high gravity fermentation from syrup of dates by-products (*Phoenix dactylifera* L.) by using *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida pelliculosa* and *Zygosaccharomyces rouxii* // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2019. V. 2019. P. 199–203.
- 4 Ren S. et al. Recent progress in multienzymes co-immobilization and multienzyme system applications // Chemical Engineering Journal. 2019. V. 373. P. 1254–1278.
- 5 Латышенко Е.П., Шабашев В.А. Системный подход к развитию предпринимательства // Вестник НГУЭУ. 2018. № 3. С. 44–50.
- 6 Overchenko M.B., Serba E.M., Ignatova N.I. Integrated system for quality evaluation of enzyme preparations in order to ensure the stability of biotechnological processes of food production // Biotechnology: State of the art and prospects of development: Congress proceedings VII Moscow International Congress. Moscow, 2013. P. 43.
- 7 Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Долгов А.Н. Влияние ферментных препаратов целлюлолитического действия на эффективность гидролиза некрахмальных полисахаридов и вязкостные характеристики водно-мучнистой суспензии пшеницы при разработке комплексной ресурсосберегающей технологии глубокой переработки зернового сырья // British Journal of Science, Education and Culture. 2014. № 1(5). P. 67–72.
- 8 Rimareva L., Serba E.M., Rachkov K.V. Perspectives of creation of functional products based on microbial biomass and biocatalytic processes // Biotechnology: State of the art and prospects of development: Congress proceedings VII Moscow International Congress. Moscow, 2013. P. 2–41.
- 9 Mohsenzadeh A., Zamani A., Taherzadeh M. J. Bioethylene production from ethanol: A review and techno-economical evaluation // ChemBioEng Reviews. 2017. V. 4. № 2. P. 75–91.
- 10 Puligundla P. et al. A review of recent advances in high gravity ethanol fermentation // Renewable Energy. 2019. V. 133. P. 1366–1379.
- 11 Teschke R. Microsomal ethanol-oxidizing system: success over 50 years and an encouraging future // Alcoholism: Clinical and Experimental Research. 2019. V. 43. №. 3. P. 386–400.
- 12 de Araujo Guilherme A. et al. Ethanol production from sugarcane bagasse: use of different fermentation strategies to enhance an environmental-friendly process // Journal of environmental management. 2019. V. 234. P. 44–51.

References

- 1 Zueva N.V., Agafonov G.V., Korchagina M.V., Dolgov A.N. Influence of fermental medicines on key indicators of products when developing technology of processing of the concentrated mash on ethanol. *Proceedings of VSUET*. 2017. vol. 79. no. 2. pp. 191–197. (in Russian).
- 2 Willberg-Keyriläinen P., Ropponen J., Lahtinen M., Pere J. Improved reactivity and derivatization of cellulose after pre-hydrolysis with commercial enzymes. *BioResources*. 2019. vol. 14. no. 1. pp. 561–574.
- 3 Chniti S. et al. Kinetic of sugar consumption and ethanol production on very high gravity fermentation from syrup of dates by-products (*Phoenix dactylifera* L.) by using *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida pelliculosa* and *Zygosaccharomyces rouxii*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2019. vol. 2019. pp. 199–203.
- 4 Ren S. et al. Recent progress in multienzymes co-immobilization and multienzyme system applications. *Chemical Engineering Journal*. 2019. vol. 373. pp. 1254–1278.
- 5 Latyshenko E.P., Shabashev V.A. A systematic approach to the development of entrepreneurship. *Vestnik NSUEM*. 2018. no. 3. pp. 44–50. (in Russian).
- 6 Overchenko M.B., Serba E.M., Ignatova N.I. Integrated system for quality evaluation of enzyme preparations in order to ensure the stability of biotechnological processes of food production. *Biotechnology: State of the art and prospects of development: Congress proceedings VII Moscow International Congress*. Moscow, 2013. pp. 43.
- 7 Zueva N.V., Agafonov G.V., Dolgov A.N. Influence of enzyme preparations of cellulolytic action on the efficiency of hydrolysis of non-starch polysaccharides and viscosity characteristics of water-powdery suspension of wheat in the development of a complex resource-saving technology for deep processing of grain raw materials. *British journal of science, education and culture*. 2014. no. 1(5). pp. 67–72. (in Russian).
- 8 Rimareva L., Serba E.M., Rachkov K.V. Perspectives of creation of functional products based on microbial biomass and biocatalytic processes. *Biotechnology: State of the art and prospects of development: Congress proceedings VII Moscow International Congress*. Moscow, 2013. pp. 2–41.
- 9 Mohsenzadeh A., Zamani A., Taherzadeh M.J. Bioethylene production from ethanol: A review and techno-economical evaluation. *ChemBioEng Reviews*. 2017. vol. 4. no. 2. pp. 75–91.
- 10 Puligundla P. et al. A review of recent advances in high gravity ethanol fermentation. *Renewable Energy*. 2019. vol. 133. pp. 1366–1379.
- 11 Teschke R. Microsomal ethanol-oxidizing system: success over 50 years and an encouraging future. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*. 2019. vol. 43. no. 3. pp. 386–400.
- 12 de Araujo Guilherme A. et al. Ethanol production from sugarcane bagasse: use of different fermentation strategies to enhance an environmental-friendly process. *Journal of environmental management*. 2019. vol. 234. pp. 44–51.

Сведения об авторах

Наталья В. Зуева к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataspirt30@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Геннадий В. Агафонов д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gvagafonov@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-0346-9245>

Елизавета А. Новокшенова студент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, liza.simona2000@mail.ru

Александр Н. Долгов внешний совместитель, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, adolgov977@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4572-7417>

Алла Е. Чусова к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Natalia V. Zueva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataspirt30@yandex.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Gennady V. Agafonov Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gvagafonov@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-0346-9245>

Elizabeth A. Novokshenova student, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, liza.simona2000@mail.ru

Alexander N. Dolgov external part-time worker, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, adolgov977@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4572-7417>

Alla E. Chusova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/07/2020	После редакции 01/08/2020	Принята в печать 11/08/2020
Received 22/07/2020	Accepted in revised 01/08/2020	Accepted 11/08/2020