УДК 663.12

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ ДРОЖЖЕЙ В КИСЛОРОДЕ

Л.В. Пермякова

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

e-mail: delf-5@yandex.ru

Дата поступления в редакцию: 22.05.2015
Дата принятия в печать: 30.06.2015

Кислород – важный компонент среды культивирования дрожжей, он необходим клеткам для синтеза стеринов и ненасыщенных жирных кислот, входящих в состав мембран. Недостаток в среде этих липидных соединений или кислорода приводит к дегенерации культуры. Снабжение дрожжевой культуры кислородом воздуха можно обеспечить аэрацией сусла или инокулята перед введением в среду сбраживания. В статье рассмотрены различные способы обеспечения пивных дрожжей кислородом и снижения потребности культуры в факторах анаэробного роста. Показано, что предферментационная обработка инокулята в среде молодого пива (1:2) путем кратковременной аэрации (30–40 мин) с последующей выдержкой без доступа воздуха в течение 2–4 ч позволяет дрожжам синтезировать достаточное количество стеринов и в то же время сохранить высокую бродильную активность, что положительно сказывается на процессе размножения биомассы и убыли экстракта. Использование аэрообработки дрожжей имеет существенные преимущества перед аэрацией сусла, так как наряду с сокращением (примерно в 60 раз) энергозатрат позволяет получить пиво с лучшими органолептическими характеристиками. Эти данные подтверждены в условиях одного из пивоваренных заводов Кемеровской области. Эффект снижения потребности дрожжевой культуры в кислороде сохраняется в течение двух генераций и возрастает при использовании штаммов с высокой потребностью в данном компоненте. Снижение необходимости микробных клеток в кислороде возможно за счет обогащения среды ферментации стеринами и ненасыщенными жирными кислотами путем внесения специально подготовленного дрожжевого автолизата. Особенностью его получения является предварительная аэрация дрожжевой суспензии сжатым воздухом с последующим проведением автолиза. Это способствует увеличению в биомассе клеток факторов анаэробного роста.

Дрожжи пивные, потребность в кислороде, аэрация, стерины, бродильная активность, брожение, автолизат, многократность использования, качество пива

Введение

Необходимым компонентом среды культивирования дрожжей в производстве пива (на стадии выращивания чистой культуры и в начале ферментации сусла) является кислород [1–4]. Потребность пивных дрожжей как факультативных анаэробов в кислороде связана не столько с энергетическим обменом (так как концентрация сахара в среде достаточно высокая), сколько с синтезом липидных компонентов клетки, в первую очередь стеринов и ненасыщенных жирных кислот, входящих в состав цитоплазматических мембран [1, 4, 5]. Недостаток этих факторов роста приводит к торможению развития и размножения клеток и в итоге к дегенерации культуры [6, 7].

Пивное сусло, особенно приготовленное с использованием повышенного количества несоложеного сырья, характеризуется низким содержанием ненасыщенных жирных кислот и особенно стеринов [1–3, 8]. Обеспечение дрожжей данными факторами роста можно осуществить разными способами: либо внести эти компоненты в среду, либо создать условия для их синтеза самой клеткой [1–4, 5, 8, 9]. В последнем случае наличие достаточного количества кислорода в среде позволяет клетке быстро синтезировать нужные ей соединения.

На практике основным приемом, обеспечивающим дрожжевую культуру кислородом воздуха, является аэрация сусла перед введением инокулята [2, 3, 10]. Однако до сих пор вопрос о необходимости насыщения сусла кислородом хотя и не отрицается, но вызывает дискуссии. С одной стороны, стимулирующее действие кислорода на рост и жизнеспособность дрожжей, на скорость сбраживания экстрактивных веществ хорошо известно [2, 3, 4, 8]. С другой стороны, излишнее количество растворенного кислорода в среде приводит к нежелательным процессам: увеличению редокс-потенциала, чрезмерному приросту биомассы дрожжей, снижению их способности к флокуляции, повышенному образованию побочных продуктов, удлиняющих процесс созревания пива и отрицательно влияющих на его органолептику, ухудшению коллоидной и биологической стойкости готового напитка [1, 2, 9, 11]. Кроме того, чрезмерная аэрация может привести к снижению бродильной активности культуры.

Потребность в кислороде разных штаммов пивных дрожжей различна и может колебаться от 2 до 40 мг/дм^3 и выше [9, 11]. Существует зависимость между потребностью дрожжевой культуры в кислороде и количеством синтезируемых стеринов.

Альтернативой аэрации сусла является разработанный нами способ предферментационной обработки инокулята, основанный на аэрации семенных дрожжей в молодом пиве, содержащем продукты деградации сахаров, являющихся эффективными

источниками углерода для образования клетками стеринов. Чтобы предотвратить «дыхательную адаптацию», длительность аэрации сокращена до минимума (20–30 мин), а после нее предусмотрено проведение выдержки культуры в течение 2–4 ч без доступа воздуха [11].

Недостаток необходимых клетке липидных компонентов можно восполнить не только созданием условий для их синтеза, но и обеспечить путем увеличения концентрации в сбраживаемой среде самих факторов анаэробного роста, что позволит, следовательно, снизить потребность дрожжей в кислороде.

В частности, известны такие способы обогащения пивного сусла липидными компонентами, как использование липазы на стадии затирания [9], препаратов, полученных из дрожжевой биомассы (автолизатов, термолизатов) или других видов сырья [1, 12, 13]. При этом происходит оптимизация состава среды как по липидным, так и по другим составляющим вносимых добавок (углеводным, минеральным, азотистым соединениям, витаминам).

Целью данной работы является сравнительная оценка различных способов снижения потребности культуры пивных дрожжей в кислороде.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись пивные дрожжи низового брожения *Saccharomyces carlsbergensis* расы 11, 776 и 8(а) М.

В качестве среды для обработки инокулята использовали молодое пиво, полученное из сусла экстрактивностью 11 %, для сбраживания применяли производственное охмеленное охлажденное 11%-е пивное сусло.

Постановка эксперимента заключалась в следующем. Дрожжи, взятые сразу после окончания процесса главного брожения, подвергали аэрообработке в оптимальных, ранее определенных условиях [11]. Для этого готовили суспензию дрожжей в молодом пиве в соотношении 1:2, аэрировали стерильным сжатым воздухом при его расходе 0,1 $м^3/ч·м^3$ среды до максимального насыщения кислородом. В таких условиях время аэрации составляло 30–40 мин. Проаэрированную суспензию дрожжей выдерживали без доступа воздуха в течение 5 ч. Температура обработки 1–2 °С.

Для изучения процесса сбраживания дрожжи вносили в сусло из расчета 20 млн $кл/см^3$ с учетом количества мертвых клеток. Ферментацию среды вели при температуре 8–9 °С. Дображивание молодого пива осуществляли при температуре 2–3 °С в течение срока, определенного для данного сорта пива.

В дрожжах определяли бродильную активность весовым методом, общее содержание стеринов – УФ-спектрофотометрическим методом путем измерения оптической плотности гексанового раствора стеринов при длине волны 282 нм. Найденную по калибровочному графику величину пересчитывали в проценты на сухое вещество дрожжей (% СВ).

Для выделения стеринов отцентрифугированную биомассу дрожжей гидролизовали 40%-м раствором КОН в этиловом спирте в течение 1 ч на кипящей водяной бане. Стериновую фракцию из остывшего раствора дважды экстрагировали гексаном. Соотношение объема спиртового раствора к объему гексана 1:0,75. Гексановый раствор промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и осушали над безводным сульфатом натрия в течение 1-2 суток. Затем раствор фильтровали и отгоняли из него гексан под вакуумом на роторном испарителе. Стерины хранили в закрытых бюксах при температуре 4 °С. Для проведения дальнейших анализов продукт перерастворяли в гексане.

Анализ физиологического состояния дрожжей осуществляли по концентрации клеток, находящихся во взвешенном состоянии, и по количеству почкующихся – методом прямого счета в камере Горяева.

Технологические характеристики дрожжей оценивали в соответствии с рекомендациями Европейской пивоваренной конвенции (ЕВС), используя значения таких величин, как содержание экстракта и дрожжевых клеток в бродящей среде. Рассчитывали следующие показатели: скорость сбраживания (время, необходимое для сбраживания 1 % экстракта дрожжами в количестве 20 млн $кл/см^3$ в линейной фазе снижения удельного роста); выход клеток (общее количество дрожжей к концу брожения за минусом концентрации засевных дрожжей); время генерации (время, необходимое для удвоения популяции дрожжей); точку флокуляции (степень сброженности сусла к моменту максимального количества биомассы в среде).

Массовую долю сухих веществ, pH, кислотность, цвет, содержание аминного азота анализировали общепринятыми в пивоварении методами [14]. Определение количества этилового спирта в бродящем сусле и пиве вели с использованием автоматического анализатора «Колос» (Россия), а также стандартным методом. Содержание растворенного кислорода в сусле и дрожжевой суспензии оценивали кислородомером МАРК-302Э (Россия).

Сумму высших спиртов и содержание ацетальдегида определяли газохроматографическим методом, диацетила и ацетоина – спектрофотометрическим способом по методике ЕВС [14].

Все исследования проводили в трех-четырех повторностях и обрабатывали методами статистического анализа.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы изучали влияние различных способов обеспечения дрожжевой культуры кислородом в производственных условиях на стеринообразование и величину бродильной активности инокулята, а также на отдельные показатели, характеризующие процесс ферментации сусла.

Эксперимент проводили на одном из пивоваренных предприятий Кемеровской области. Для сравнения были взяты варианты, приведенные в табл. 1. В контроле и опытном варианте 1 содержание кислорода воздуха в сусле обеспечивалось только за счет его естественного растворения (на уровне 4 $мг/дм^3$). В опытном варианте 2 охмеленное охлажденное сусло до введения в него

дрожжей аэрировали стерильным сжатым воздухом до полного насыщения среды кислородом (8 мг/дм^3). Предферментационную обработку инокулята (опыт 1) осуществляли способом, описанным выше. Использовали пивные дрожжи расы 11 пятой-седьмой генераций.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Вариант	Подготовка	
	сусла	дрожжей
Контроль	Без аэрации	Без аэрообработки
Опыт 1	Без аэрации	С аэрообработкой
Опыт 2	Аэрация	Без аэрообработки

Данные, представленные на рис. 1, свидетельствуют, что количество стеринов в клетках дрожжевой культуры сразу после аэрации возрастает в 3,0 раза, а ко второму часу выдержки в 4,7 раза по сравнению с исходными дрожжами. К пятому часу анаэробной выдержки содержание стеринов снижается, однако все же остается выше первоначальной концентрации в 2,7 раза.

В условиях отсутствия доступа кислорода воздуха бродильная активность дрожжей достигает своего наибольшего значения на 2–4 ч выдержки. При этом ее величина на 15–25 % выше, чем в исходном инокуляте. Так как процесс стеринообразования не должен идти в ущерб бродильной активности культуры, то в дальнейшем для проведения аэрообработки семенных дрожжей длительность анаэробной выдержки была взята 3 ч.

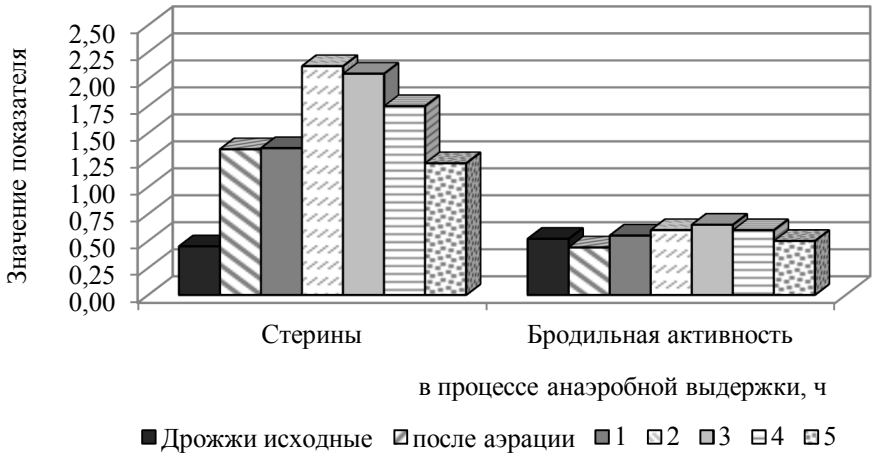


Рис. 1. Содержание стеринов в дрожжах (% СВ) и бродильная активность культуры (г CO_2/г СВ) в процессе аэрообработки в производственных условиях

Подготовленными дрожжами осуществляли ферментацию охмеленного пивного сусла, полученного по технологии сорта «Жигулевское». Результаты сбраживания сусла дрожжами в разных условиях обеспечения кислородом воздуха приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Бродильная активность дрожжей в процессе ферментации сусла в различных условиях обеспечения кислородом (К1 – сусло и дрожжи без аэрации; К2 – сусло с аэрацией, дрожжи без аэрации; О1, О2 – сусло без аэрации, дрожжи после аэрообработки)

Образец	Продолжительность брожения, сут.							
	0	1	2	3	4	5	6	7
К1	0,52	0,56	0,69	0,70	0,57	0,55	0,53	0,51
О1	0,63	0,78	0,86	0,80	0,64	0,58	0,56	0,54
К2	0,42	0,49	0,54	0,61	0,58	0,50	0,44	0,40
О2	0,54	0,58	0,65	0,70	0,63	0,56	0,48	0,44

Сравнивая бродильную активность дрожжей опытных и контрольных образцов (табл. 2), необходимо отметить, что на протяжении всего периода ферментации величина ее в дрожжах, подвергнутых аэрообработке (О1, О2), выше, чем у неаэрированных клеток. Максимальное значение бродильной активности дрожжей опытных вариантов на 15-23 % превышает величину этого показателя в контрольных образцах, при этом в опыте 1 наибольшая активность достигается на сутки раньше, чем в контроле 1.

Видно, что предферментационная обработка дрожжей приводит к усилению процесса размножения клеток (рис. 2, а). Причем в первом опытном образце максимальное накопление клеток наблюдается на одни сутки быстрее по сравнению с контролем, в то время как во втором варианте смещения экстремумов не происходит. Прирост дрожжей в опыте 1 по отношению к контролю 1 составляет

13 %, во втором опытном варианте обработка дрожжей увеличивает накопление клеток по сравнению с исходным значением в 2,9 раза, аэрация сусла (контроль 2) – в 3,5 раза, т.е. в последнем случае наблюдается больший прирост биомассы, чем в соответствующем опытном образце.

Аэрообработка дрожжей в сравнении с контролем интенсифицирует процесс сбраживания экстрактивных веществ сусла, что в большей степени заметно в первом варианте (рис. 2, б). Величина видимого экстракта (4,6 %), полученная в контрольном образце 1 на 7-е сутки, достигается в опытном на одни сутки раньше. Сокращение длительности главного брожения во втором варианте не столь заметно и составляет приблизительно 12 ч.

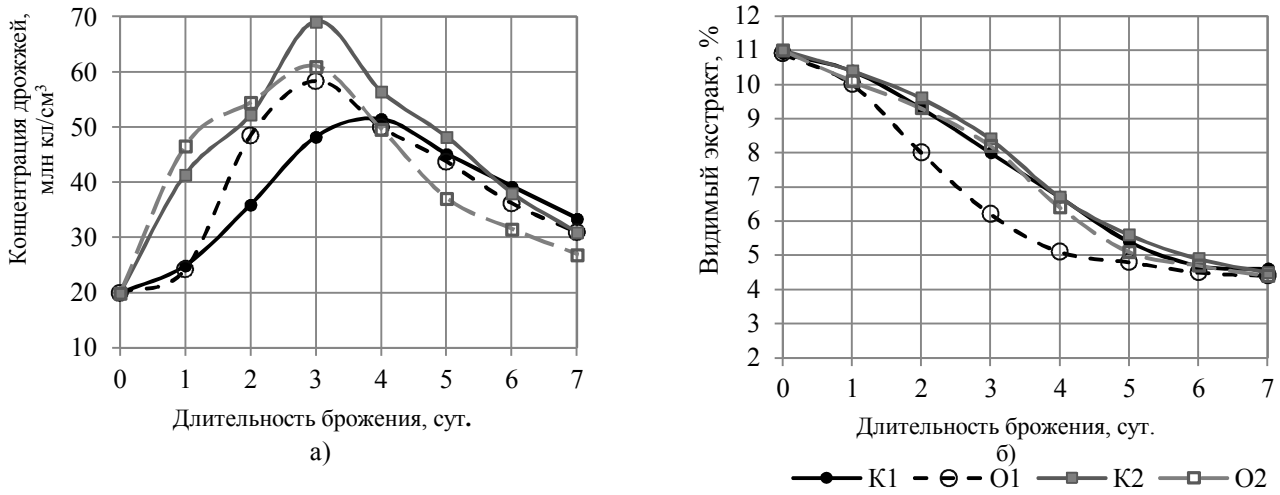


Рис. 2. Размножение дрожжей и интенсивность сбраживания пивного сусла в зависимости от условий обеспечения дрожжей кислородом воздуха (расшифровка обозначений дана в табл. 2)

После окончания брожения молодое пиво направляли на дображивание при температуре 2–3 °С в течение 21 суток. На рис. 3 представлены физико-химические показатели готового пива, полученного в производственных условиях при разных условиях снабжения дрожжей кислородом.

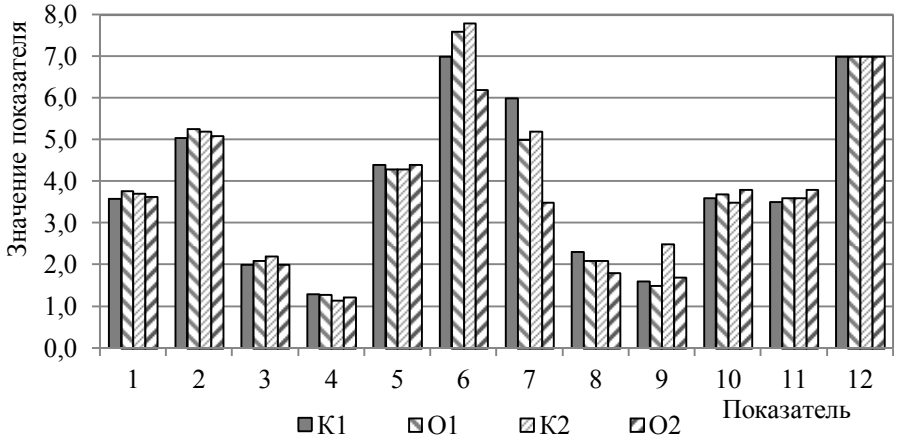


Рис. 3. Показатели качества готового пива, полученного в производственных условиях при разных способах снабжения дрожжей кислородом (расшифровка К1, К2, О1, О2 дана в табл. 2): 1 – спирт, % об.; 2 – действительная степень сбраживания, % ·10; 3 – кислотность, к. ед.; 4 – цвет, ц. ед.; 5 – pH; содержание, мг/100 см^3: 6 – высших спиртов, 7 – диацетила ·10^{-2}, 8 – ацетоина·10^{-1}, 9 – ацетальдегида·10^{-1}; 10 – высота пены, см; 11 – пеностойкость, мин; 12 – стойкость непастеризованного пива, сут.

Пиво опытного образца 1 характеризовалось несколько повышенным содержанием этанола и высших спиртов и меньшей концентрацией диацетила, ацетоина и ацетальдегида по сравнению с контрольным образцом 1. В то же время количество продуктов метаболизма дрожжей во втором опытном варианте значительно ниже, чем в контроле 2, что положительно сказалось на органолептических достоинствах напитка.

Различий в показателе стойкости как в первом, так и во втором вариантах не наблюдалось. По дегустационной оценке опытный образец пива в первом варианте находился на уровне контрольного, а

во втором – несколько превосходил его по вкусо-ароматическим характеристикам.

Таким образом, производственные испытания способа предферментационной аэрообработки дрожжей позволяют говорить о том, что данный прием снабжения культуры кислородом воздуха способствует синтезу стеринов в клетках без ущерба снижения бродильной активности, приводит к более высокой скорости и степени сбраживания среды в процессе ее ферментации в сравнении с использованием сусла и дрожжей, не подвергнутых аэрации. Пиво, полученное с применением активированных до начала брожения дрожжей, содержит меньше отрицательно влияющих на его вкус и аромат продуктов метаболизма, чем напиток, изготовленный из аэрированного сусла.

Различные расы пивных дрожжей отличаются по потребности в кислороде. В ранних работах нами показано, что такие штаммы дрожжей, как 11, 41, 7Г № 126, характеризуются низкой потребностью в кислороде воздуха, 70, 776 – умеренной, 8(а) М, S-Львовская, 44 – высокой [9, 11].

Использование для сбраживания среды рас дрожжей с низкой и умеренной потребностью в кислороде и накапливающих значительное количество стеринов позволяет исключить аэрацию сусла перед введением в него дрожжей, так как в первом случае она нежелательна, а во втором – с точки зрения физиологии дрожжей необязательна.

Представляло интерес исследовать эффективность кратковременной аэрации на стадии подготовки инокулята на качественные показатели дрожжей разных штаммов, имеющих низкую и умеренную потребность в кислороде.

В работе использовали производственные пивные дрожжи штаммов 11 и 776 шестой-седьмой генераций. Аэрообработку семенных дрожжей и процесс сбраживания пивного сусла проводили при тех же параметрах, что были описаны выше. Во всех вариантах (опытных и контрольных) сбраживали сусло с содержанием кислорода 4 мг/дм^3. Данная величина обеспечивалась за счет насыщения среды кислородом воздуха естественным путем.

На основании полученных в динамике брожения кривых размножения дрожжей, изменения массовой доли сухих веществ рассчитывали технологические показатели культуры (рис. 4).

Характеристика отдельных свойств исследуемых рас дрожжей свидетельствует, что предферментационная обработка культуры интенсифицирует процесс сбраживания экстракта сусла и размножение клеток, причем в большей степени эффект активации проявляется для расы 776, обладающей умеренной потребностью в кислороде. Так, например, если время сбраживания 1 % экстракта для этой расы уменьшилось на 29 % по отношению к контролю, то для штамма 11 – на 23 %. Сокращение времени генерации для этих рас дрожжей соответственно равно 27 и 25 %.

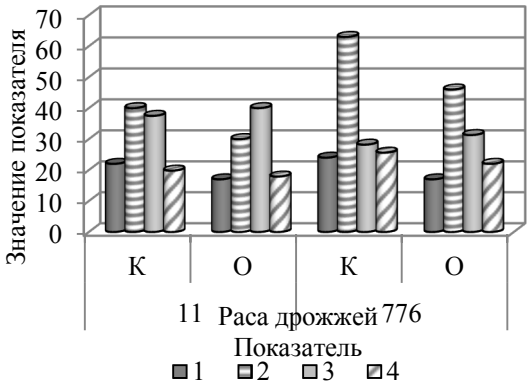


Рис. 4. Влияние аэрообработки различных рас дрожжей на технологические характеристики культуры:
1 – время сбраживания 1 % экстракта, ч;
2 – время генерации, ч;
3 – выход клеток, млн кл/см^3;
4 – точка флокуляции, %

Использование обработанных дрожжей приводит к увеличению выхода клеток (на 7–11 %) и снижению точки флокуляции, которое для штамма 11 составляет 10 %, а для штамма 776 – 14 %. Последний показатель является важной технологической характеристикой дрожжей, так как от него зависит полнота сбраживания экстракта сусла, редукция диацетила и биологическая стойкость готового пива [1–4].

Экспериментальные данные позволяют говорить об использовании аэрообработки дрожжей на стадии подготовки инокулята как одного из способов активации их жизнедеятельности, эффективность действия которого возрастает по мере увеличения потребности дрожжевой культуры в кислороде.

Известно, что у культуры дрожжей, растущей в анаэробных условиях, уже через 4–6 клеточных генераций развивается потребность в молекулярном кислороде [1, 4, 8]. Представляло интерес выяснить число циклов брожения, в течение которых у дрожжей, подвергнутых предферментационной аэрообработке, сохраняется пониженная потребность в кислороде.

На данном этапе исследования применяли дрожжи расы 8(а) М шестой генерации. Этот штамм характеризуется высокой потребностью в кислороде в отличие от расы 11 и 776.

Сбраживание 11%-го сусла в первом цикле осуществляли исходной культурой клеток без аэрации (контроль) и обработанной кислородом воздуха дрожжевой суспензией (опыт). По окончании процесса ферментации снятые дрожжи сразу же вводили в следующий цикл брожения. При этом дрожжи опытного образца повторной аэрообработке не подвергали. Сусло контрольного и опытного вариантов воздухом не насыщали (концентрация кислорода, растворенного естественным путем, составляла 4 мг/дм^3).

На рис. 5 представлены отдельные показатели, характеризующие протекание процесса брожения: максимальное значение концентрации клеток во

взвешенном состоянии (на 3-и сутки), массовая доля сухих веществ и объемная доля спирта, достигнутые к окончанию ферментации (7-е сутки).

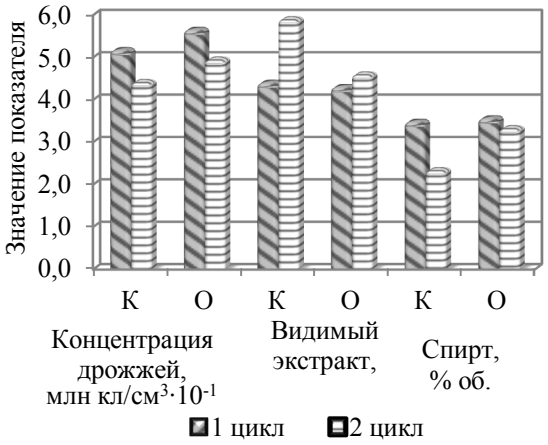


Рис. 5. Влияние многократности использования дрожжей на отдельные показатели процесса брожения

Как видно из полученных данных, в первом цикле брожения предферментационная обработка инокулята обеспечивает более интенсивное размножение клеток, сбраживание экстрактивных веществ среды и накопление спирта по сравнению с контролем, что может быть свидетельством снижения потребности дрожжей в кислороде.

Повторное брожение с использованием дрожжей контрольного образца характеризуется меньшим приростом биомассы (на 36 %) в сравнении с первым циклом, существенным снижением скорости сбраживания сухих веществ и образования этилового спирта.

В опытном образце значения исследуемых показателей ниже, чем в первом цикле, но все же они остаются на более высоком уровне, чем в контроле при повторном брожении. И хотя интенсификации обменных процессов в опытном варианте уже не происходит, можно сказать, что эти дрожжи еще сохраняют низкую потребность в кислороде, чего нельзя отметить в контрольном образце.

Таким образом, эффект снижения потребности в кислороде, полученный на стадии предферментационной обработки, сохраняется у дрожжей в течение двух циклов брожения.

Потребность дрожжей в кислороде, а следовательно, создание условий для синтеза стеринов и ненасыщенных жирных кислот в клетках культуры можно обеспечить не только аэрацией сусла или инокулята. Другим путем решения этой проблемы является увеличение количества в среде культивирования непосредственно самих факторов анаэробного роста [5, 9, 12, 13], что особенно важно при замене солода несоложеным сырьем в больших количествах. Одним из таких приемов может служить применение дрожжевых автолизатов.

Данные препараты получают плазмолизом дрожжей с дальнейшим распадом белков протоплазмы под действием собственных ферментов клетки или специально вводимых ферментных препаратов. Автолизаты характеризуются широким комплексом биологически активных веществ, синтезированных самой клеткой в процессе роста. Однако необходимо отметить, что в случае использования автолизатов дрожжей происходит оптимизация состава среды культивирования в большей степени по различным группам азотистых веществ и значительно меньше – по липидным составляющим. Это не в полной мере обеспечивает нормальный уровень размножения дрожжей, необходимую степень сбраживания пива в условиях низкой концентрации кислорода в среде ферментации.

Существует множество способов получения автолизатов из микробной биомассы: в присутствии хлорида натрия, суперфосфата, молочнокислых бактерий и т.д. [12].

Нами предложен способ обогащения пивного сусла факторами анаэробного роста дрожжей, интенсификации главного брожения, повышения качества готового пива путем использования специально подготовленного дрожжевого автолизата.

Автолизат готовили следующим образом: избыточные пивные дрожжи разбавляли водой в соотношении 1:1, подвергали продувке сжатым воздухом 20–40 мин при температуре 2 °С, выдерживали дрожжевую суспензию при 50 °С в течение 24 ч и затем стерилизовали под давлением 0,1 МПа в течение 30 мин. Готовый препарат вводили в охлажденное охмеленное сусло в количестве 2–6 % к объему среды. Параметры обработки и норма внесения автолизата являются оптимальными и были определены в ранее проведенных исследованиях.

Аэрация дрожжей, идущих на приготовление автолизата, необходима для синтеза в клетках стеринов и ненасыщенных жирных кислот. Последующее внесение в сусло автолизата, полученного из таких дрожжей, обогащает его необходимыми липидными компонентами, что способствует нормальной жизнедеятельности дрожжей в среде с низким содержанием кислорода.

Таблица 3

Варианты сбраживания сусла с использованием различных автолизатов дрожжей

Вариант	Аэрация дрожжей при получении автолизата	Доза внесения автолизата, % к объему среды	Аэрация сусла перед введением дрожжей
Контроль	-	-	Без аэрации
Опыт 1	20 мин	6	Без аэрации
Опыт 2	40 мин	2	Без аэрации
Опыт 3	30 мин	4	Без аэрации
Опыт 4	Без аэрации	4	Без аэрации
Опыт 5	-	-	С аэрацией

Был изучен процесс брожения пивного сусла с внесением автолизата, приготовленного разными способами – с использованием аэрации дрожжей и без нее. Сбраживание сусла экстрактивностью 11 % осуществляли дрожжами расы 8(а) М при температуре 8–9 °С. Для получения автолизата были взяты дрожжи этого же штамма.

Варианты сравниваемых образцов приведены в табл. 3, показатели сусла и полученного готового пива – соответственно на рис. 6 и 7.

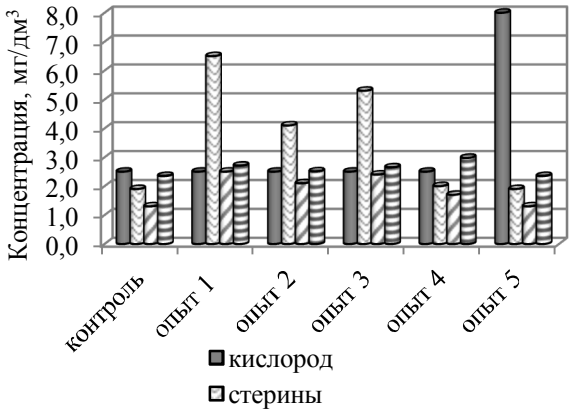
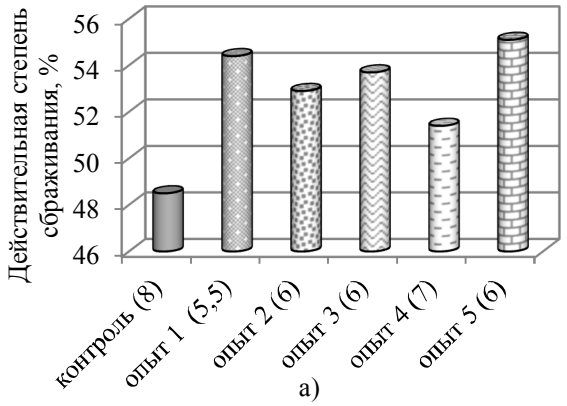


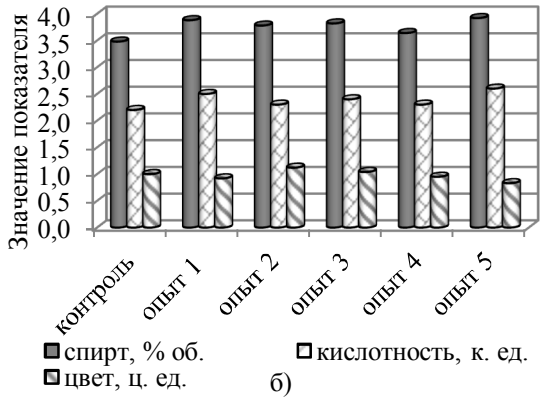
Рис. 6. Концентрация кислорода, стеринов, ненасыщенных жирных кислот (ННЖК) и аминного азота в сусле, полученном с добавлением или без внесения автолизата

Из представленных результатов видно (рис. 6), что внесение в сусло автолизата, полученного из дрожжей, предварительно подвергнутых продувке воздухом (опыт 1 – опыт 3), обеспечивает в сусле больший уровень необходимых дрожжам липидных компонентов (стеринов в 1,2–2,4 раза, ненасыщенных жирных кислот на 61–92 % по отношению к контролю), а также азота аминокислот (на 7–15 %). Это, в свою очередь, способствует лучшему размножению дрожжей, что приводит к ускорению процесса главного брожения на 1,0–1,5 суток и достижению нужной степени сбраживания экстрактивных веществ сусла (рис. 7, а) без ухудшения качества готового напитка (рис. 7, б, в).

Пиво опытных образцов 2, 4, 5 и контрольного варианта характеризовалось устойчивостью к образованию коллоидных помутнений в течение 7 суток, в то время как готовый напиток 1 и 3 имел значение этого показателя 8 суток. Все опытное пиво в зависимости от варианта отличалось от контрольного повышенным пенообразованием (на 3–7 мм) и пеностойкостью (на 2–9 мин).

При производстве пивного сусла с внесением автолизата, полученного из дрожжевой суспензии, предварительно подвергнутой аэрации в течение менее 20 мин, и введенного в количестве менее 2 % к объему среды, не происходило сокращения длительности главного брожения.





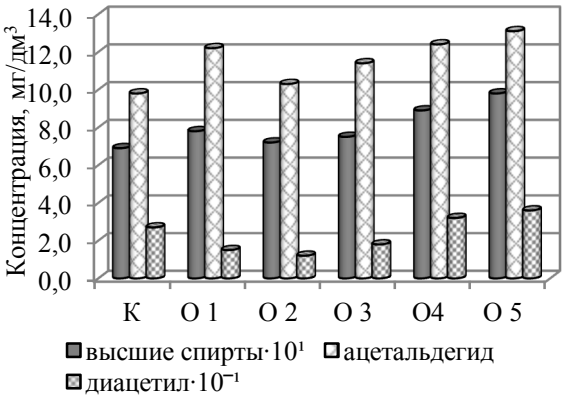


Рис. 7. Величина: а – действительной степени сбраживания (в скобках – фактическое время брожения, сут.); б – отдельные показатели качества готового пива; в – содержание летучих продуктов в напитке

В том случае, когда автолизат готовился из дрожжей, обработанных воздухом более 60 мин, и вносился в сусло в количестве более 6% к его объему наблюдалось ухудшение качества готового напитка.

Таким образом, из результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Обеспечение дрожжевой культуры кислородом воздуха на стадии подготовки инокулята позволяет исключить аэрацию сусла или использовать только тот уровень растворенного кислорода, который достигается за счет естественного насыщения воздухом. В этом случае интенсификация обменных процессов дрожжей идет без ухудшения качества готового пива. Эффективность применения подобной обработки дрожжей сохраняется в течение двух генераций и возрастает при использовании рас с высокой потребностью в кислороде. Альтернативой аэрации может служить способ обогащения среды ферментации факторами анаэробного роста культуры за счет введения автолизата, изготовленного из дрожжевой биомассы, предварительно подвергнутой продувке воздухом.

Список литературы

1. Жвирблянская, А.Ю. Дрожжи в пивоварении / А.Ю. Жвирблянская, В.С. Исаева. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 246 с.
2. Нарцисс, Л. Краткий курс пивоварения / Л. Нарцисс. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.
3. Кунце, В. Технология солода и пива / В. Кунце. – СПб.: Профессия, 2009. – 1064 с.
4. Аннемюллер, Г. Дрожжи в пивоварении / Г. Аннемюллер, Г.-Й. Мангер, П. Литц. – СПб.: Профессия, 2015. – 428 с.
5. Гальцова, Р.Д. Стеринообразование у дрожжевых организмов / Р.Д. Гальцова. – М.: Наука, 1980. – 224 с.
6. О'Рурк, Т. Роль кислорода в пивоварении / Т. О'Рурк // Пиво и напитки. – 2003. – № 2. – С. 24–26.
7. Nielson, O. Control of the Yeast Propagation Process – how to optimize oxygen supply and linimize stress / O. Nielson // Tech. Quart. Master Brewers Assoc. Americas. – 2006. – № 42. – P. 128–132.
8. Briggs, D.E. Brewing Science and Practice / D.E. Briggs, C.A. Boulton, P.A. Brookes, R. Stevens. – Cambridge: Woodhead, 2004.
9. Лисюк, Г.М. Совершенствование технологии и повышение качества пива на основе регуляции метаболизма дрожжей: автореф. дис. … д-ра техн. наук. – М.: МТИПП, 1989. – 49 с.
10. Хоконова, М.Б. Оптимальные параметры аэрации сусла при производстве безалкогольного пива / М.Б. Хоконова, М.А. Устова, А.С. Карашаева // Пиво и напитки. – 2014. – № 1. – С. 26–27.
11. Пермякова, Л.В. Разработка способа подготовки засевных дрожжей с целью интенсификации процессов приготовления пива: автореф. дис. … канд. техн. наук. – М.: МТИПП, 1987. – 24 с.
12. Новаковская, С.С. Производство хлебопекарных дрожжей: справочник / С.С. Новаковская, Ю.И. Шишацкий. – М.: Агропромиздат, 1990. – 335 с.
13. Применение новых видов пищевых подкормок для дрожжей в производстве пива / Л.В. Пермякова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 2. – С. 46–52.
14. Ермолаева, Г.А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия / Г.А. Ермолаева. – СПб.: Профессия, 2004. – 536 с.

INVESTIGATION OF DIFFERENT WAYS OF REDUCING THE OXYGEN REQUIREMENT OF YEAST

L.V. Permyakova

Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

e-mail: delf-5@yandex.ru

Received: 22.05.2015
Accepted: 30.06.2015

Oxygen is an important component of the yeast cultivation medium and it is necessary for the synthesis of sterols and unsaturated fatty acids that make up the membrane. The shortage of these lipid compounds or oxygen in the medium leads to culture degeneration. The provision of yeast culture with atmospheric oxygen can be achieved by aeration of the wort or the inoculum before their introduction into the fermentation medium. The article deals with various ways of providing brewers' yeast with oxygen and reducing the need of the culture for anaerobic growth factors. It is shown that the inoculum pre-fermentation treatment in green (new) beer (1: 2) by brief aeration (30-40 min) followed by storing without air access for 2-4 hours enables yeast to synthesize a sufficient amount of sterols and, at the same time, to maintain high fermentation activity. It has a positive effect on the biomass reproduction and extracts decrease. The use of the yeast aeration has significant advantages over the wort aeration, since it enables to obtain beer with better organoleptic properties alongside with power reduction (approximately 60 times). These data have been confirmed at one of the breweries in the Kemerovo region. The effect of reducing the oxygen requirement of the yeast culture is maintained during two generations and increases when using strains with high requirement for this component. It is possible to reduce the oxygen requirement of microbial cells due to the enrichment of the fermentation medium with sterols and unsaturated fatty acids by introducing a specially prepared yeast autolysate. The peculiarity of its production is the preaeration of the yeast suspension with compressed air followed by autolysis. This contributes to the increase of anaerobic growth factors in the cell biomass.

Brewers' yeast, oxygen requirement, aeration, sterols, fermentative activity, fermentation, autolysate, reuse, the quality of beer

References

1. Zhvirblianskaia A.Yu., Isaeva V.S. *Drozhzhi v pivovarenii* [Yeast in brewing]. Moscow, Food Industry, 1979. 246 p.
2. Nartsiss L. *Kratkij kurs pivovarenija* [A short course of brewing]. St. Petersburg, Professija Publ., 2007. 640 p.
3. Kunce V. *Tehnologija soloda i piva* [Technology malt and beer]. St. Petersburg, Professija Publ., 2009. 1064 p.
4. Annemiuller G., Manger G.-I., Litts P. *Drozhzhi v pivovarenii* [Yeast in brewing]. St. Petersburg, Professija Publ., 2015. 428 p.
5. Gal'tsova R.D. *Sterinoobrazovanie u drozhzhevykh organizmov* [Formation of sterols in yeast]. Moscow, Science Publ., 1980. 224 p.
6. O'Rurk T. Rol' kisloroda v pivovarenii [The role of oxygen in brewing]. *Pivo i napitki* [Beer and drinks], 2003, no. 2, pp. 24-26.
7. Nielson O. Control of the Yeast Propagation Process – how to optimize oxygen supply and linimize stress. *Tech. Quart. Master Brewers Assoc. Americas*, 2006, 42. pp. 128-132.
8. Briggs D.E., Boulton C.A., Brookes P.A., Stevens R. *Brewing Science and Practice.* Cambridge, Woodhead, 2004.
9. Lisjuk G.M. *Sovershenstvovanie tekhnologii i povyshenie kachestva piva na osnove reguliatsii metabolizma drozhzhei*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Improvement of technology and improving the quality of beer on the basis of metabolic regulation of yeast. Dr. tech. sci. autoabstract diss.]. Moscow, 1989. 49 p.
10. Khokonova M.B., Ustova M.A., Karashaeva A.S. Optimal'nye parametry aeratsii susla pri proizvodstve bezalkogol'nogo piva [Optimal parameters of aeration of the wort in the production of non-alcoholic beer]. *Pivo i napitki* [Beer and drinks], 2014, no. 1, pp. 26-27.
11. Permyakova L.V. *Razrabotka sposoba podgotovki zasevnykh drozhzhei s tsel'iu intensifikatsii protsessov prigotovleniia piva.* Avtoref. diss. кand. tekhn. nauk [Method for preparing yeast seeds in order to intensify the processes of brewing. Cand. tech. sci. autoabstract diss.]. Moscow, 1987. 24 p.
12. Novakovskaja S.S., Shishackij Yu.I. *Proizvodstvo khlebopekarnykh drozhzhei*: *spravochnik* [Production of Baker's yeast: a handbook]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 335 p.
13. Permyakova L.V., Pomozova V.A., Pavlov A.A., Khorunzhina S.I. Primenenie novyh vidov pishhevyh podkormok dlja drozhzhej v proizvodstve piva [Application of new types of food supplements for yeast in beer production]. *Tekhnika i tekhnologiia pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2013, vol. 29, no. 2, pp. 46–52.
14. Ermolaeva G.A. *Spravochnik rabotnika laboratorii pivovarennogo predprijatija* [Employee Handbook lab brewing company]. St. Petersburg, Professija Publ., 2004. 536 p.

Дополнительная информация / Additional Information

Пермякова, Л.В. Исследование различных способов снижения потребности дрожжей в кислороде / Л.В. Пермякова // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38. – № 3. – С. 41-49.

Permyakova L.V. Investigation of different ways of reducing the oxygen requirement of yeast. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2015, vol. 38, no. 3, pp. 41-49 (In Russ.).

Пермякова Лариса Викторовна
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии бродильных производств и консервирования, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-55, e-mail: delf-5@yandex.ru

Larisa V. Permyakova
Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation Production and Conservation, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-55, e-mail: delf-5@yandex.ru