

УДК 663.1

ПОЛУЧЕНИЕ ПИЩЕВОГО УКСУСА ИЗ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ПИВОВАРЕННОЙ ОТРАСЛИ

О.С. Егорова, Д.Р. Летфуллина

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова, РАН, Москва, Россия

Пивоварение – одна из активно развивающихся отраслей пищевой промышленности России. В последние годы наиболее быстрорастущим был сегмент безалкогольного пива, рост объемов производства этого напитка в 2018 г. составил 36,6 % [1]. На сегодняшний день безалкогольное пиво производят тремя методами: остановленное брожение, деалкоголизация и диализ. Наиболее эффективным методом является мембранная фильтрация (диализ), в результате которого образуется диализат, содержащий этиловый спирт. Таким образом, производители безалкогольного пива сталкиваются с проблемой рационального использования и учета спирта образующегося при производстве диализата.

Одним из наиболее эффективных способов его применения является производство пищевого уксуса. По способу производства различают: столовый уксус, вырабатываемый путем разбавления синтетической уксусной кислоты водой; биохимический уксус, получаемый в результате окисления спирта уксуснокислыми бактериями в уксусную кислоту, а также винный и фруктовый [2–6].

При производстве пищевого уксуса биохимическим методом используют два способа культивирования уксуснокислых бактерий: циркуляционный (поверхностный) и глубинный. В зависимости от производственных мощностей предприятия может применяться как циркуляционный, так и глубинный способ производства. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки.

Целью настоящей работы был выбор оптимальных параметров процесса окисления спирта в диализате. В качестве объектов исследований использовали образцы пивных диализатов, сконцентрированных до объемных долей спирта 5,0 и 8,0 %.

Уксуснокислородное брожение проводили глубинным способом, для проведения которого использовали штамм микроорганизмов *Acetobacter acetii* ВНИИПБТ-66. Культивирование проводили методом постепенного накопления биомассы и повышения физиологической активности бактерий путем последовательного пересева на питательные среды. Для культивирования штамма использовали жидкую среду следующего состава: спирт этиловый ректификованный – 7,0 % об.; уксусная кислота (ледяная) – 0,7 %; $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ 0,5 %; $\text{KH}_2 \text{PO}_4$ – 0,2 %; MgSO_4 0,2 %.

Известно, что оптимальная температура для работы уксуснокислых бактерий составляет 30 ± 2 °С. Требуемую температуру в окислителе поддерживали путем подачи воды в рубашку.

Для изучения влияния режимов аэрации на функциональную активность уксуснокислых бактерий при получении уксуса из пивных диализатов проводили опыт, в котором в качестве исходной среды использовали концентрат диализата с объемной долей этилового спирта 8,0 %.

Определяли влияние режимов аэрации на функциональную активность уксуснокислых бактерий. Опыт проводили в вертикальных стеклянных резервуарах с рубашкой вместимостью 1,5 дм³ (колонки). Воздух в резервуар непрерывно подавали микрокомпрессором снизу-вверх через мелкопористую керамическую насадку. Ежедневно отбирали пробы культуральной жидкости с целью определения в ней массовой концентрации органических кислот и объемную долю остаточного спирта. Процесс окисления проводили до объемной доли остаточного спирта 0,15–0,3 %.

С целью уточнения оптимального количества воздуха, необходимого в процессе уксуснокислого брожения, его расход меняли от 2 до 5 дм³/ч на 1 дм³ культуральной жидкости. Наибольшее количество уксусной кислоты образовывалось при расходе воздуха от 3 до 5 дм³/ч. Продолжительность цикла окисления при этом составила 5–6 сут, в то время как при расходе 2 дм³/ч технологический цикл увеличивался до 8 сут.

Так как при увеличении расхода воздуха с 3 до 5 дм³/ч накопление уксусной кислоты практически не увеличивается, за оптимальный вариант выбран расход 3 дм³/ч на 1 дм³ среды.

Следующим этапом работы было определение оптимальной стартовой концентрации уксусной кислоты.

Из практики приготовления спиртового уксуса биохимическим способом известно, что стартовая концентрация уксусной кислоты в культуральной жидкости, при которой происходит процесс окисления спирта уксуснокислыми бактериями, влияет на выход готового продукта и его качество. При определении влияния стартовой концентрации уксусной кислоты на функциональную активность уксуснокислых бактерий окисление диализата проводили при различных стартовых концентрациях уксусной кислоты от 4,5 до 7,0 г / 100 см³. При этом сумма стартовых концентраций и объемной доли этилового спирта составляла 8,0 %. Результаты накопления уксусной кислоты в процессе окисления этилового спирта при различной стартовой концентрации уксусной кислоты приведены на рис. 1.

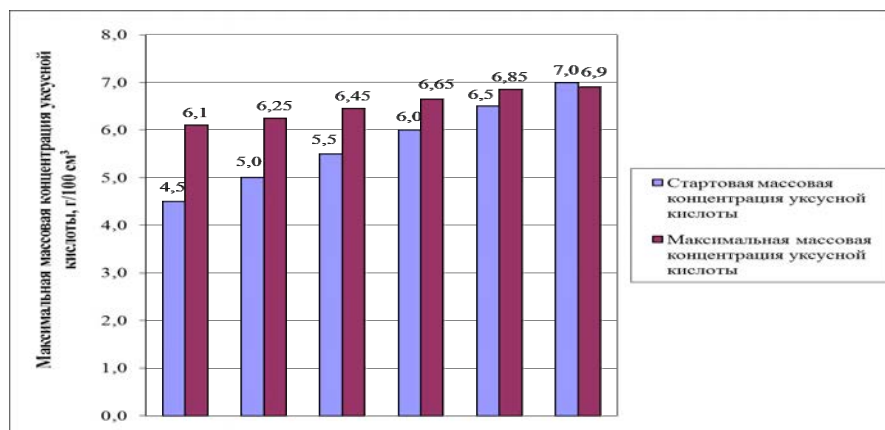


Рисунок 1 – Накопление уксусной кислоты в процессе окисления этилового спирта при различной стартовой концентрации уксусной кислоты

Как видно, максимальная продуцирующая способность уксуснокислых бактерий (выход уксусной кислоты 86 %) наблюдается при стартовой концентрации уксусной кислоты 6,5–7,0 г / 100 см³, обуславливающей фазу развития продуцента, которая характеризуется ограниченным ростом новых клеток и высокой окисляющей способностью культуры. При стартовой концентрации ниже 5,5 г / 100 см³ выход уксусной кислоты значительно уменьшается (79 %), так как создаются условия для роста биомассы уксуснокислых бактерий.

Дальнейшие исследования проводили при стартовой концентрации уксусной кислоты 6,5 г / 100 см³. Процесс окисления проводили при расходе воздуха 3 дм³/ч на 1 дм³ среды.

В настоящее время при промышленном производстве спиртового уксуса в качестве материала-носителя для иммобилизации *Acetobacter aceti*, как правило, используют буковую стружку. Длительное использование стружки приводит к загрязнению самого уксуса взвешями, образующимися от разбухшей стружки, что ведет к увеличению стоимости очистки готового продукта. На древесной насадке за счет особенностей ее строения более интенсивно протекают процессы слизееобразования и формирование застойных зон, что приводит к снижению производительности установки из-за перезарядки аппарата. Для конкурентоспособности уксуса на рынке необходимо снизить его себестоимость за счет использования более технологичного носителя. В настоящей работе для получения пищевого уксуса из пивных диализатов с использованием иммобилизации уксуснокислых бактерий, в качестве бионосителей были выбраны цеолит NaX и полиэтилен высокого давления марки 15803–020 ГОСТ 16337–77, разрешенный для использования в пищевой промышленности. В качестве контроля использовали древесную буковую стружку.

При получении уксуса из пивного диализата определяли массовую концентрацию уксусной кислоты, объемную долю остаточного спирта (рис. 2).

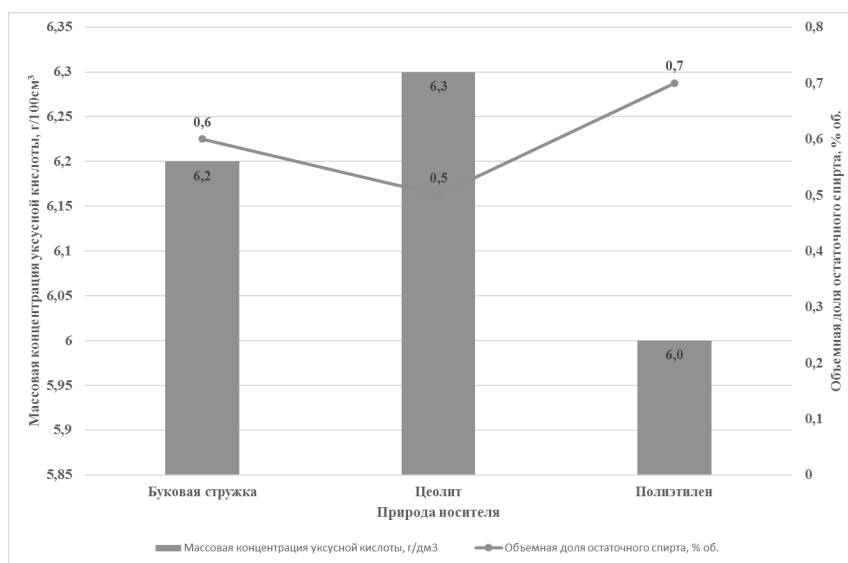


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма массовой концентрации уксусной кислоты и объемной доли остаточного спирта в зависимости от носителя при получении уксуса из пивного диализата поверхностным способом.

При оптимальных условиях культивирования наибольшее количество уксусной кислоты образовалось в среде с цеолитом и составило 6,3 г/100 см³, при этом объемная доля остаточного этилового спирта была минимальной и составила 0,5 %.

Цеолит за счет множества каналов способен регулировать состав газовой среды в жидкости (количество растворенного кислорода и углекислого газа). Это является важным фактором для жизнедеятельности уксуснокислых бактерий и оказало положительное влияние на процесс получения уксуса в данных условиях культивирования.

В полученном уксусе определяли качественный и количественный состав летучих компонентов, органических кислот и аминокислот. Результаты определения летучих соединений в пивных диализатах и уксусе, полученном из них, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Массовая концентрация летучих компонентов в пивных диализатах с различной объемной долей этилового спирта и в уксусах, полученных из них.

Летучие компоненты	Массовая концентрация, мг/дм ³			
	Диализаты с объемной долей спирта, %		Уксус из пивного диализата с объемной долей спирта, %	
	5,0	8,0	5,0	8,0
Этилацетат	4,1	10,5	1,2	1,2
Метанол	0,4	0,8	Не обн.	0,5
1-пропанол	9,8	17,4	3,4	12,8
Изобутанол	13,2	23,7	10,5	19,2
Изоамилацетат	0,2	0,6	Не обн.	Не обн.
1-бутанол	0,4	0,7	0,2	0,5
Изоамилол	50,1	88,4	21,0	69,4
Гексанол	0,05	0,07	Не обн.	Не обн.
Этиллактат	0,2	0,3	0,5	1,0
Этилкаприлат	Не обн.	Не обн.	0,2	0,8
Фенилэтиловый спирт	20,3	21,3	28,2	32,4
Сумма	98,7	163,8	65,2	137,9

Таблица 2 – Массовая концентрация аминокислот в пивных диализатах с различной объемной долей этилового спирта и в уксусах, полученных из них, мг/дм³

Кислота	Диализаты с объемной долей спирта, %		Уксус из пивного диализата с объемной долей спирта, %	
	5,0	8,0	5,0	8,0
Аспарагиновая кислота	0,4	0,5	0,9	1,2
Глутаминовая кислота	0,5	0,5	0,6	0,8
Аспарагин	7,4	7,1	7,4	7,5
Гистидин	0,6	0,5	0,3	0,4
Серин	2,0	0,7	2,8	1,3
Глютамин	6,9	1,9	7,5	2,5
Аргинин	0,4	0,1	1,1	0,3
Глицин	1,1	1,0	6,4	6,6
Треонин	4,4	4,2	6,1	5,8
Аланин	15,3	12,7	42,8	38
Тирозин	0,6	0,5	1,3	1,2
Валин	1,9	1,5	5,7	4,5
Метионин	5,4	1,8	7,1	3,6
Триптофан	0,6	0,4	1,1	0,8
Изолейцин	2,2	1,4	4,1	3,4
Фенилаланин	0,6	0,5	2,4	2,5
Лейцин	2,3	1,2	3,2	2,4
Лизин	0,5	0,4	0,8	0,7
Сумма	53,4	36,9	101,6	83,5

Как видно, в наибольшем количестве в пивных диализатах содержатся высшие спирты: изоамилол, изобутанол, 1-пропанол. Содержание летучих компонентов в уксусе из пивного диализата с объемной долей спирта 8,0 % в 2 раза выше, чем из диализата с объемной долей спирта 5,0 %. В опытных образцах уксуса этот показатель несколько снизился по сравнению с диализатами. При этом возросло содержание фенилэтилового спирта, эфиров этиллактата, этилкаприлата и этилкапрата, обуславливающих специфичность продукта.

Исследования количественного и качественного состава органических кислот показали, что органические кислоты содержатся в незначительных количествах и представлены яблочной, молочной и янтарной кислотами. Суммарная массовая концентрация органических кислот в диализатах,

сконцентрированных до объемной доли спирта 5,0 % и 8,0 %, невысока и составляет 1,0 и 0,4 г/дм³ соответственно. В образцах полученного уксуса, кроме уксусной кислоты, другие органические кислоты содержатся в незначительных количествах.

При исследовании количественного и качественного состава аминокислот в пивных диализатах было идентифицировано 18 аминокислот (табл. 2).

Суммарная массовая концентрация аминокислот в диализатах невысока и в сумме составляет 36,9–53,4 г/дм³. Уксуснокислые бактерии интенсивно синтезируют аспарагиновую кислоту, серин, глицин, треонин, аланин, валин, триптофан, изолейцин, а также циклические ароматические аминокислоты тирозин и фенилаланин, участвующие в сложении специфического аромата. Как видно, сумма аминокислот в обоих образцах уксуса выше, чем в исходных диализатах почти в 2 раза в уксусе из диализата с объемной долей спирта 8,0 % и более чем в 2 раза из диализата с объемной долей спирта 5,0 %.

В результате проведенного органолептического анализа установлено, что уксус, полученный из сконцентрированных пивных диализатов, обладает характерными специфическими органолептическими свойствами, с легким пивным ароматом в сочетании с хлебными тонами.

В результате проведенных исследований установлено:

- оптимальный расход воздуха в процессе уксуснокислого брожения пивного диализата, сконцентрированного до объемной доли этилового спирта 8,0 %, составляет 3 дм³/час на 1 дм³ среды.

- стартовая концентрация уксусной кислоты влияет на функциональную активность уксуснокислых бактерий при получении уксуса из пивных диализатов. Максимальная продуцирующая способность уксуснокислых бактерий наблюдается при стартовой концентрации уксусной кислоты 6,5 г / 100 см³, обуславливающей фазу развития продуцента, которая характеризуется ограниченным ростом новых клеток и высокой окисляющей способностью культуры. При стартовой концентрации ниже 5,5 г / 100 см³, выход уксусной кислоты значительно уменьшается, так как создаются условия для роста биомассы уксуснокислых бактерий;

- в процессе уксусной ферментации пивных диализатов происходит активное накопление аминокислот, сумма аминокислот в образцах уксуса выше, чем в исходных диализатах;

- в процессе уксусной ферментации пивных диализатов происходит накопление β-фенилэтилового спирта, синтез эфиров этиллактата и этилкаприлата, обуславливающих органолептические свойства продукта;

- использование цеолита NaX в качестве материала-носителя для иммобилизации *Acetobacter aceti* в оптимальных условиях культивирования способствует максимальному выходу уксусной кислоты, при этом объемная доля остаточного этилового спирта остается минимальной.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пивоваренная отрасль России: итоги 2018, перспективы 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.beerunion.ru/doc/Presentation-SRP.pdf>

2 Галкина, Г.В. Получение пищевого уксуса с использованием спиртосодержащих отходов и вторичных ресурсов / Г.В. Галкина, В.И. Илларионова, Е.В. Куксова, Г.С. Волкова, Е.В. Горбатова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2006. – № 4. – С. 34–35.

3 Волкова, Г.С. Ресурсосберегающая технология производства уксуса с использованием вторичных ресурсов спиртового производства / Г.С. Волкова, Е.В. Куксова // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2011. – № 1. – С. 16–19.

4 Поляков, В.А. Технология производства пищевого уксуса и товаров бытовой химии из вторичных ресурсов и отходов спиртового производства / В.А. Поляков, Г.В. Галкина, Г.С. Волкова, В.И. Илларионова, Е.В. Куксова // Международная научно-практическая конференция «Биотехнология. Вода и пищевые продукты» в рамках Московского международного конгресса «Биотехнология: Состояние и перспективы развития». – Москва, 2008. – С. 269.

5 Волкова, Г.С. Технология производства спиртового уксуса и молочной кислоты на основе переработки вторичных сырьевых ресурсов / Г.С. Волкова, Е.Н. Данилкина, Е.А. Федосеева, Е.Е. Широбокова // Сборник Материалов V Международной научно-практической конференции «Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты». – Краснодар, 2015. – С. 111–115.

6 Коршик, Т.С. Разработка и товароведная характеристика новых видов уксусов и бальзамов с использованием адаптационных добавок: автореф. дис... канд. техн. наук / Т.С. Коршик; Орл. гос. техн. ун-т. – Орел, 2007. – 24 с.