

Подбор оптимального состава затора из местного сырья для культивирования уксуснокислых бактерий в процессе производства яблочного уксуса

Светлана В. Жуковская	1	zhu2165@yandex.ru	 0000-0002-2324-6340
Мария В. Бабаева	1	m-babaeva@mail.ru	 0000-0003-2258-3828
Анастасия Е. Агафوشкина	1	agafoshkina.nastya@mail.ru	 0009-0003-2172-7137
Дмитрий А. Воробьев	1	dmitwor@mail.ru	 0000-0002-6160-6351
Софья И. Сахарова	1	tzekur@gmail.com	 0009-0007-8383-5618
Алексей Н. Яковлев	2	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

1 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

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

Аннотация. В соответствии с Государственной программой «Здоровое питание-здоровье нации», приоритетным направлением рассматриваемой области считается расширение ассортимента натуральных продуктов для потребителей, следящих за своим здоровьем. Яблочный уксус является одним из наиболее ценных продуктов, вырабатываемых из яблочного сока. В литературе представлены, в основном данные, касающиеся технологии производства уксуса и почти не затронуты вопросы, касающиеся отработки технологических параметров процесса. Цель работы – изучение влияния различных веществ на процесс уксуснокислой ферментации. В качестве сырья были использованы промышленные образцы яблочных материалов из сырья Центрального региона России. В ходе исследований использовали общепринятые физико-химические методы в энохимии. Статья посвящена комплексному исследованию влияния фенольных веществ, углеводов яблочного сока, лимонной кислоты, лимонной кислоты и двузамещенного фосфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, лимонной кислоты и однозамещенного фосфата калия (KH_2PO_4) , лимонной кислоты и сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ на процесс уксуснокислой ферментации. В ходе исследования было установлено: увеличение фенольных веществ приводит к ингибированию процесса окисления; на выход уксусной кислоты влияет увеличение дозы вносимой лимонной кислоты с $0,25 \text{ г/дм}^3$ до 1 г/дм^3 , как отдельно, так и совместно с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дозировке $0,46 \text{ г/дм}^3$; добавление однозамещенного фосфорнокислого калия заметного положительного влияния на процесс биохимического окисления не оказывает; в качестве углеводного питания рекомендуется добавление 5% свежего яблочного сока. На основании проведенных исследований может быть разработана технологическая схема производства уксуса с предложенными нами технологическими параметрами процесса.

Ключевые слова: яблочный уксус, уксуснокислая ферментация, технологические параметры, яблочный сок, физико-химические показатели.

Selection of the optimal composition of mash from local raw materials for the cultivation of acetic acid bacteria in the production of apple cider vinegar

Svetlana V. Zhukovskaya	1	zhu2165@yandex.ru	 0000-0002-2324-6340
Maria V. Babaeva	1	m-babaeva@mail.ru	 0000-0003-2258-3828
Anastasia E. Agafoshkina	1	agafoshkina.nastya@mail.ru	 0009-0003-2172-7137
Dmitry A. Vorobjov	1	dmitwor@mail.ru	 0000-0002-6160-6351
Sofia I. Sakharova	1	tzekur@gmail.com	 0009-0007-8383-5618
Aleksey N. Yakovlev	2	vip.alex2702@mail.ru	 0000-0002-3246-6628

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University) 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Для цитирования

Жуковская С.В., Бабаева М.В., Агафوشкина А.Е., Воробьев Д.А., Сахарова С.И., Яковлев А.Н. Подбор оптимального состава затора из местного сырья для культивирования уксуснокислых бактерий в процессе производства яблочного уксуса // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 117–125. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-117-125

For citation

Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Agafoshkina A.E., Vorobjov D.A., Sakharova S.I., Yakovlev A.N. Selection of the optimal composition of mash from local raw materials for the cultivation of acetic acid bacteria in the production of apple cider vinegar. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 117–125. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-117-125

Abstract. In accordance with the State Program "Healthy Nutrition-Health of the Nation", the expansion of the range of natural products for health-conscious consumers is considered a priority in this area. Apple cider vinegar is one of the most valuable products produced from apple juice. The literature presents mainly data concerning the technology of vinegar production and almost no questions concerning the development of technological parameters of the process. The aim of the work is to study the influence of various substances on the process of vinegar fermentation. Industrial samples of apple materials from raw materials of the Central region of Russia were used as raw materials. In the course of research the generally accepted physical and chemical methods in enochemistry were used. The article is devoted to a complex study of the influence of phenolic substances, carbohydrates of apple juice, citric acid, citric acid and doubly substituted ammonium phosphate $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, citric acid and single-substituted potassium phosphate (KH_2PO_4) , citric acid and ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on the process of acetic acid fermentation. In the course of the study it was found that: increase in phenolic substances leads to inhibition of the oxidation process; the yield of acetic acid is affected by increasing the dosage of introduced citric acid from 0.25 g/dm³ to 1 g/dm³, both separately and together with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ at a dosage of 0.46 g/dm³; the addition of single-substituted potassium phosphoric acid has no noticeable positive effect on the biochemical oxidation process; the addition of 5% fresh apple juice is recommended as carbohydrate nutrition. On the basis of the conducted research can be developed technological scheme of vinegar production with our proposed technological parameters of the process.

Keywords: apple cider vinegar, acetic acid fermentation, technological parameters, apple juice, physicochemical parameters.

Введение

В соответствии с Государственной программой «Здоровое питание-здоровье нации», приоритетным направлением рассматриваемой области считается расширение ассортимента натуральных продуктов для потребителей, следящих за своим здоровьем. Разработка этой группы продуктов диктуется насущной потребностью современного рынка, необходимостью оптимизации питания и здоровья, имеет важное значение ввиду резко возросших под влиянием современных причин больших нагрузок на адаптационные способности организма человека [1]. Яблочный уксус является одним из наиболее ценных продуктов, вырабатываемых из яблочного сока. Яблочный уксус содержит в себе комплекс биологически активных веществ, полезных для здоровья человека [2]. Жизнедеятельность и окислительная способность уксуснокислых бактерий зависит от ряда факторов: содержание кислорода, исходной популяции, температуры, pH, содержания спирта, уксусной кислоты, микроэлементов, фенольных веществ, восстанавливающих сахаров, глицерина и других компонентов. В литературе представлены, в основном данные, касающиеся технологии производства уксуса, и почти не затронуты вопросы, касающиеся отработки технологических параметров процесса. Имеются разноречивые данные по влиянию режимов аэрации, стартовых концентраций спирта и кислоты, парциального давления, концентрации посевной культуры уксуснокислых бактерий и др. [3–5, 7–21].

В результате определения фракционного состава азотистых, фенольных веществ и углеводов яблочных соков установлено, что химический состав яблочных соков зависит от способа переработки яблок и их сортовых особенностей. В результате определения фракционного состава азотистых, фенольных веществ и углеводов яблочных соков установлено, что химический состав яблочных соков зависит от способа переработки яблок и их сортовых особенностей.

В процессе уксуснокислой ферментации яблочных материалов наблюдается изменение азотистых и фенольных веществ. При этом углеводный состав практически не изменяется. При окислении яблочных материалов уксуснокислыми бактериями значительно интенсифицируются процессы альдегидообразования и эфиروобразования. Исследования, направленные на глубокое и всестороннее изучение факторов, обуславливающих эффективность процесса биохимического окисления, исследование динамики химического состава яблочных материалов в процессе уксуснокислой ферментации представляют несомненный интерес [6].

Из литературы известно, что на процесс культивирования уксуснокислых бактерий большое влияние оказывает химический состав исходного сырья для производства уксуса, а также отдельные компоненты, искусственно вводимые в культуральную жидкость для поддержания жизнедеятельности бактерий.

Цель работы – изучение влияния различных веществ на процесс уксуснокислой ферментации.

Материалы и методы

В качестве сырья были использованы промышленные образцы яблочных материалов из сырья Центрального региона России, энотанин (Продукция соответствует ТР ТС 021/2011, ТР ТС 022/2011, ТР ТС 029/2012), лимонная кислота (моногоидрат) по ГОСТ 908–2004, двузамещенного фосфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (ч), по ГОСТ 37–72–74, однозамещенного фосфата калия (KH_2PO_4) (хч) по ГОСТ 4198–75. В ходе исследований физико-химические показатели определяли в соответствии с общепринятыми в энхимии методами.

Результаты и обсуждение

Предварительные исследования химического состава различных образцов яблочного уксуса показало, что на процесс уксуснокислого брожения оказывают влияние фенольные вещества [7].

В связи с этим представляло интерес изучить подробнее характер влияния фенольных соединений на процесс ферментации. Для опыта использовали раствор этантана с содержанием фенольных веществ 9 г/дм³.

В один и тот же материал со стартовыми концентрациями по спирту и кислоте соответственно 1,7% об х 5,7% добавляли различное количество раствора этантана. Выбор стартовой концентрации соответствовал рекомендациям по приготовлению культуральной смеси. Процесс

уксуснокислой ферментации во всех образцах проводили до остаточного содержания спирта 0,3–0,5% об. Результаты опыта представлены в таблице 1.

Установлено, что с увеличением количества вносимого этантана от 0 до 54 мг/дм³ длительность процесса уксуснокислой ферментации увеличивалась почти в 2 раза. Вполне очевидно, что более высокие дозы фенольных веществ еще значительно тормозят процесс уксуснокислого брожения.

Таблица 1.

Влияние фенольных веществ на процесс уксуснокислой ферментации

Table 1.

The effect of phenolic substances on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I – контроль I - control												
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,7	1,7	1,0	0,5								
Титруемая кислотность в пересчете на уксусную, г/100 см ³ Titratable acidity in terms of acetic acid, g/100 cm ³	5,7	5,7	6,1	6,5								
Фенольные вещества, мг/дм ³ Phenolic substances, mg/dm ³	218,0	218,0	180,0									
II – контроль = 27 мг/дм ³ фенольных веществ II - control = 27 mg/dm ³ of phenolic substances												
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,7	1,7	1,5	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3			
Титруемая кислотность в пересчете на уксусную, г/100 см ³ Titratable acidity in terms of acetic acid, g/100 cm ³	5,7	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4			
Фенольные вещества, мг/дм ³ Phenolic substances, mg/dm ³	246,3	246,3							216,7			
III – контроль = 54 мг/дм ³ фенольных веществ III - control = 54 mg/dm ³ of phenolic substances												
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,7	1,7	1,6	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3
Титруемая кислотность в пересчете на уксусную, г/100 см ³ Titratable acidity in terms of acetic acid, g/100 cm ³	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6
Фенольные вещества, мг/дм ³ Phenolic substances, mg/dm ³	269,8	269,8										

Таблица 2.

Влияние яблочного сока на процесс уксуснокислой ферментации

Table 2.

The effect of apple juice on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day			
		1	2	3	4
I образец – контроль I - control					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,3		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,9	6,2		
II образец – контроль + 1,7% свежего яблочного сока II sample - control + 1.7% fresh apple juice					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,2		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,8	6,3		
III образец – контроль + 5,0% яблочного сока III sample - control + 5.0% apple juice					
Остаточный спирт, % об. Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,1		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,5	6,5		
IV образец – контроль + 16,7% яблочного сока IV sample - control + 16.7% apple juice					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,4	0,3	
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,2	4,3	6,5	

Таблица 3.
Влияние концентрации лимонной кислоты на процесс уксуснокислой ферментации
Table 3.
The effect of citric acid concentration on the acetic acid fermentation process

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сутки Fermentation time, day	
		1	2
I образец – контроль I - control			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,5
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,0
II образец – контроль + 0,25 г/дм ³ лимонной кислоты II sample - control + 0.25 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,5
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,0
III образец – контроль + 0,5 г/дм ³ лимонной кислоты III sample - control + 0.5 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,4
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,1
IV образец – контроль + 1 г/дм ³ лимонной кислоты IV sample - control + 1 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,3
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,8
V образец – контроль + 2 г/дм ³ лимонной кислоты V sample - control + 2 g/dm ³ citric acid			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,5
Титруемая Titratable acidity	5,5	-	6,4

Таблица 4.
Влияние концентрации лимонной кислоты и двузамещенного фосфата аммония (NH₄)₂ HPO₄ на процесс уксуснокислой ферментации
Table 4.
The effect of the concentration of citric acid and disubstituted ammonium phosphate (NH₄)₂ HPO₄ on the acetic acid fermentation process

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day			
		1	2	3	4
I образец – контроль I - control					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,3		
Титруемая Titratable acidity	5,5	5,1	6,0		
II образец – контроль + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ II sample - control + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0.5 g/dm ³					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	0,8	0,2		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,5	4,8	6,2	
III образец – контроль + лимонная кислота 0,5 г/ дм ³ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ III sample - control + citric acid 0.5 g/dm ³ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0.5 g/dm ³					
Остаточный спирт, % об. Residual alcohol, % vol	1,6		1,0	0,6	0,12
Титруемая Titratable acidity	5,5	5,8	6,0	6,2	6,5
IV образец – контроль + лимонная кислота 1,0 г/ дм ³ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0,5 г/дм ³ IV sample - control + citric acid 1.0 g/dm ³ + (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0.5 g/dm ³					
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	0,5	0,12		
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,9	6,9		

Таблица 5.
Влияние концентрации лимонной кислоты и однозамещенного фосфата калия (KH₂ PO₄) на процесс уксуснокислой ферментации
Table 5.
The effect of the concentration of citric acid and monosubstituted potassium phosphate (KH₂ PO₄) on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сут Fermentation time, day				
		1	2	3	4	5
I образец – контроль I - control						
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	0,2			
Титруемая Titratable acidity	5,5	5,8	6,2			
II образец – контроль + KH ₂ PO ₄ 0,5 г/дм ³ II sample - control + KH ₂ PO ₄ 0.5 g/dm ³						
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6	-	1,3	1,0	-	0,6
Титруемая Titratable acidity	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0
III образец – контроль + лимонная кислота 0,5 г/ дм ³ + KH ₂ PO ₄ 0,5 г/дм ³ III sample - control + citric acid 0.5 g/dm ³ + KH ₂ PO ₄ 0.5 g/dm ³						
Остаточный спирт, % об. Residual alcohol, % vol	1,6	-	1,3	0,8		0,4
Титруемая Titratable acidity	5,5	5,6	5,8	5,8	5,9	6,0
IV образец – контроль + лимонная кислота 1,0 г/ дм ³ + KH ₂ PO ₄ 0,5 г/дм ³ IV sample - control + citric acid 1.0 g/dm ³ + KH ₂ PO ₄ 0.5 g/dm ³						
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,6		0,2			
Титруемая Titratable acidity	5,5	4,7		6,4		

Таблица 6.
Влияние концентрации лимонной кислоты и сульфата аммония на процесс уксуснокислой ферментации
Table 6.
The effect of the concentration of citric acid and ammonium sulfate on the process of acetic acid fermentation

Показатель Indicator	Исходный виноматериал The original wine material	Время ферментации, сутки Fermentation time, day	
		1	2
I образец – контроль I sample - control			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,3
Титруемая Titratable acidity	5,6	6,1	6,2
Степень окисления, число частей на м Degree of oxidation, parts per million	452		388
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	114,8		123,2
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	17		23
II образец – контроль + (NH ₄) ₂ SO ₄ II sample - control + (NH ₄) ₂ SO ₄			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,11
Титруемая Titratable acidity	5,6	6,1	6,2
Степень окисления, число частей на миллион Degree of oxidation, parts per million	664		156
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	126	93,5	47,6
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	50		17
III образец – контроль + 0,5 г/дм ³ лимонной кислоты + (NH ₄) ₂ SO ₄ III sample - control + 0.5 g/dm ³ citric acid + (NH ₄) ₂ SO ₄			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,1
Титруемая Titratable acidity	5,6	5,8	6,3
Степень окисления, число частей на миллион Degree of oxidation, parts per million	304		260
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	145,6		2,8
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	29		28
IV образец – контроль + 1 г/дм ³ лимонной кислоты + (NH ₄) ₂ SO ₄ IV sample - control + 1 g/dm ³ citric acid + (NH ₄) ₂ SO ₄			
Остаточный спирт, % об Residual alcohol, % vol	1,5	-	0,10
Титруемая Titratable acidity	5,6	6,2	6,5
Степень окисления, число частей на миллион Degree of oxidation, parts per million	544		260
Аминный азот, мг/дм ³ Amine nitrogen, mg/dm ³	111		58,8
Фосфор, мг/дм ³ Phosphorus, mg/dm ³	17		27

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что фенольные вещества обладают бактерицидным действием и оказывают ингибирующее влияние на скорость биохимического окисления яблочных материалов.

Известно, что некоторые виды уксуснокислых бактерий при ферментации в качестве питания могут потреблять глюкозу.

Исследовали влияние углеводов яблочного сока на процесс биохимического окисления путем внесения в культуральную смесь от 2 до 15% свежего яблочного сока. Данные анализов представлены в таблице 2

Из данных таблицы видно, что наиболее интенсивно процесс биохимического окисления этанола в уксусную кислоту происходил в третьем образце. Содержание остаточного спирта в нем составило 0,1%, а концентрация уксусной кислоты – 6,5%, т. е. уксус, полученный из образца № 3, имел лучшие показатели состава даже по сравнению с контролем (0,3% об – этиловый спирт, 6,2% – уксусная кислота). Вероятно, что при наличии сока, уксуснокислые бактерии получают дополнительно различное количество органических и минеральных веществ, необходимых для размножения, питания уксуснокислых бактерий и окисления этанола в уксусную кислоту, поэтому процесс уксуснокислой ферментации интенсифицируется.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что добавление свежего яблочного сока в культуральную среду оказывает благоприятное воздействие на процесс уксуснокислого брожения. Оптимальной дозой яблочного сока следует считать 5%. Известно, что яблочный виноматериал имеет в своем составе много кислот, содержание которых колеблется в различных пределах в зависимости от сорта и степени зрелости яблок. Известно, что количество лимонной кислоты в яблоках увеличивается при созревании и, ее содержание может варьировать в зависимости от степени зрелости плодов.

Исследовали влияние концентрации лимонной кислоты на процесс уксуснокислой ферментации. Готовили культуральную смесь с содержанием уксусной кислоты 5,5% и спирта 1,5% об. Приготовленную смесь делили на пять частей. Одну использовали в качестве контроля, в четыре – добавляли разное количество лимонной кислоты. Далее проводили биохимическое окисление полученных образцов.

Результаты исследований представлены в таблице 3. Из полученных данных видно, что наличие лимонной кислоты в культуральной среде по-разному влияет на ход уксуснокислого брожения.

С увеличением дозы вносимой лимонной кислотой с 0,25 г/дм³ до 1 г/дм³ выход уксусной кислоты увеличивается. Дальнейшее повышение

лимонной кислоты приводило к снижению выхода уксуса. Так добавление 0,25 г/дм³ и 0,5 г/дм³ лимонной кислоты приводило к накоплению 6,0–6,1% уксусной кислоты, т. е. находилось на уровне контроля. Внесение 1 г/дм³ лимонной кислоты значительно повышало выход уксуса до 6,8%, при содержании остаточного спирта 0,3% об. Увеличение содержания лимонной кислоты до 2 г/дм³ несколько снижало выход уксусной кислоты до 6,4%. Положительное влияние лимонной кислоты в дозе именно 1 г/дм³ или близкой к ней объясняется изменением рН среды, в которую вносится кислота. Добавление 1 г/дм³ лимонной кислоты в яблочные материалы приводило к снижению рН среды с 3,1–3,5 до 2,5–3,0, что благоприятно сказывается на деятельности уксуснокислых бактерий. Внесение дозы лимонной кислоты <1 г/дм³ не оказывало значительного влияния на процесс, так как мало изменяло значение рН. В то же время значительное снижение рН при внесении лимонной кислоты в дозе ≈ 2 г/дм³ и выше оказывало тормозящее действие на жизнедеятельность уксуснокислых бактерий.

Результаты данного опыта свидетельствуют о необходимости корректировки рН культуральной среды добавлением в нее определенного количества лимонной кислоты, которое в среднем должна составить 1 г/дм³ с отклонением в ту или другую сторону в зависимости от состава перерабатываемого сырья (степени зрелости яблок, сорта и др.). Исследовали совместное влияние лимонной кислоты и (NH₄)₂HPO₄ на процесс уксуснокислой ферментации.

В опытные образцы вносили двузамещенный фосфорнокислый аммоний в количестве г/дм³ и лимонную кислоту 0,5–1,0 г/дм³.

Результаты исследований представлены в таблице 4.

Окисление этилового спирта в контрольном образце заканчивалось на 2-ой день, при этом содержание уксусной кислоты составляло 6,0%, а остаточного спирта – 0,3% об. Внесение 0,5 г/дм³ двузамещенного фосфорнокислого аммония как отдельно, так и совместно с 0,5 г/дм³ лимонной кислоты приводило к увеличению выхода уксусной кислоты до 6,0–6,5%, однако срок окисления при этом увеличивался. Добавление 0,5 г/дм³ двузамещенного фосфорнокислого аммония совместно с 1 г/дм³ лимонной кислоты значительно увеличивало выход уксусной кислоты по сравнению с контролем (6,9%). Известно, что добавление в среду однозамещенного фосфата калия из расчета 0,50 г/дм³ при уксуснокислой ферментации положительно влияет на процесс окисления. Исследовали влияние концентрации лимонной кислоты и однозамещенного фосфата калия на процесс уксуснокислого брожения.

В опытные образцы вносили 0,50 г/дм³ однозамещенного фосфата калия и лимонную кислоту в количестве 0,5–1,0 г/дм³. Результаты исследования представлены в таблице 5.

В контрольном образце процесс окисления спирта в уксусную кислоту был завершён на второй день ферментации. Во втором и третьем образцах процесс ферментации не был завершён на пятые сутки (остаточный спирт во втором образце – 0,6% об, в третьем – 0,4% об). Следовательно, можно предположить, что действие однозамещенного фосфата калия, как отдельно, так и совместно с лимонной кислотой (0,5 г/дм³) замедляет процесс уксуснокислой ферментации.

В четвертом образце с содержанием лимонной кислоты 1,0 г/дм³ и КН₂ РО₄ 0,5 г/дм³ накопление уксусной кислоты и содержание остаточного спирта приближается к контролю.

Следовательно, можно заключить, что наличие в культуральной среде КН₂ РО₄ и совместное его действие с лимонной кислотой не оказывает существенного влияния на накопление уксусной кислоты. Однако внесение лимонной кислоты в количестве 1 г/дм³ вместе с 0,5 г/дм³ КН₂РО₄ способствует усвоению фосфора уксуснокислыми бактериями.

Из литературных данных известно, что сульфат аммония в количестве 0,46 г/дм³ оказывает положительное влияние на ход уксуснокислого брожения. Исследовали совместное влияние лимонной кислоты и сульфата аммония на процесс уксуснокислой ферментации.

В опытные образцы добавляли 0,46 г/дм³ сульфата аммония и лимонную кислоту в количестве 0,5–1 г/дм³.

Полученные результаты исследований представлены в таблице 6.

Из данных таблицы видно, что процесс уксуснокислого брожения во всех четырех образцах был завершён на второй день ферментации.

Анализ содержания остаточного спирта показал, что во втором, третьем и четвертом образцах процесс уксуснокислой ферментации идет интенсивнее, чем в контроле (остаточный спирт в образцах – 0,10–0,11% об, в контроле – 0,3% об). Одновременно увеличивался выход уксусной кислоты.

Наиболее эффективно процесс уксуснокислой ферментации проходил в четвертом образце, где в состав ферментационной среды входили 1 г/дм³ лимонной кислоты и 0,46 г/дм³ сульфата аммония (NH₄)₂ SO₄ (6,5% – в четвертом образце, 6,2% – в контроле).

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

– на процесс уксуснокислого брожения оказывают влияние фенольные вещества яблок,

причем увеличение содержания фенольных веществ приводит к ингибированию процесса окисления;

– в качестве углеводного питания рекомендуется добавление 5% свежего яблочного сока;

– наличие лимонной кислоты в культуральной среде по-разному влияет на ход уксуснокислого брожения, с увеличением дозы вносимой лимонной кислотой с 0,25 г/дм³ до 1 г/дм³ выход уксусной кислоты увеличивается, дальнейшее повышение лимонной кислоты приводит к снижению выхода уксуса;

– добавление двузамещенного фосфорнокислого аммония совместно с лимонной кислотой значительно увеличивает выход уксусной кислоты по сравнению с контролем;

– наиболее эффективно процесс биохимического окисления протекает при внесении 0,46 г/дм³ (NH₄)₂SO₄, 1 г/дм³ лимонной кислоты как отдельно, так и совместно с (NH₄)₂SO₄;

– добавление однозамещенного фосфорнокислого калия заметного положительного влияния на процесс биохимического окисления не оказывает.

Мы считаем, что на основании проведенных исследований может быть разработана технологическая схема производства уксуса с предложенными нами технологическими параметрами процесса.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Воронежскому Государственному Университету Инженерных Технологий за сотрудничество.

Литература

- 1 Бабаева М.В., Жуковская С.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М. и др. Инновационные безалкогольные напитки из натурального растительного сырья // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 118–124. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-118-124
- 2 Гончаровская И.В., Левон В.Ф. Содержание некоторых биологически активных веществ в яблочном уксусе с разных плодов *Malus Domestica Borkh* // От растения до лекарственного препарата. 2020. С. 217–222.
- 3 Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Рейтблат Б.Б. Теория и практика плодового виноделия. М.: Промышленно-консалтинговая группа «Развитие» по заказу ГНУ ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, 2011.
- 4 Кандыбина А.В., Звягинцева М.Г., Комаров А.В., Россихин В.В. Яблочный уксус: приготовление и биологически активные вещества // News of Science and Education. 2017. Т. 3. № 9. С. 026–028.
- 5 Еременко А.С., Синилова Ю.К., Голуб О.В. Оценка качественных характеристик яблочного уксуса // Оценка качества и безопасность потребительских товаров. 2020. С. 49–53
- 6 Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М. и др. Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 24–31. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-24-31
- 7 Шумская Н.Н., Ломакина С.А., Сердюк В.А., Мальцева Т.А. и др. Органолептический и сравнительный анализ яблочного и яблочно-грушевого уксусов // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2020»). 2020. С. 504-507.
- 8 Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Борисова А.Л. Новое направление в производстве пищевого уксуса // Пищевая промышленность. 2017. № 7. С. 58–60.
- 9 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain // Toxins. 2021. V. 13. №. 7. P. 438. doi: 10.3390/toxins13070438
- 10 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry // Analytical and bioanalytical chemistry. 2020. V. 412. №. 7. P. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0
- 11 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain) // Journal of the science of food and agriculture. 2019. V. 99. №. 3. V. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279
- 12 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages // Foods. 2022. V. 11. №. 6. P. 802. doi: 10.3390/foods11060802
- 13 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kinčl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production // Fermentation. 2022. V. 8. №. 6. P. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273
- 14 Salană L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges // Processes. 2020. V. 8. №. 11. P. 1382. doi: 10.3390/pr8111382
- 15 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics // Environmental Science and Pollution Research. 2021. V. 28. №. 37. P. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x
- 16 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group // Nutrition research reviews. 2017. V. 30. №. 1. P. 1-24.
- 17 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks // Trends in non-alcoholic beverages. 2020. P. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7

18 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health // *Advances in food and nutrition research*. 2019. V. 87. P. 147-185. doi: 10.1016/bs.afnr.2018.09.001

19 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil // *Nutrición Hospitalaria*. 2015. V. 31. №. 3. P. 70-75.

20 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia // *Food, Culture & Society*. 2020. V. 23. №. 3. P. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548

21 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer // *Fermentation*. 2019. V. 5. №. 4. P. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

References

1 Babaeva M.V., Zhukovskaya S.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M. et al. Innovative soft beverages made from natural vegetable raw materials. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 118–124. doi: 10.20914/2310-1202-2022-1-118-124 (in Russian).

2 Goncharovskaya I.V., Levon V.F. The content of some biologically active substances in apple cider vinegar from different fruits of *Malus Domestica* Borkh. From a plant to a medicinal product. 2020. pp. 217–222. (in Russian).

3 Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Reitlat B.B. Theory and practice of fruit winemaking. M., Industrial consulting group "Development" commissioned by the GNU Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine industry, 2011. (in Russian).

4 Kandybina A.V., Zvyagintseva M.G., Komarov A.V., Rossikhin V.V. Apple cider vinegar: preparation and biologically active substances. *News of Science and Education*. 2017. vol. 3. no. 9. pp. 026–028. (in Russian).

5 Eremenko A.S., Sinilova Yu. K., Golub O.V. Assessment of the qualitative characteristics of apple cider vinegar. *Assessment of the quality and safety of consumer goods*. 2020. pp. 49–53. (in Russian).

6 Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M. et al. Investigation of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no.4. pp. 24–31. doi: 10.20914/2310-1202-2022-4-24-31 (in Russian).

7 Shumskaya N.N., Lomakina S.A., Serdyuk V.A., Maltseva T.A. et al. Organoleptic and comparative analysis of apple and apple-pear vinegar. *Innovative technologies in science and education (conference "ITNO 2020")*. 2020. pp. 504-507. (in Russian).

8 Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Borisova A.L. A new direction in the production of food vinegar. *Food Industry*. 2017. no. 7. pp. 58–60. (in Russian).

9 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain. *Toxins*. 2021. vol. 13. no. 7. pp. 438. doi: 10.3390/toxins13070438

11 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2020. vol. 412. no. 7. pp. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0

12 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. vol. 99. no. 3. pp. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279

13 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 6. pp. 802. doi: 10.3390/foods11060802

14 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kinčl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production. *Fermentation*. 2022. vol. 8. no. 6. pp. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273

15 Salanã L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges. *Processes*. 2020. vol. 8. no. 11. pp. 1382. doi: 10.3390/pr8111382

16 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. vol. 28. no. 37. pp. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x

17 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group. *Nutrition Research Reviews*. 2017. vol. 30. no. 1. pp. 1-24.

18 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks. *Trends in non-alcoholic beverages*. 2020. pp. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7

19 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Advances in food and nutrition research*. 2019. vol. 87. pp. 147-185. doi: 10.1016/bs.afnr.2018.09.001

20 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil. *Nutrición Hospitalaria*. 2015. vol. 31. no. 3. pp. 70-75.

21 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia. *Food, Culture & Society*. 2020. vol. 23. no. 3. pp. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548

22 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer. *Fermentation*. 2019. vol. 5. no. 4. pp. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

Сведения об авторах

Светлана В. Жуковская к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, zhu2165@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

Мария В. Бабаева к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m-babaeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

Анастасия Е. Агафوشкина магистрант, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, agafoshkina.nastya@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-2172-7137>

Дмитрий А. Воробьев магистрант, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, dmitwor@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6160-6351>

Софья И. Сахарова магистрант, кафедра технологии броидильных производств и виноделия им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, tzekur@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-8383-5618>

Алексей Н. Яковлев к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vip.alex2702@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Вклад авторов

Светлана В. Жуковская написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Мария В. Бабаева предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Анастасия Е. Агафوشкина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Дмитрий А. Воробьев предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Софья И. Сахарова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Алексей Н. Яковлев консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Svetlana V. Zhukovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, zhu2165@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

Maria V. Babaeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, m-babaeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

Anastasia E. Agafoshkina master student, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, agafoshkina.nastya@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-2172-7137>

Dmitry A. Vorobjov master student, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, dmitwor@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6160-6351>

Sofia I. Sakharova master student, technology of fermentation and winemaking named after G.G. Agabalian department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, tzekur@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-8383-5618>

Aleksey N. Yakovlev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vip.alex2702@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3246-6628>

Contribution

Svetlana V. Zhukovskaya wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Maria V. Babaeva proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Anastasia E. Agafoshkina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Dmitry A. Vorobjov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Sofia I. Sakharova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Aleksey N. Yakovlev consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 13/02/2024	Принята в печать 29/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 13/02/2024	Accepted 29/02/2024