



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.316

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.001



ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

Наталья Петровна Супрун¹, Галина Семеновна Гусакова²,
Елена Геннадьевна Филатова³

^{1, 2, 3} Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

¹ suprun_np@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6010-4221>

² gusakova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9222-5295>

³ efila@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9363-7742>

Аннотация. В работе исследована кинетика реакции спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха. В качестве объектов исследования использовали образцы сусла, содержащие разное количество свежавыжатого и осветленного сока, а также восстановленный яблочный сок из концентрата. Исследование кинетики проводили, используя интегральные формы основного кинетического уравнения. Суть используемого метода заключалась в подборе осей, пригодных для описания исследуемого процесса. Полученные значения коэффициентов детерминации R^2 свидетельствуют о том, что реакция спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха для образцов, содержащих преимущественно свежавыжатый сок (образцы 1 и 2), соответствует реакции нулевого порядка. Для образцов, содержащих преимущественно восстановленный яблочный сок из концентрата (образцы 3, 4 и 5), соответствует реакции первого порядка. Использование в реакции брожения сусла, содержащего преимущественно свежавыжатый сок не менее чем 75 % от общего объема (образцы 1 и 2), позволило прогнозировать наиболее благоприятные условия для получения этилового спирта. Скорость образования этилового спирта достигает при этом 0,047–0,046 об. % в час. Время, в течение которого прореагировало половина исходного количества вещества, составляет 85–86 часов.

Ключевые слова: кинетика реакции брожения, интегральные формы основного кинетического уравнения, свежавыжатый яблочный сок, восстановленный концентрат сока.

Для цитирования: Супрун Н. П., Гусакова Г. С., Филатова Е. Г. Исследование кинетики реакции спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 7–14. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.001. EDN: <https://elibrary.ru/bdvwyw>.

Original article

A KINETIC STUDY OF THE ALCOHOLIC FERMENTATION REACTION USING A PINE NUT SHELL AS A PACKING ELEMENT

Natalya P. Suprun¹, Galina S. Gusakova², Elena G. Filatova³

^{1,2,3} Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹ suprun_np@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6010-4221>

² gusakova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9222-5295>

³ efila@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9363-7742>

Abstract. In this paper, the kinetic of the alcoholic fermentation reaction using a pine nut shell as a packing element studied. As the objects of presented study used the samples of wort containing different concentrations of the apple juice freshly pressed and clarified and reconstituted juice concentrate to desired properties. The study of kinetic carried out using integral forms of the main kinetic equation. The essence of the used method was in choice of axes suitable for describing the alcoholic fermentation process. The obtained values of the determination coefficients R^2 indicate that the alcoholic fermentation reaction using pine nut shell nuzzle for samples containing mainly freshly pressed juice (samples 1 and 2) corresponds to reaction of zero order. For samples containing predominantly reconstituted juice concentrate (samples 3, 4 and 5), corresponds to reaction of first order. The use of wort in the alcohol fermentation reaction containing predominantly freshly pressed and clarified juice in an amount of at least 75% of the total wort volume (samples 1 and 2) made it possible to predict the most favorable conditions for obtaining ethyl alcohol. The rate of ethyl alcohol formation reached 0.047-0.046 vol. % at one o'clock. The time in which half of the initial substance amount reacted was 85-86 hours.

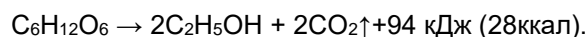
Keywords: fermentation reaction kinetics, integral forms of the main kinetic equation, freshly squeezed apple juice, reconstituted apple juice from concentrate.

For citation: Suprun, N.P., Gusakova, G.S. & Filatova, E.G. (2023). A kinetic study of the alcoholic fermentation reaction using a pine nut shell as a packing element. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 7-14. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.001. EDN: <https://elibrary.ru/BDVWYW>.

ВВЕДЕНИЕ

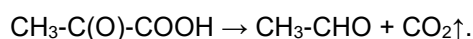
Брожение суслу – это важнейшая технологическая стадия, в процессе которой формируются основные показатели качества будущего виноматериала [1–3].

В общем виде уравнение спиртового брожения описывается уравнением Гей-Люссака следующим образом:

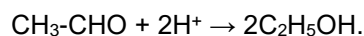


Известно, что процесс спиртового брожения является многостадийным, протекает через несколько промежуточных стадий. Нужно отметить, что кинетика этого процесса следует теории Михаэлиса–Ментена [4].

Спиртовое брожение, как и любое другое брожение, можно представить в виде двух стадий [5]. Сначала из углевода образуется 2-оксипропановая (пировиноградная – ПВК) кислота. В дрожжевых клетках ПВК подвергается декарбоксилированию, в результате образуется уксусный альдегид. Данная реакция катализируется ферментом пируватдекарбоксилазы:



Затем образовавшийся уксусный альдегид присоединяет к себе водород, восстанавливаясь при этом в этиловый спирт:



Реакция катализируется ферментами дрожжей. С энергетической точки зрения процесс брожения малозакономичен. Недостаток выделяющейся при брожении энергии дрожжи возмещают за счёт переработки большого количества сахара. При доступе кислорода спиртовое брожение вытесняется полным окислением углеводов до диоксида углерода и воды с выделением значительного количества энергии:



Наряду с главными продуктами брожения в небольшом количестве образуются побочные продукты: глицерин (1–3 %), уксусный альдегид, уксусная и янтарная кислоты, сивушные масла – смесь высших спиртов (изоамилового, изобутилового, амилового, н-про-

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

пилового) и некоторые другие вещества. Образование дрожжами высших спиртов связано с азотистым и углеводным обменами дрожжевых клеток. Высшие спирты участвуют в образовании аромата и вкуса продуктов спиртового брожения. На развитие дрожжей и ход брожения влияют многие факторы: химический состав среды, кислотность сусла, температура брожения и др., изучение которых имеет важное значение.

Количество исследований, посвященных свойствам яблочных вин и сидра, а также их развитию в процессе брожения в последнее время значительно возросло. Большинство этих исследований сосредоточены на аспектах управления ферментацией: изучении стадии созревания, использовании различных сортов яблок, новых штаммов дрожжей и азотистых добавок [6–14]. Известно исследование, в котором сравниваются виноматериалы, полученные из свежесжатого яблочного сока и восстановленного концентрата, получен-

ного из и той же партии отжатого сока [15]. Однако кроме исходного состава сусла и выше названных параметров существенное влияние может оказывать способ сбраживания сусла, например, в аппаратах с насадкой в условиях сверхвысокой концентрации дрожжей. В эксперименте в качестве насадки применили специально подготовленные скорлупки кедрового ореха [16].

Целью настоящей работы явилось исследование кинетики реакции спиртового брожения яблочных виноматериалов с применением насадки из скорлупы кедрового ореха.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования кинетики реакции спиртового брожения яблочных виноматериалов были выбраны пять образцов (свежесжатое яблочное сусло (СВС), восстановленный яблочный сок из концентрата (ВКС) и три сепажа на их основе), условия брожения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия брожения подготовленных образцов сусла

Table 1 – Fermentation conditions for prepared wort samples

Условия брожения		№ подготовленных образцов				
		1	2	3	4	5
Концентрация компонентов сусла, %	СВС*	100	75	50	25	0
	ВКС**	0	25	50	75	100
Способ		периодический				
Раса дрожжей		Salvio Champagne				
Материал насадки		скорлупа кедрового ореха***				
Количество насадки в объеме емкости, %		60				
Температура, °С		18–20				

* – Свежесжатое сусло из сорта яблок «Добрыня»; ** – восстановленный яблочный сок из концентрата; *** – обработана по схеме, представленной в пат. 2783427 [16].

Таблица 2 – Исходные данные для исследования кинетики реакции брожения

Table 2 – Initial data for the study of the kinetics of the alcoholic fermentation reaction

t, ч	№ исследуемых образцов									
	1		2		3		4		5	
	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %
0	0	8,0	0	8,0	0	8,0	0	8,1	0	8,1
24	0,6	7,4	0,6	7,4	0,5	7,5	0,5	7,6	0,5	7,6
48	1,9	6,1	2,0	6,0	1,7	6,3	2,4	5,7	1,0	7,1
72	3,5	4,5	3,6	4,4	3,0	5,0	4,2	3,9	1,5	6,6
120	6,5	1,5	6,3	1,7	5,4	2,6	4,9	3,2	2,5	5,6
144	7,4	0,6	7,2	0,8	6,1	1,9	5,4	2,7	2,9	5,2
168	7,8	0,2	7,7	0,3	6,5	1,5	5,8	2,0	3,3	4,8
192	8,0	0	8,0	0	6,9	1,1	6,3	1,8	3,7	4,4
216	–	–	–	–	7,3	0,7	7,3	0,8	3,9	4,2
264	–	–	–	–	8,0	0	8,1	0	4,3	3,8
312	–	–	–	–	–	–	–	–	4,6	3,5
576	–	–	–	–	–	–	–	–	6,7	1,4
744	–	–	–	–	–	–	–	–	8,1	0

Кинетику процесса $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$ исследовали по изменению концентрации этилового спирта. Объемную долю этанола в бродящем сусле определяли по общепринятой в виноделии стандартной методике [17]. Анализы выполняли в трех повторениях. Достоверность полученных данных подтверждали общепринятой методикой математической статистики.

В таблице 2 представлены исходные

данные для исследования кинетики реакции брожения на насадке.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследованием скорости и механизмов химических процессов занимается химическая кинетика. Измеряют скорость реакции изменением концентрации реагирующего вещества или продукта реакции в единицу времени (основное кинетическое уравнение).

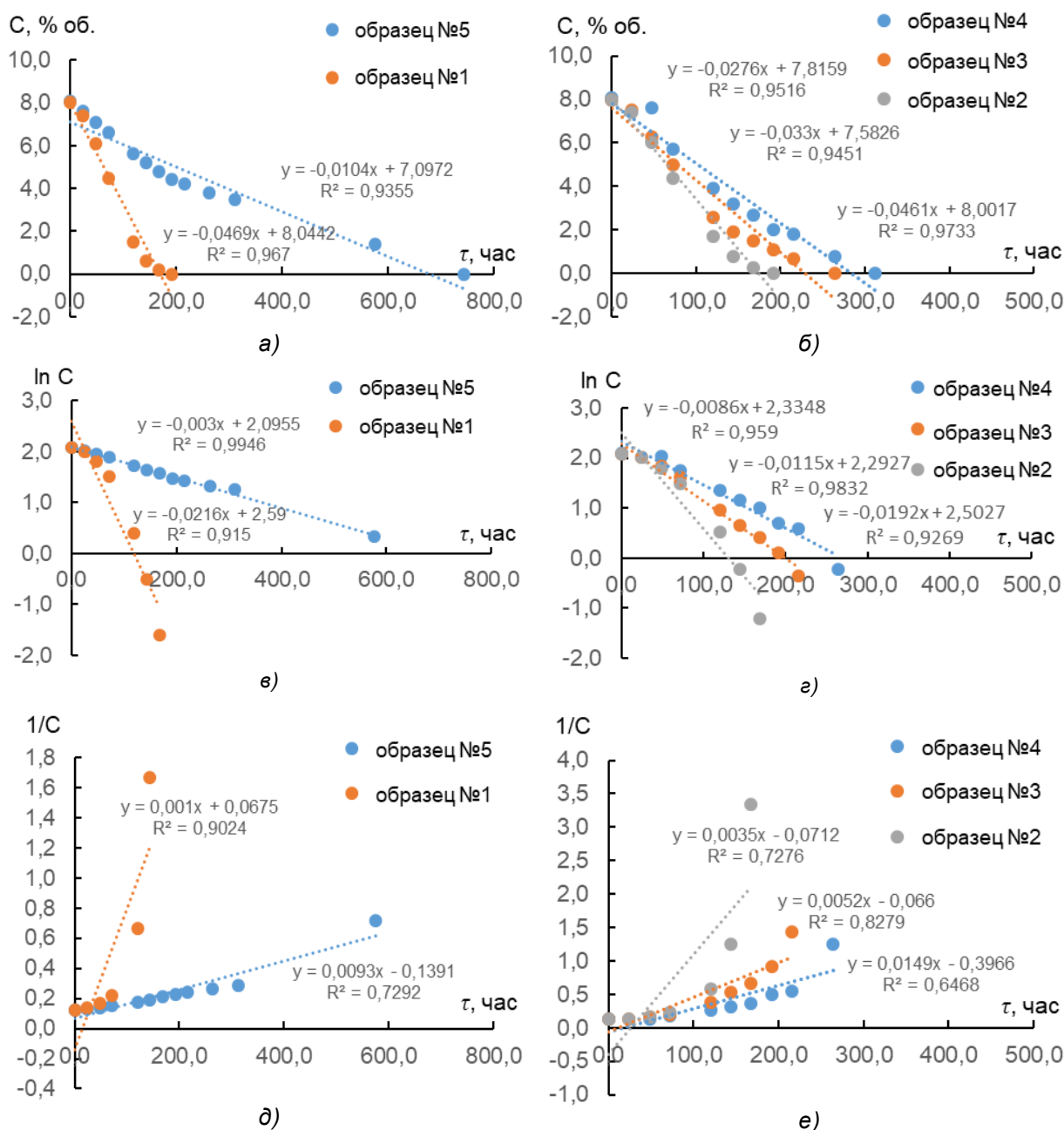


Рисунок 1 – Линейные зависимости интегральной формы основного кинетического уравнения исследованных образцов: а, б – нулевого порядка ($n = 0$); в, г – первого порядка ($n = 1$); д, е – второго порядка ($n = 2$)

Figure 1 – Linear dependencies of the integral form of the main kinetic equation for researching examples: а, б – zero order ($n = 0$); в, г – first order ($n = 1$); д, е – second order ($n = 2$)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

В любой химической реакции реагенты расходуются (продукты образуются) и поэтому скорость реакции уменьшается. Отсюда следует, что скорость реакции зависит от концентраций реагирующих веществ и её следует относить к какому-то определенному моменту времени. Но для большинства химических реакций, в том числе и реакции спиртового брожения, стехиометрическое уравнение не может дать сведений о зависимости скорости реакции от концентрации. Как правило, эту зависимость определяют экспериментально [18, 19].

Исследование кинетики процесса брожения выполняли, используя интегральные формы основного кинетического уравнения для различных порядков:

$$n = 0 \quad k = \frac{1}{\tau} (C_0 - C_\tau); \quad (1)$$

$$n = 1 \quad k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C_\tau}; \quad (2)$$

$$n = 2 \quad k = \frac{1}{\tau} \left(\frac{1}{C_\tau} - \frac{1}{C_0} \right); \quad (3)$$

Реакции третьего встречаются крайне редко и в работе не рассматривались.

Суть используемого метода заключалась в подборе осей, пригодных для описания исследуемого процесса. Интегральную форму основного кинетического уравнения соответствующего порядка линеаризовали и подбирали такие оси, в которых построенная зависимость была бы прямолинейной:

$$n = 0 \quad C_\tau = f(\tau); \quad (4)$$

$$n = 1 \quad \ln C_\tau = f(\tau); \quad (5)$$

$$n = 2 \quad \frac{1}{C_\tau} = f(\tau). \quad (6)$$

По представленным зависимостям на рисунке 1 рассчитаны константы скорости спиртового брожения (табл. 3).

Значения коэффициентов детерминации R^2 (табл. 3) свидетельствуют о том, что реакция спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха для образцов 1 и 2 соответствует реакции нулевого порядка. Для образцов 3, 4 и 5 соответствует реакции первого порядка.

Таблица 3 – Значения константы скорости для исследуемых образцов

Table 3 – The values of the rate constant for the studied samples

№ образца	n	k	R ²
1	0	0,0469	0,9670
	1	0,0216	0,9150
	2	0,0010	0,9024
2	0	0,0461	0,9733
	1	0,0192	0,9269
	2	0,0035	0,7276
3	0	0,0330	0,9451
	1	0,0115	0,9832
	2	0,0520	0,8279
4	0	0,0274	0,9516
	1	0,0085	0,9590
	2	0,0149	0,6468
5	0	0,0104	0,9355
	1	0,0030	0,9946
	2	0,0093	0,7292

В работе рассчитано время полупревращения $\tau_{1/2}$ реакции брожения. Под временем полупревращения понимают промежуток времени, в течение которого реагирует половина исходного количества вещества:

$$n = 0 \quad \tau_{1/2} = \frac{C_0}{2k}; \quad (7)$$

$$n = 1 \quad \tau_{1/2} = \frac{0,69}{k}. \quad (8)$$

Результаты исследования кинетики процесса брожения представлены в таблице 4 для пяти образцов.

Таблица 4 – Кинетические параметры реакции брожения

Table 4 – The kinetic parameters of the fermentation reaction

№ образца	n	k, об. % · час ⁻¹	$\tau_{1/2}$, час
1	0	0,0469	85,3
2	0	0,0461	86,8
3	1	0,0085	60,0
4	1	0,0115	81,2
5	1	0,0030	115,0

Известно, что процесс брожения, распад виноградного сахара на две молекулы спирта и две молекулы углекислого газа является многостадийным (состоит из 12 стадий) и относится к реакции нулевого порядка [4]. Скорость реакции нулевого порядка постоянна во

времени и не зависит от концентрации реагирующих веществ. Поэтому скорость исследуемого процесса будет численно равна константе скорости k . Как видно из представленных данных (табл. 4), для образцов, содержащих преимущественно свежавыжатый сок (образцы 1 и 2), порядок реакции брожения равен нулю, а константы скорости и время полупревращения имеют практически одинаковые значения. Скорость образования этилового спирта для образцов 1 и 2 составляет 0,047–0,046 об. % в час, а время полупревращения – 85–86 часов.

Из приведенных данных (табл. 4) видно, с увеличением концентрации восстановленного сока константа скорости реакции брожения и скорость процесса в целом уменьшаются. Время полупревращения увеличивается от 60 до 115 часов пропорционально увеличению содержания восстановленного сока в образцах 3, 4 и 5. Кинетика процесса брожения для вышеуказанных образцов описывается реакцией первого порядка. Данный факт можно объяснить изменением скорости накопления этилового спирта. В отсутствие витамина биотина наблюдали замедление процессов роста и размножения дрожжей, в результате чего их концентрация в объеме была снижена. Таким образом, биотина, вырабатываемого дрожжами, стало недостаточно [20] для обеспечения нормальных условий брожения, и, как результат, наблюдали снижение скорости образования этилового спирта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в реакции брожения сырья, содержащего преимущественно свежавыжатый сок не менее чем 75 % от общего объема (образцы 1 и 2), позволило прогнозировать наиболее благоприятные условия для получения этилового спирта. Скорость образования этилового спирта составляет при этом 0,047–0,046 об. % в час. Время, в течение которого прореагировало половина исходного количества вещества, – 85–86 часов.

Увеличение концентрации восстановленного сока в образцах 3, 4 и 5 более чем на 50 % нарушает механизм процесса брожения, и реакция идет уже по другому пути по механизму реакции первого порядка. Результатом такого изменения является недостаточное количество образующегося этилового спирта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия вина : учеб. / Е.П. Шольц-Куликов [и др.]. Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. 359 с.
2. Вечер А.С., Юрченко Л.А. Сидры и яблочные игристые вина. Москва : Пищевая промышленность, 1976. 135 с.
3. Мехузла Н.А., Панасюк А.Л. Плодово-ягодные вина. Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. 240 с.
4. Басканьян И.А., Бирюков В.А., Крылов Ю.М. Математическое описание основных кинетических закономерностей процесса культивирования микроорганизмов // Микробиология. Т. 5. М. : ВИНТИ, 1976. С. 5–75.
5. Климовский Д.Н., Стабников В.Н. Технология спирта : учеб. для технол. специальностей пищевых вузов / Под ред. А.Л. Малченко. 3-е изд. перераб. и доп. Москва : Пищепромиздат, 1960. 515 с.
6. Apple wine processing with different nitrogen contents / A. Alberti [et al.] // Brazilian Archives of Biology and Technology. 2011. Vol. 54. n. 3: P. 551–558. doi:10.1590/S1516-89132011000300017.
7. Impact on chemical profile in apple juice and cider made from unripe, ripe and senescent dessert varieties / A. Alberti [et al.] // LWT Food Sci. Technol. 2016. Vol. 65. P. 436–443. doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.045.
8. Kelkar S., Dolan, K. Modeling the effects of initial nitrogen content and temperature on fermentation kinetics of hard cider // Journal of Food Engineering. 2012. Vol. 109. P. 588–596. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.020.
9. Impact of apple cultivar, ripening stage, fermentation type and yeast strain on phenolic composition of apple ciders / O. Laaksonen [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 233. P. 29–37. doi: doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.067.
10. Assessment of yeasts for apple juice fermentation and production of cider volatile compounds / M. Lorenzini [et al.] // LWT Food Sci. Technol. 2019. Vol. 99. P. 224–230. doi: 10.1016/j.lwt.2018.09.075.
11. The effects of apple variety, ripening stage, and yeast strain on the volatile composition of apple cider / J. Rosend [et al.] // Heliyon. 2019. Vol. 5. Issue 6. P. e01953. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01953.
12. Yeast performance characterisation in different cider fermentation matrices / J. Rosend [et al.] // Agronomy Research. 2019. Vol. 17. Issue 2. P. 2040–2053. doi: 10.15159/ar.19.178.
13. Supplementation of amino acids in apple must for the standardization of volatile compounds in ciders / C.M.E. Santos [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. 2016. Vol. 122. Issue 2. P. 334–341. (In Eng.). doi: 10.1002/jib.318.
14. Исследование биохимического состава плодов яблони Южного Прибайкалья и продуктов виноделия, сброженных на древесной щепе / Г.С. Гусакова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 4. С. 722–736. Doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-4-722-736.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

15. The effect of apple juice concentration on cider fermentation and properties of the final product / J. Rosend [et al.] // *Foods*. 2020. Vol. 9. P. 1401. doi:10.3390/foods9101401.

16. Способ производства белого яблочного вина: пат. 2783427 Рос. Федерация. № 2021124193; заявл. 16.08.2021; опубл. 14.11.2022, Бюл. № 32. 9 с.

17. Гержикова В.Г. Методы теххимического контроля в виноделии : 2-е изд., перераб. и доп. Симферополь: Таврида, 2009. 304 с.

18. Тишин В.Б., Головинская О.В. Эксперимент и поиск математических моделей кинетики биологических процессов : учеб. пособие. СПб. : Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. 111 с.

19. Романовский Б.В. Основы химической кинетики : учеб. Москва : Изд-во «Экзамен», 2006. 415 с.

20. Тишин В.Б., Аль Асаад Кусай М., Ххалил, М.М. Исследование влияния некоторых факторов на кинетику роста дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при периодическом культивировании // Вестник международной академии холода. 2007. № 1. С. 44–47.

Информация об авторах

Н. П. Супрун – аспирант кафедры химии и биотехнологии В.В. Тутуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета, +79016324182.

Г. С. Гусакова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии и биотехнологии В.В. Тутуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета, +79500647028.

Е. Г. Филатова – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии В.В. Тутуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета, +79501408205.

REFERENCES

1. Scholz-Kulikov, E.P., Ivanchenko, K.V., Ermolin, D.V. & Geok, V.N. (2016). *Chemistry of wine*: textbook. Rostov-on-Don: DSTU Publishing Center. (In Russ.)

2. Vecher, A.S. & Yurchenko, L.A. (1976). *Ciders and apple sparkling wines*. Moscow: Food industry. (In Russ.).

3. Mekhuzla, N.A. & Panasyuk, A.L. (1984). *Fruit wines*. Moscow: Light industry and food industry. (In Russ.).

4. Baskanyan, I.A., Biryukov, V.A. & Krylov, Yu.M. (1976). Mathematical description of the main kinetic regularities of the microorganisms cultivation process. *Microbiology*, (5), 5-75. (In Russ.).

5. Klimovsky, D.N., Stabnikov, V.N. (1960). *Technology of alcohol*: textbook for technol. specialty / ed. Malchenko, A.L. 3rd ed. Moscow: Pishchepromizdat. (In Russ.).

6. Alberti, A., Vieira, R.G., Drilleau, J.F., Wosiacki, G. & Nogueira, A. (2011). Apple wine processing with different nitrogen contents. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, (54), 551-558. (In Eng.). doi:10.1590/S1516-89132011000300017.

7. Alberti, A., Santos, T.P.M., Ferreira Zielinski, A.A., Santos, C.M.E., Braga, C.M., Demiante, I.M. & Nogueira, A. (2016). Impact on chemical profile in apple juice and cider made from unripe, ripe and senescent dessert varieties. *LWT Food Sci. Technol.* (65), 436-443. (In Eng.). doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.045.

8. Kelkar, S. & Dolan, K. (2012). Modeling the effects of initial nitrogen content and temperature on fermentation kinetics of hard cider. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 588-596. (In Eng.). doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.020.

9. Laaksonen, O., Kuldj arv, R., Paalme, T., Virkki, M. & Yang, B. (2017). Impact of apple cultivar, ripening stage, fermentation type and yeast strain on phenolic composition of apple ciders. *Food Chemistry*, 233, 29-37. (In Eng.). doi: doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.067.

10. Lorenzini, M., Simonato, B., Slaghenaufi, D., Ugliano, M. & Zapparoli, G. (2019). Assessment of yeasts for apple juice fermentation and production of cider volatile compounds. *LWT Food Sci. Technol.* 99, 224-230. (In Eng.). doi: 10.1016/j.lwt.2018.09.075.

11. Rosend, J., Kuldj arv, R., Rosenvald, S. & Paalme, T. (2019). The effects of apple variety, ripening stage and yeast strain on the volatile composition of apple cider. *Heliyon*, 5(6), e01953. (In Eng.). doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01953.

12. Rosend, J., Kuldj arv, R., Arju, G. & Nisamedtinov, I. (2019). Yeast performance characterisation in different cider fermentation matrices. *Agronomy Research*, 17(5), 2040-2053. (In Eng.). doi: 10.15159/ar.19.178.

13. Santos, C.M.E.D., Alberti, A., Pietrowski, G.D.A.M., Zielinski, A.A.F., Wosiacki, G., Nogueira, A. & Jorge, R.M.M. (2016). Supplementation of amino acids in apple must for the standardization of volatile compounds in ciders. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(2), 334-341. (In Eng.). doi: 10.1002/jib.318.

14. Gusakova, G.S., Suprun, N.P., Rachenko, M.A., Chesnokova, A.N., Chuparina, E.V., Nemchinova, A.I. & Makarov, S.S. (2019). Study of the biochemical composition of fruits of the Southern Baikal apple tree and its wine products fermented on wood chips. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 9 (4), 22-736. (In Russ.). doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-4-722-736.

15. Rosend, J., Kaleda, A., Kuldj arv, R., Arju, G. & Nisamedtinov, I. (2020). The effect of apple juice concentration on cider fermentation and properties of the final product. *Foods*, (9), 1401. (In Eng.). doi:10.3390/foods9101401.

16. Suprun, N.P., Puldi, V.V., Gusakova, G.S. & Evstafiev, S.N. (2022). Method for production of white apple wine. Pat. 2783427. *Russian Federation, published on 14.11.2022*. Bull. No. 32. (In Russ.).

17. Gerzhikova, V.G. (2009). *Methods of technochemical control in winemaking*: 2nd ed., Simfero-

pol: Taurida. (In Russ.).

18. Tishin, V.B. & Golovinskaya, O.V. (2015). *Experiment and search for mathematical models of the kinetics of biological processes: Proc. allowance*. St. Petersburg: ITMO University; IKhiBT. (In Russ.).

19. Romanovsky, B.V. (2006). *Fundamentals of chemical kinetics: textbook*. Moscow: Exam Publishing House. (In Russ.).

20. Tishin, V.B., Al Asaad Kusay, M. & Khalil, M.M. (2007). Study of the influence of some factors on the growth kinetics of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* during batch cultivation. *Bulletin of the International Academy of Cold*, (1), 44-47. (In Russ.).

Information about the authors

N.P. Suprun - postgraduate student of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Taturina of Irkutsk National Research Technical University, +79016324182.

G.S. Gusakova - Candidate of of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Taturina of Irkutsk National Research Technical University, +79500647028.

E.G. Filatova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Taturina of Irkutsk National Research Technical University, +79501408205.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.