

Научная статья
УДК 663.32:634.11
EDN: AUPZKI
DOI: 10.21285/achb.978



Исследование динамики осветления свежего яблочного сусла различных сортов яблони юга России

Н.М. Агеева, А.А. Ширшова✉, А.А. Храпов

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия,
Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. Исследование динамики осветления яблочного сусла и уплотнения сусловых осадков дает представление изготовителям сидров о возможности применения технологических вспомогательных средств, их дозировках и схемах обработки сусла для его осветления. В настоящей работе изучена динамика осветления свежего яблочного сусла из сортов Марго, Джин, Орфей, Кармен, Экзотика, Либерти, Персиковое, Амулет, Золотое летнее, Кетни. С этой целью осветление сусла проводили спонтанно (отстаиванием) и с применением ферментных препаратов SQzyme PCL и Фруктоцим Р. Мутность сусла определяли с помощью турбидиметра-мутномера LabScat 2. Установлено, что спонтанное осветление свежего яблочного сусла протекало медленно. Внесение ферментных препаратов заметно активизировало процесс осветления. Применение SQzyme PCL уже через 8–16 ч приводило к снижению мутности яблочного сусла из сортов Марго, Джин, Орфей, Экзотика, Либерти на 5–8% в сравнении со спонтанным осветлением сусла из аналогичных сортов. Эффективность препарата Фруктоцим Р была несколько ниже. Показано, что динамика уплотнения сусловых осадков существенно зависит от сортовых особенностей яблочного сусла и продолжительности процесса осветления. Рассчитана величина скорости уплотнения осадков. Наибольшее ее значение отмечено в сусле из сортов Марго, Экзотика, Орфей, наименьшее – в сусле из сорта Персиковое. Внесение SQzyme PCL привело к увеличению скорости уплотнения осадка в 1,5–4,0 раза. Наибольшее увеличение скорости уплотнения осадка отмечено в вариантах сусла из сортов Персиковое и Кармен.

Ключевые слова: плоды яблони, свежее яблочное сусло, осветление, мутность, ферментные препараты, уплотнение осадков

Благодарности. В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования технологичным оборудованием Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (г. Краснодар, Россия).

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/100.

Для цитирования: Агеева Н.М., Ширшова А.А., Храпов А.А. Исследование динамики осветления свежего яблочного сусла различных сортов яблони юга России // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 2. С. 196–206. DOI: 10.21285/achb.978. EDN: AUPZKI.

Clarification dynamics of fresh apple must obtained from different apple cultivars grown in the south of Russia

Natalia M. Ageyeva, Anastasia A. Shirshova✉, Anton A. Khrapov

North Caucasian Federal Scientific Centre of Horticulture, Viticulture, Wine-making,
Krasnodar, Russian Federation

Abstract. Studies on the clarification and compact settling dynamics of apple must provide cider makers with insight into the possibility of using processing aids to achieve must clarification, as well as a better understanding of their usage levels and schemes. The present article analyzes the clarification dynamics of fresh apple must produced from the following cultivars: Margo, Dzhin, Orfey, Karmen, Ekzotika, Liberty, Persikovoe, Amulet, Zolotoe Letnee, and Ketni. In the study, the must clarification was carried out spontaneously (natural settling) and with the use of enzyme preparations, SQzyme PCL and Fructozym P. Must turbidity was determined using a LabScat 2 turbidity meter. The spontaneous clarification of fresh apple must was found to proceed slowly. The use of enzyme preparations significantly enhanced the clarification process. Within 8–16 h of adding SQzyme PCL, a 5–8% decrease was observed in the turbidity of apple must obtained from the cultivars Margo, Dzhin, Orfey, Ekzotika, and Liberty as compared to the spontaneous clarification of must obtained from the same cultivars. The efficacy of Fructozym P. was slightly lower. The compact settling dynamics of must are shown to depend significantly on the varietal characteristics of apple must and clarification duration. The compact settling velocity was calculated. The highest rate was noted in the must obtained from the cultivars Margo, Ekzotika, and Orfey, while the lowest rate was noted in the must produced from the Persikovoe cultivar. The use of SQzyme PCL increased the compact settling velocity by 1.5–4.0 times. The largest increase in the compact settling velocity was observed in the must obtained from Persikovoe and Karmen cultivars.

Keywords: apple fruit, fresh apple must, clarification, turbidity, enzyme preparations, compact settling

Acknowledgment. The study was carried out using the equipment of the Centers for Collective Use of Technological Equipment of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (Krasnodar).

Funding. The Kuban Science Foundation supported the research in the framework of the scientific project no. MFI-20.1/100.

For citation: Ageyeva N.M., Shirshova A.A., Khrapov A.A. Clarification dynamics of fresh apple must obtained from different apple cultivars grown in the south of Russia. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2025;15(2):196-206. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.978. EDN: AUPZKI.

ВВЕДЕНИЕ

В виноделии для осветления и стабилизации свежего виноградного сусла и виноматериалов зачастую используют различные технологические вспомогательные средства, ферментные препараты, которых на российском рынке огромное количество. Яблочное сусло и сидр отличаются по химическому составу от виноградного сусла и вина. Вопросы стабилизации и осветления свежего и сброженного яблочного сусла малоизучены. Многие производители сидра во всем мире выпускают свою продукцию мутной, что допускается действующей в Российской Федерации нормативной документацией. Тем не менее для потребителя при оценке органолептических показателей сидров показатель «внешний вид» не менее важен, чем, например, «аромат» и «вкус» – в большинстве случаев предпочтение отдается напиткам прозрачным, без осадка и посторонних включений. Во Франции и Англии некоторые производители для

того, чтобы осветлить яблочное сусло перед брожением, применяют технологический прием – кивинг, сущность которого заключается в удалении пектиновых веществ из яблочного сусла до начала брожения [1]. В то же время у данного технологического приема есть недостатки: вместе с пектиновыми веществами удаляются азотистые вещества, в том числе аминокислоты, микроэлементы и другие компоненты, тем самым сусло существенно «обедняется», из-за недостатка питательных веществ часть дрожжей погибает, а в готовом напитке остаются несброженные сахара.

Свежее яблочное сусло представляет собой сложную агрегативно неустойчивую коллоидно-химическую систему, состоящую из многочисленных частиц различной химической природы различных размеров и насыщенную полисахаридами [2]. Наличие большого количества последних, в том числе пектиновых веществ, приводит к медленному и плохому

самоосветлению свежего яблочного сусла [3]. Кроме того, присутствие пектиновых соединений, выполняющих роль «защитных коллоидов», препятствует образованию крупных коллоидных частиц, их агрегированию и седиментации. Это приводит к тому, что даже применение суспензий глинистых минералов (бентонитов) [4] или синтетических оклеивающих технологических вспомогательных средств не обеспечивает качественного осветления яблочного сусла, в связи с чем актуальным, несомненно, становится применение ферментных препаратов, особенно комплексного действия, в состав которых входят пектиназы. Эффективность использования комплексных ферментных препаратов при обработке яблочного сусла определяется их воздействием не столько на отдельные компоненты высокомолекулярных веществ, сколько на комплексы биополимеров, в том числе фенольно-полисахаридные, играющие большую роль в сложении структуры агрегативно неустойчивой коллоидно-химической системы яблочного сусла [5–7]. Комплексные ферментные препараты отличаются разнообразием групп ферментов, гидролизующих субстраты углеводной и белковой природы. Отличие между препаратами заключается в разных уровнях каталитической активности одного и того же фермента в зависимости от химического состава обрабатываемой среды и внешних условий. Гидролиз биополимеров, протекающий под действием комплексных ферментных препаратов или композиций, позволяет не только существенно снизить расход оклеивающих веществ в период обработки свежего яблочного сусла и сброженного яблочного сусла, но и повысить его коллоидную стабильность. Преимущества ферментативной обработки в плане пролонгирования устойчивости яблочного сока и сидров к помутнениям различной природы бесспорны [8–10].

В связи с этим целью проведенного исследования являлось изучение динамики осветления свежего яблочного сусла из различных сортов яблони юга России.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследований использовано свежее яблочное сусло из плодов яблони (далее – яблок) сортов отечественной и зарубежной селекции, в том числе сортов и форм селекции Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (ФГБНУ СКФНЦСВВ) (г. Краснодар, Россия), различных сроков созревания (Марго, Джин, Орфей, Кармен, Экзотика, Либерти, Персиковое, Амулет, Золотое летнее, Кетни), произрастающих в Центре коллективного пользования «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур», расположенном в АО ОПХ «Центральное» (г. Краснодар) [11]. Отбор плодов яблони, типичных по форме, окраске и степени зрелости, с 3–5 деревьев каждого сорта проводили согласно общепринятой методике сортоизучения [12] в оптимальной зрелости с разных сторон кроны дерева по отношению к сторонам света.

Свежее яблочное сусло получали следующим образом: плоды яблони мыли, затем измельчали с помощью дробилки (мощность двигателя – 1,1 кВт, производительность – 500 кг/ч, размер частиц мезги – 0,4×0,4 см) каждый сорт по-отдельности, затем прессовали, отделяя свежее

яблочное сусло от мезги с применением гидравлического пресса с мембраной EPDM 4 мм, давлением 250 кг/см² (производитель оборудования – ООО «Ректифай», г. Санкт-Петербург, Россия) в лабораторно-производственном подразделении «Микровиноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ. Для исследования динамики осветления в мезгу вносили ферментные препараты пектопротолитического действия: SQzyme PCL (Suntaq, Китай) и Фруктоцим Р (Erbsloeh Geisenheim AG, Германия) в дозировке 1,5 см³/дал сусла. Ферментный препарат SQzyme PCL представлял концентрированную жидкую пектиназу, состоящую из полиметилгалактуронатлиазы, полигалактуроназы, полигалактуронатлиазы и пектинэстеразы, рабочий диапазон температур – 25–65 °С). Ферментный препарат Фруктоцим Р – высококонцентрированную жидкую пектиназу, рабочий диапазон температуры – 45–55 °С). Выход сусла составил от 43,8 до 68,8% в зависимости от сорта яблони и ферментного препарата. Мутность сусла определяли с помощью турбидиметра-мутномера LabScat 2 (Sigrist, Швейцария) и измеряли в процентах относительно эталона, величина мутности которого составляла 100%. Наблюдения за изменением мутности проводили в течение 32 ч с шагом в 4 ч, для чего использовали осветлившуюся надосадочную часть свежего яблочного сусла. Так как из свежего яблочного сусла в дальнейшем планировалось изготавливать сидр, осветление сусла проводили отставиванием при низких температурах (4–6 °С) согласно общепринятым основным правилам виноделия, наблюдая за динамикой изменения мутности.

Исследования проводили в НЦ «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ. Измерение величины мутности опытных образцов свежего яблочного сусла, изучение уплотнения осадков и средней скорости уплотнения осадков проводили в трехкратной повторности с оценкой приемлемости результатов. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа ANOVA (тест Тьюки) с использованием программы Microsoft Excel 2021.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования (табл. 1) показали, что все образцы свежего яблочного сусла представляли собой пюреобразную мутную непрозрачную жидкость. Видимые признаки начала осветления наблюдали через 8–16 ч только в некоторых образцах сусла – Марго, Экзотика, Орфей. Сусло из сортов яблок Персиковое, Кетни, Амулет, Золотое летнее, Кармен оставалось мутным в течение суток наблюдения.

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных методом дисперсионного анализа ANOVA (тест Тьюки) показала, что разность средних значений мутности между отдельными сортами сусла имела высокий уровень статистической значимости ($p < 0,01$), разность средних значений мутности в зависимости от ферментного препарата имела статистически достоверные различия ($P < 0,05$).

По качеству спонтанного осветления в зависимости от сорта яблок сусло можно разделить на следующие группы:

– Марго, Джин, Орфей, Экзотика, Либерти, в которых через 8 ч было заметно активное образование агрегатов, сопровождающееся признаками осветления;

Таблица 1. Изменение величины мутности свежего яблочного сусла

Table 1. Change in the turbidity value of fresh apple must

Сорт яблок	Мутность сусла, %					
	исходная	через 4 ч	через 8 ч	через 16 ч	через 24 ч	через 32 ч
Спонтанное осветление без внесения ферментных препаратов						
Марго	88,8	88,2	82,6	78,4	76,8	75,7
Джин	92,6	92,4	92,0	88,7	87,5	87,0
Орфей	91,8	90,5	88,7	87,4	86,7	85,4
Кармен	96,4	96,4	96,0	95,7	94,5	93,7
Экзотика	90,6	89,6	87,6	85,8	83,0	80,6
Либерти	91,8	91,8	90,4	88,7	87,3	85,7
Персиковое	Пюре	Пюре	94,8	93,0	91,7	91,0
Амулет	Пюре	Пюре	96,2	94,7	91,8	90,4
Золотое летнее	Пюре	Пюре	95,7	94,4	92,7	91,6
Кетни	Пюре	Пюре	Пюре	95,7	94,5	93,5
Осветление в присутствии ферментного препарата SQzyme PCL						
Марго	88,8	85,4	80,3	73,6	70,5	64,6
Джин	92,6	90,2	87,4	81,2	74,3	65,7
Орфей	91,8	89,6	86,4	80,8	76,7	70,3
Кармен	96,4	94,8	90,3	87,6	83,4	80,0
Экзотика	90,6	86,5	84,3	80,6	74,5	68,2
Либерти	91,8	88,6	85,4	80,5	74,7	70,4
Персиковое	Пюре	93,2	90,7	88,3	86,8	83,7
Амулет	Пюре	94,7	92,3	90,8	85,4	83,6
Золотое летнее	Пюре	Пюре	94,7	93,2	89,5	87,8
Кетни	Пюре	Пюре	Пюре	93,8	90,2	88,7
Осветление в присутствии ферментного препарата Фруктоцим Р						
Марго	88,8	87,2	84,6	81,5	78,3	76,4
Джин	92,6	92,4	90,4	87,8	85,3	81,4
Орфей	91,8	89,8	87,6	85,8	82,6	79,3
Кармен	96,4	94,4	90,3	87,6	85,4	84,0
Экзотика	90,6	86,5	93,3	88,4	85,7	84,4
Либерти	91,8	88,4	87,0	84,6	82,3	80,7
Персиковое	Пюре	93,9	91,6	90,3	87,2	85,8
Амулет	Пюре	95,8	94,6	92,3	90,8	88,3
Золотое летнее	Пюре	Пюре	96,2	93,8	90,6	88,8
Кетни	Пюре	Пюре	Пюре	95,0	93,5	90,2

– Кармен, Персиковое, Амулет, Золотое летнее, Кетни, в которых в течение 32 ч наблюдения сохранялось высокое значение мутности, а также отмечено расслоение жидкости на очень мутную и пюреобразную части (рис. 1).

Наиболее существенное снижение величины мутности было выявлено в первые 8 ч, в течение которых протекало взаимодействие между отдельными компонентами сусла с образованием конгломератов и агрегатов: в первой группе были заметны крупные частицы, медленно оседающие в процессе осветления, при этом сусло из яблок второй группы сохраняло пюреобразную консистенцию [13, 14].

Внесение в мезгу ферментного препарата SQzyme PCL (рис. 2) заметно активировало процесс осветления большинства образцов яблочного сусла. Наибольшее снижение величины мутности отмечено в образцах сусла из сортов Марго, Джин, Орфей, Экзотика, Либерти уже в течение первых часов наблюдения. Даже в труднообрабатываемых вариантах – Кармен, Кетни, Персиковое, Амулет, Золотое летнее – наблюдались процессы седиментации коллоидных частиц, что привело к снижению мутности и образованию осветленной части сусла.

Сравнительный анализ динамики осветления сусла с применением ферментных препаратов SQzyme PCL

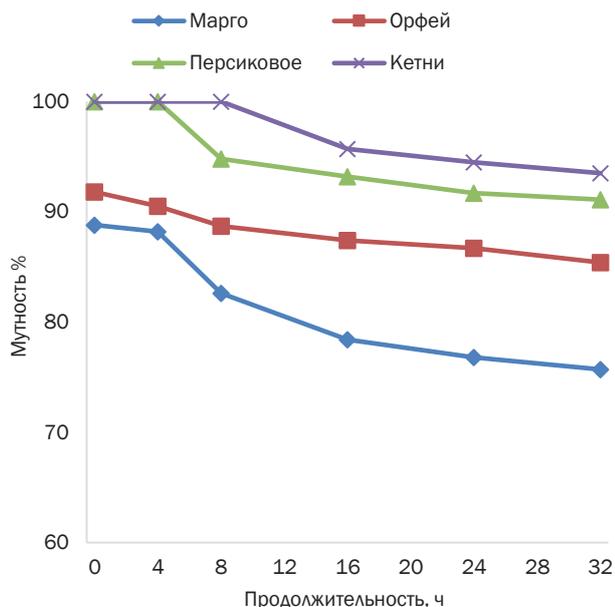


Рис. 1. Динамика спонтанного осветления сусла без внесения ферментных препаратов

Fig. 1. Dynamics of spontaneous must clarification without the addition of enzyme preparations

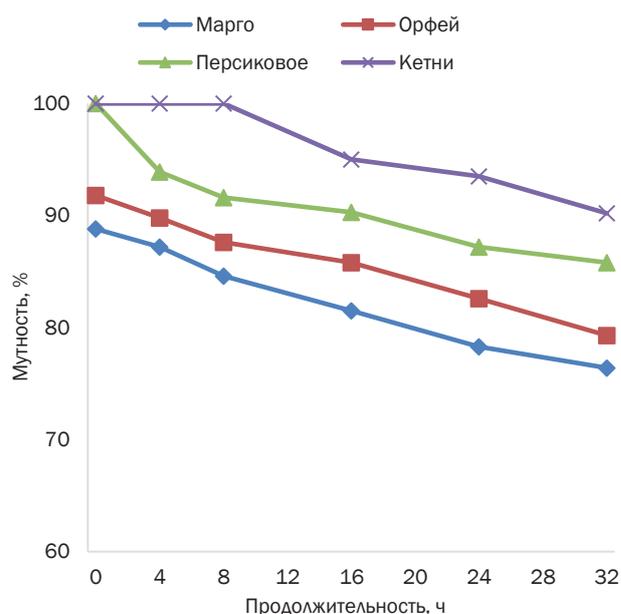


Рис. 3. Динамика осветления сусла с применением ферментного препарата Фруктоцим Р

Fig. 3. Dynamics of must clarification using Fructozyme R enzyme preparation

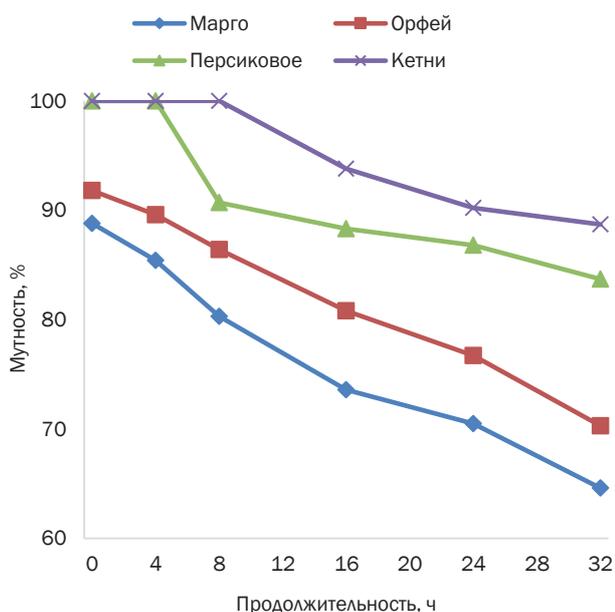


Рис. 2. Динамика осветления сусла с применением ферментного препарата SQzyme PCL

Fig. 2. Dynamics of must clarification using SQzyme PCL enzyme preparation

(см. рис. 2) и Фруктоцим Р (рис. 3) показал большую эффективность ферментного препарата SQzyme PCL в сравнении с Фруктоцимом Р. Возможно, это связано с наличием в составе SQzyme PCL большего количества пектиназ – полигалактуроназы, пектинлиазы, пектинэстеразы, пектинметилэстеразы, проявляющих высокую гидролитическую способность относительно полисахаридов, в том числе пектиновых веществ.

Применение ферментного препарата SQzyme PCL уже в течение 8–16 ч приводило к снижению мутности в свежем яблочном сусле из сортов Марго, Джин, Орфей, Экзотика, Либерти на 5–8% в сравнении со спонтанным осветлением. Даже в трудноосветляемых вариантах сусла из сортов яблок Персиковое, Кетни, Кармен отмечалось снижение величины мутности. Аналогичная тенденция наблюдалась при обработке сусла ферментным препаратом Фруктоцим Р, однако величина мутности была выше, а осветление протекало медленнее в сравнении с результатами применения препарата SQzyme PCL.

К числу важнейших характеристик процесса осветления относится динамика формирования осадков и спонтанного уплотнения частиц, зависящая от их плотности и пористости, обусловленной количеством осаждаемых высокомолекулярных компонентов, их способностью образовывать прочные легко оседающие агрегаты [14, 15]. При этом осадки следует рассматривать как дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсной средой – жидкость, то есть осветленное сусло [16]. В результате такого уплотнения удаляется большая часть жидкости, то есть сусла, энергия связи которого со структурой твердой фазы осадка снижается. Благодаря уплотнению осадков становится возможным увеличение выхода осветленного сусла для производства сидров. Уплотнение осадков является важной частью общей проблемы осветления яблочного сусла и соков, при этом значительно уменьшается их объем, пористость, но увеличивается выход осветленной фракции [17, 18].

Для проведения исследования осадки, образовавшиеся после спонтанного осветления сусла без использования ферментных препаратов и с их применением, отделяли от осветленной фракции и

оставляли для наблюдения за темпами осветления в цилиндрах с делениями (техника гравитационного уплотнения).

Для облегчения расчетов при исследовании использовали одинаковые объемы осадков (100 см³). В табл. 2 приведена динамика уплотнений осадков и данные расчета средней скорости уплотнения осадка за весь период наблюдения при коэффициенте корреляции 0,93–0,95 [19].

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных показала, что разность средних значений объема осадка и средней скорости уплотнения осадков между отдельными сортами сусла имела высокий уровень статистической значимости ($p < 0,01$), разность средних значений объема осадка и средней скорости уплотнения осадков в зависимости от внесенного ферментного препарата имела статистически достоверные различия ($P < 0,05$).

Таблица 2. Динамика уплотнения осадка

Table 2. Dynamics of sediment compaction

Сорт яблок	Объем осадка, см ³						Средняя скорость уплотнения осадка, см ³ /ч
	исходный	через 1 сут.	через 2 сут.	через 3 сут.	через 4 сут.	через 5 сут.	
Спонтанное осветление без внесения ферментных препаратов							
Марго	100,0	95,8	92,4	87,4	80,8	76,2	0,25
Джин	100,0	98,6	96,5	93,4	90,7	86,4	0,14
Орфей	100,0	97,2	95,3	90,4	83,7	81,6	0,19
Кармен	100,0	98,7	97,0	95,0	93,2	91,7	0,09
Экзотика	100,0	94,8	91,0	87,5	82,6	80,0	0,21
Либерти	100,0	96,8	94,7	92,8	89,6	85,4	0,15
Персиковое	100,0	100,0	100,0	98,2	97,5	95,0	0,04
Амулет	100,0	100,0	97,6	95,0	93,2	91,4	0,09
Золотое летнее	100,0	100,0	98,2	96,4	93,5	91,8	0,09
Кетни	100,0	100,0	100,0	98,5	96,0	93,0	0,08
Осветление в присутствии ферментного препарата SQzyme PCL							
Марго	100,0	93,4	88,6	80,4	74,6	68,3	0,33
Джин	100,0	97,4	93,5	86,6	80,8	70,4	0,32
Орфей	100,0	93,2	90,4	87,0	80,5	74,0	0,27
Кармен	100,0	97,8	95,2	86,4	80,5	75,0	0,26
Экзотика	100,0	94,0	86,5	78,5	73,4	69,0	0,33
Либерти	100,0	94,6	90,8	87,0	81,4	74,2	0,27
Персиковое	100,0	100,0	93,6	88,4	83,2	77,6	0,16
Амулет	100,0	100,0	95,2	91,0	85,4	81,7	0,18
Золотое летнее	100,0	98,3	92,6	89,7	85,0	81,3	0,19
Кетни	100,0	100,0	100,0	94,6	89,5	83,2	0,17
Осветление в присутствии ферментного препарата Фруктоцим Р							
Марго	100,0	94,8	90,5	85,4	77,6	70,2	0,30
Джин	100,0	94,0	90,5	86,0	83,4	75,6	0,17
Орфей	100,0	94,6	92,8	89,3	84,0	76,0	0,17
Кармен	100,0	97,8	96,0	90,2	86,2	80,3	0,14
Экзотика	100,0	95,4	90,2	81,7	75,8	73,2	0,18
Либерти	100,0	96,5	92,4	89,0	83,6	78,0	0,16
Персиковое	100,0	100,0	98,5	93,5	89,3	84,8	0,13
Амулет	100,0	100,0	98,7	95,0	91,4	84,7	0,13
Золотое летнее	100,0	98,3	95,6	91,7	87,6	85,0	0,13
Кетни	100,0	100,0	100,0	100,0	95,5	90,5	0,12

В результате исследований установлена зависимость между качеством осветления свежего яблочного суслу и динамикой уплотнения осадков. Наибольшая скорость спонтанного уплотнения осадков отмечалась в вариантах суслу из яблок сортов Марго, Экзотика, Орфей, наименьшая – в сусле из сорта Персиковое. Внесение ферментного препарата SQzyme PCL привело к увеличению скорости уплотнения осадка в 1,5–4,0 раза. Наибольшее увеличение скорости отмечено в вариантах суслу из сортов Персиковое (в 4,0 раза) и Кармен (в 2,9 раза), что свидетельствует о трансформации сложных комплексов, включающих полисахариды, в том числе пектиновые вещества [20–25].

На рис. 4–6 наглядно прослеживаются основные этапы уплотнения осадков, различающиеся в зависимости от сорта яблок. Для сортов Персиковое и Кетни видимые признаки уплотнения осадков наблюдали через 3 сут. Внесение ферментных препаратов, особенно SQzyme PCL, способствовало ускорению процесса уплотнения: видимые признаки группирования осадка отмечали уже на 2-е сут. наблюдения.

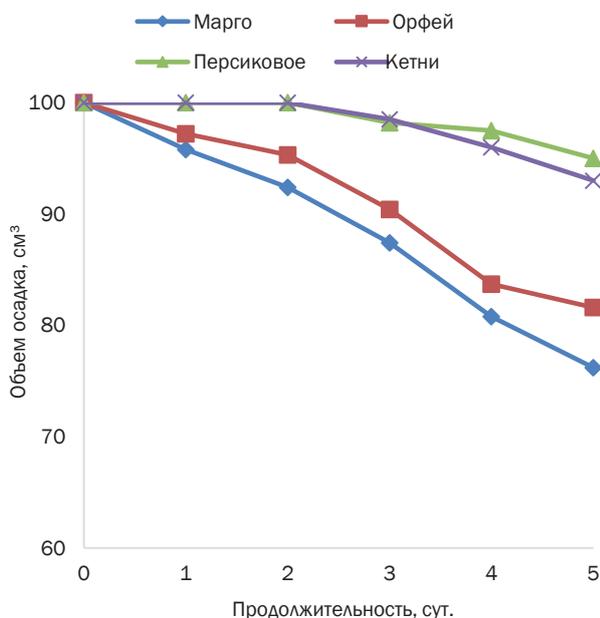


Рис. 4. Динамика уплотнения осадка при спонтанном осветлении суслу без внесения ферментных препаратов

Fig. 4. Dynamics of sediment compaction during spontaneous must clarification without the addition of enzyme preparations

На рис. 7 представлено изменение скорости уплотнения осадков в зависимости от сорта яблок и применения ферментного препарата. Из данных рисунка следует, что осадки спонтанно осветлившегося суслу уплотняются медленнее независимо от сорта яблок.

Внесение ферментных препаратов позволило увеличить скорость уплотнения осадков, особенно в труднообрабатываемых образцах суслу – Персиковое и Кетни (в 1,5–2,0 раза). Следовательно, внесение ферментных препаратов обеспечивает увеличение выхода суслу не только при переработке яблок, но и при группировке суловых осадков.

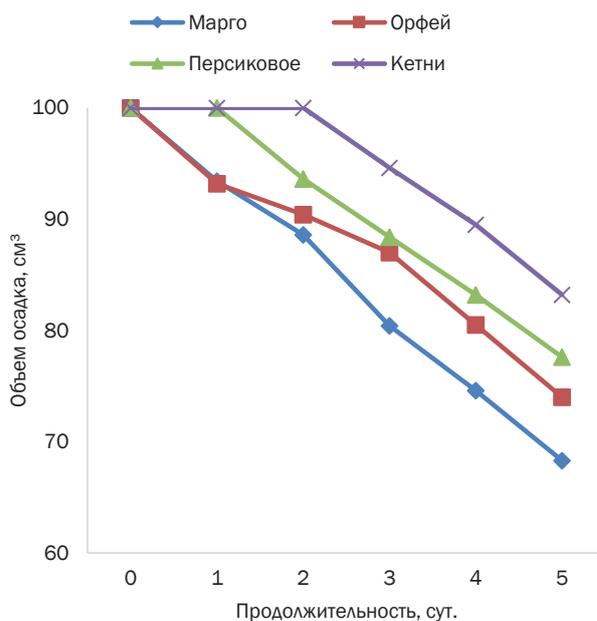


Рис. 5. Динамика уплотнения осадка в присутствии ферментного препарата SQzyme PCL

Fig. 5. Dynamics of sediment compaction in the presence of SQzyme PCL enzyme preparation

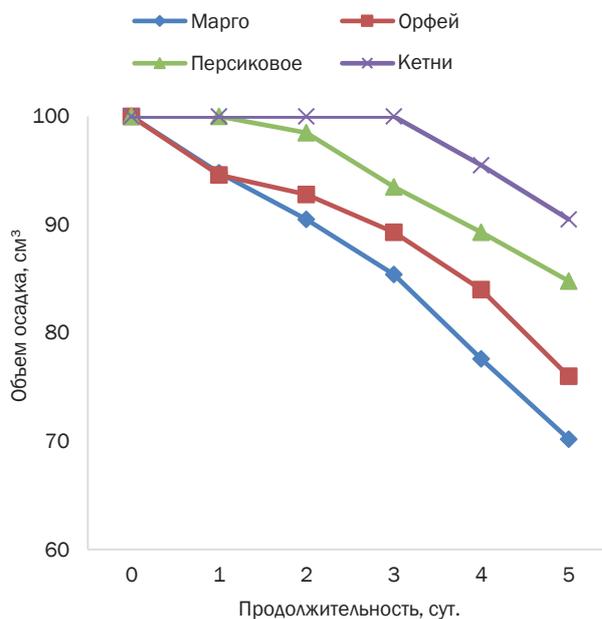


Рис. 6. Динамика уплотнения осадка в присутствии ферментного препарата Фруктозим Р

Fig. 6. Dynamics of sediment compaction in the presence of Fructozyme R enzyme preparation

Таким образом, представленные экспериментальные данные наглядно свидетельствуют о существенном влиянии сортовых особенностей яблок на динамику осветления свежего яблочного суслу и уплотнения суловых осадков.

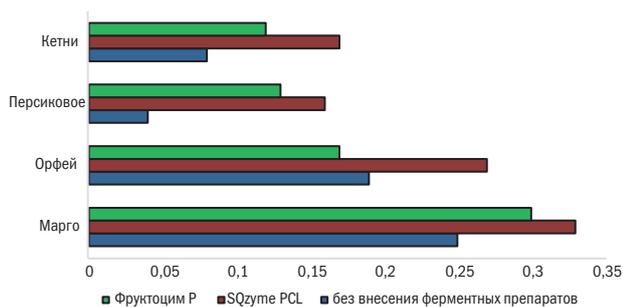


Рис. 7. Средняя скорость уплотнения осадка, см³/ч

Fig. 7. Average speed of sediment compaction, cm³/h

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По качеству спонтанного осветления и величине показателя мутности все исследованные сорта яблок можно разделить на две группы: Марго, Джин, Орфей,

Экзотика, Либерти, в которых через 8 ч было отмечено активное образование агрегатов, сопровождающееся признаками осветления; Кармен, Персиковое, Амулет, Золотое летнее, Нетни, в которых в течение 32 ч наблюдения сохранялось высокое значение мутности, а также отмечено расслоение жидкости на очень мутную и пюреобразную части. Динамика и скорость уплотнения осадков существенно изменялись в зависимости от сорта яблок, что обусловлено генетическими особенностями каждого сорта. Наибольшая скорость уплотнения осадков установлена при переработке яблок с использованием ферментных препаратов. Так, применение SQzyme PCL привело к наибольшему увеличению скорости уплотнения осадка в свежем яблочном сусле из сортов Персиковое (в 4,0 раза) и Кармен (в 2,9 раза) в сравнении со спонтанным осветлением (без применения ферментных препаратов), что свидетельствует о трансформации сложных комплексов, включающих полисахариды, в том числе пектиновые вещества.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tarko T., Januszek M., Duda-Chodak A., Sroka P. How keeing determines oenological parameters and concentration of volatile compounds in ciders? // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. Vol. 100. P. 103897. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.103897.
2. Zhong W., Yuan W., Wang J., Wu Z., Du H., Huang X., et al. Antioxidant and preservation effects of tea polyphenols on apple juice // *Food Bioscience*. 2024. Vol. 60. P. 104288. DOI: 10.1016/j.fbio.2024.104288.
3. Ташланов Н.Ю., Сайдалиев И.Н. Осветление плодово-ягодных соков обработкой ультразвуком // *Вестник Курганского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2015. N 1. С. 70–72. EDN: TXHTLF.
4. Агеева Н.М., Ширшова А.А., Ульяновская Е.В., Храпов А.А., Чернуцкая Е.А. Исследование процесса осветления яблочного сусле с применением различных вспомогательных средств // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2024. N 2. С. 204–218. DOI: 10.30679/2219-5335-2024-2-86-204-218. EDN: MLJZXD.
5. Гнетько Л.В., Неровных Л.П., Удычак М.М., Сихохова Б.Б., Коблева М.М. Влияние ферментативного катализа на технологические параметры производства яблочных соков // *Новые технологии*. 2021. Т. 17. N 4. С. 33–41. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-4-33-41. EDN: WWPDYH.
6. Ozyilmaz G., Gunay E. Clarification of apple, grape and pear juices by co-immobilized amylase, pectinase and cellulase // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 398. P. 133900. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133900.
7. Zhu D., Zhang Y., Kou C. Ultrasonic and other sterilization methods on nutrition and flavor of cloudy apple juice // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. Vol. 84. P. 105975. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.105975.
8. Bhattacharya R., Arora S., Ghosh S. Bioprocess optimization for food-grade cellulolytic enzyme production from sorghum waste in a novel solid-state fermentation bioreactor for enhanced apple juice clarification // *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 358. P. 120781. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.120781.
9. Kharazmi S., Taheri-Kafrani A., Soozanipour A., Nasrollahzadeh M., Varma R.S. Xylanase immobilization onto trichlorotriazine-functionalized polyethylene glycol

- grafted magnetic nanoparticles: a thermostable and robust nanobiocatalyst for fruit juice clarification // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 163. P. 402–413. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.273.
10. Ladeira Ázar R.I.S., da Luz Morales M., Maitan-Alfenas G.P., Falkoski D.L., Alfenas R.F., Guimarães V.M. Apple juice clarification by a purified polygalacturonase from *Calonectria pteridis* // *Food and Bioproducts Processing*. 2020. Vol. 119. P. 238–245. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.11.013.
11. Агеева Н.М., Ульяновская Е.В., Храпов А.А., Тихонова А.Н., Чернуцкая Е.А. Физико-химические показатели яблок как сырья для производства сидров // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2023. N 2. С. 211–225. DOI: 10.30679/2219-5335-2023-2-80-211-225. EDN: ZKCLCU.
12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / ред. Е.Н. Седов, Т.П. Огольцова. Орел: Изд-во ВНИИСПК, 1999. 608 с. EDN: YHAOZT.
13. Zhu D., Kou C., Shen Y., Xi P., Cao X., Liu H., et al. Effects of different processing steps on the flavor and colloidal properties of cloudy apple juice // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. Vol. 101, no. 9. P. 3819–3826. DOI: 10.1002/jsfa.11016.
14. Zhu D., Shen Y., Wei L., Xu L., Cao X., Liu H., et al. Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 328. P. 126967. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126967.
15. Padma P.N., Sravani P., Mishra P., Narayan S., Kappagantula A. Synergistic effect of multiple enzymes on apple juice clarification // *Indian Journal of Science and Technology*. 2017. Vol. 10, no. 10. P. 1–5. DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i10/107716.
16. Antón-Díaz M.J., Suárez Valles B., Mangas-Alonso J.J., Fernández-García O., Picinelli-Lobo A. Impact of different techniques involving contact with lees on the volatile composition of cider // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 190. P. 1116–1122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.018.
17. Sharma H.P., Patel H., Sugandha. Enzymatic added extraction and clarification of fruit juices – a review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017.

Vol. 57, no. 6. P. 1215–1227. DOI: 10.1080/10408398.2014.977434.

18. Агеева Н.М., Ширшова А.А., Ульяновская Е.В., Храпов А.А., Чернуцкая Е.А. Исследование процесса осветления яблочного сула в зависимости от сортов яблоки // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. N 5. С. 176–187. DOI: 10.30679/2219-5335-2023-5-83-176-187. EDN: TNSUAO.

19. Лычников Д.С., Елизаров Л.Г. Метод определения коллоидно-дисперсного состава жидких пищевых продуктов. М.: Изд-во ЦНИИТЭИ Пищепром, 1983. N 3. 32 с.

20. Mihalev K.R., Dinkova V., Shikov P., Mollov P. Classification of fruit juices // Fruit juices. Extraction, composition, quality and analysis / eds G. Rajauria, B.K. Tiwari. Academic Press, 2018. P. 33–44. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00003-5.

21. Бутова С.Н., Вольнова Е.Р., Николаева Ю.В., Едличкова Я. Совершенствование технологии плодово-ягодных соков с использованием пектолитических ферментов // Health, Food & Biotechnology. 2020. T. 2.

N 1. С. 128–139. DOI: 10.36107/hfb.2020.i1.s296. EDN: DUMBEA.

22. Scutarășu E.-C., Luchian C.E., Vlase L., Colibaba L.C., Gheldiu A.M., Cotea V.V. Evolution of phenolic profile of white wines treated with enzymes // Food Chemistry. 2021. Vol. 340. P. 127910. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127910.

23. Lhamo S., Tobgay S., Maya D., Deki S. Study on clarification of apple juice using enzymes // Bhutanese Journal of Agriculture. 2022. Vol. 5, no. 1. P. 183–195. DOI: 10.55925/btagr.22.5115.

24. Enzymes in food technology. Improvements and innovations / ed. M. Kuddus. Singapore: Springer, 2018. 419 p. DOI: 10.1007/978-981-13-1933-4.

25. Li Q., Qin C., Chen X., Hu K., Li J., Liu A., et al. Enhancing the acid stability of the recombinant GH11 xylanase xynA through N-terminal substitution to facilitate its application in apple juice clarification // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. Vol. 268. Pt. 1. P. 131857. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.131857.

REFERENCES

1. Tarko T., Januszek M., Duda-Chodak A., Sroka P. How keeving determines oenological parameters and concentration of volatile compounds in ciders? *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021;100:103897. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.103897.

2. Zhong W., Yuan W., Wang J., Wu Z., Du H., Huang X., et al. Antioxidant and preservation effects of tea polyphenols on apple juice. *Food Bioscience*. 2024;60:104288. DOI: 10.1016/j.fbio.2024.104288.

3. Tashlanov N.Y., Saydaliev I.N. Ultrasound clarification of fruit juice. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2015;1:70–72. (In Russian). EDN: TXHTLF.

4. Ageyeva N.M., Shirshova A.A., Ulyanovskaya E.V., Khrapov A.A., Chernutskaya E.A. Studying of clarification process of apple must using various technological means. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2024;2:204–218. (In Russian). DOI: 10.30679/2219-5335-2024-2-86-204-218. EDN: MLJZXD.

5. Gnetko L.V., Nerovnykh L.P., Udychak M.M., Siyukhova B.B., Kobleva M.M. Influence of enzymatic catalysis on technological parameters of apple juice production. *New technologies*. 2021;17(4):33–41. (In Russian). DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-4-33-41. EDN: WWPDYH.

6. Ozyilmaz G., Gunay E. Clarification of apple, grape and pear juices by co-immobilized amylase, pectinase and cellulose. *Food Chemistry*. 2023;398:133900. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133900.

7. Zhu D., Zhang Y., Kou C. Ultrasonic and other sterilization methods on nutrition and flavor of cloudy apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022;84:105975. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.105975.

8. Bhattacharya R., Arora S., Ghosh S. Bioprocess optimization for food-grade cellulolytic enzyme production from sorghum waste in a novel solid-state fermentation bioreactor for enhanced apple juice clarification. *Journal of Environmental Management*. 2024;358:120781. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.120781.

9. Kharazmi S., Taheri-Kafrani A., Soozanipour A., Nasrollahzadeh M., Varma R.S. Xylanase immobilization

onto trichlorotriazine-functionalized polyethylene glycol grafted magnetic nanoparticles: a thermostable and robust nanobiocatalyst for fruit juice clarification. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;163:402–413. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.273.

10. Ladeira Ázar R.I.S., da Luz Morales M., Maitan-Alfenas G.P., Falkoski D.L., Alfenas R.F., Guimarães V.M. Apple juice clarification by a purified polygalacturonase from *Calonectria pteridis*. *Food and Bioprocess Processing*. 2020;119:238–245. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.11.013.

11. Ageyeva N.M., Ulyanovskaya E.V., Khrapov A.A., Tikhonova A.N., Chernutskaya E.A. Physical and chemical indicators of apples as raw materials for the production of ciders. *Fruit growing and viticulture of the South of Russia*. 2023;2:211–225. (In Russian). DOI: 10.30679/2219-5335-2023-2-80-211-225. EDN: ZKCLCU.

12. Sedov E.N., Ogol'cova T.P. *Program and methodology for studying varieties of fruit, berry and nut crops*. Orel: All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding; 1999, 608 p. (In Russian). EDN: YHAOZT.

13. Zhu D., Kou C., Shen Y., Xi P., Cao X., Liu H., et al. Effects of different processing steps on the flavor and colloidal properties of cloudy apple juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(9):3819–3826. DOI: 10.1002/jsfa.11016.

14. Zhu D., Shen Y., Wei L., Xu L., Cao X., Liu H., et al. Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice. *Food Chemistry*. 2020;328:126967. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126967.

15. Padma P.N., Sravani P., Mishra P., Narayan S., Kappagantula A. Synergistic effect of multiple enzymes on apple juice clarification. *Indian Journal of Science and Technology*. 2017;10(10):1–5. DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i10/107716.

16. Antón-Díaz M.J., Suárez Valles B., Mangas-Alonso J.J., Fernández-García O., Picinelli-Lobo A. Impact of different techniques involving contact with lees on the volatile composition of cider. *Food Chemistry*. 2016;190:1116–1122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.018.

17. Sharma H.P., Patel H., Sugandha. Enzymatic added extraction and clarification of fruit juices – a review. *Critical*

Reviews in Food Science and Nutrition. 2017;57(6):1215-1227. DOI: 10.1080/10408398.2014.977434.

18. Ageyeva N.M., Shirshova A.A., Ulyanovskaya E.V., Khrapov A.A., Chernutskaya E.A. Study of the clarification of apple must depending on the apple varieties. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2023;5:176-187. (In Russian). DOI: 10.30679/2219-5335-2023-5-83-176-187. EDN: TNSUAO.

19. Lychnikov D.S., Elizarov L.G. *Method for determining the colloidal dispersed composition of liquid food products*. Moscow: Central Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research of the Food Industry; 1983, no. 3, 32 p. (In Russian).

20. Mihalev K.R., Dinkova V., Shikov P., Mollov P. Classification of fruit juices. In: Rajauria G., Tiwari B.K. (eds). *Fruit juices. Extraction, composition, quality and analysis*. Academic Press; 2018, p. 33-44. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00003-5.

21. Butova S.N., Volnova E.R., Nikolaeva Yu.V., Jedlickova Ja. Improvement of fruit-berry juices technology using pectolytic

enzymes. *Health, Food & Biotechnology*. 2020;2(1):128-139. (In Russian). DOI: 10.36107/hfb.2020.i1.s296. EDN: DUMBEA.

22. Scutarășu E.-C., Luchian C.E., Vlase L., Colibaba L.C., Gheldiu A.M., Cotea V.V. Evolution of phenolic profile of white wines treated with enzymes. *Food Chemistry*. 2021;340:127910. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127910.

23. Lhamo S., Tobgay S., Maya D., Deki S. Study on clarification of apple juice using enzymes. *Bhutanese Journal of Agriculture*. 2022;5(1):183-195. DOI: 10.55925/btagr.22.5115.

24. Kuddus M. *Enzymes in food technology. Improvements and innovations*. Singapore: Springer; 2018, 419 p. DOI: 10.1007/978-981-13-1933-4.

25. Li Q., Qin C., Chen X., Hu K., Li J., Liu A., et al. Enhancing the acid stability of the recombinant GH11 xylanase xynA through N-terminal substitution to facilitate its application in apple juice clarification. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024;268:131857. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.131857.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агеева Наталья Михайловна,

д.т.н., профессор,
главный научный сотрудник,
Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградства, виноделия,
350072, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39,
Российская Федерация,
ageyeva@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>

Ширшова Анастасия Александровна,

к.т.н., старший научный сотрудник,
Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградства, виноделия,
350072, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39,
Российская Федерация,
✉ anastasiya_1987@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1428-5935>

Храпов Антон Александрович,

научный сотрудник,
Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградства, виноделия,
350072, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39,
Российская Федерация,
khrapov-anton@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalia M. Ageyeva,

Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Chief Researcher,
North Caucasian Federal Scientific Centre
of Horticulture, Viticulture, Wine-making,
39, 40-letia Pobedy St., Krasnodar,
350072, Russian Federation,
ageyeva@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>

Anastasia A. Shirshova,

Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher,
North Caucasian Federal Scientific Centre
of Horticulture, Viticulture, Wine-making,
39, 40-letia Pobedy St., Krasnodar,
350072, Russian Federation,
✉ anastasiya_1987@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1428-5935>

Anton A. Khrapov,

Researcher,
North Caucasian Federal Scientific Centre
of Horticulture, Viticulture, Wine-making,
39, 40-letia Pobedy St., Krasnodar,
350072, Russian Federation,
khrapov-anton@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

Вклад авторов

Н.М. Агеева – научное руководство, разработка концепции, административное руководство исследовательским проектом, написание черновика рукописи.
А.А. Ширшова – проведение исследования, визуализация, редактирование рукописи, курирование данных.
А.А. Храпов – предоставление ресурсов, валидация результатов, формальный анализ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 30.05.2024.
Одобрена после рецензирования 11.09.2024.
Принята к публикации 31.05.2025.

Contribution of the authors

Natalia M. Ageyeva – supervision, conceptualization, project administration, writing – original draft.
Anastasia A. Shirshova – investigation, visualization, data curation, editing.
Anton A. Khrapov – resources, validation, formal analysis.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

*The article was submitted 30.05.2024.
Approved after reviewing 11.09.2024.
Accepted for publication 31.05.2025.*