

## Роль технологических факторов в формировании SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов

Пескова И.В.<sup>✉</sup>, Остроухова Е.В., Зайцева О.В., Луткова Н.Ю., Вьюгина М.А.

Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, г. Ялта, Республика Крым, Россия

<sup>✉</sup>yarinka-73@mail.ru

**Аннотация.** Работа направлена на развитие сектора винопродукции с повышенной адаптацией к физиологическим потребностям человека, в частности, на снижение содержания диоксида серы в белых винах. Цель – изучение влияния технологических приемов на формирование SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов, являющегося фактором эффективности антиоксидантного и антимикробного действия диоксида серы. Методика эксперимента включала выработку виноматериалов из винограда разных сортов при варьировании режимов и параметров технологических операций; аналитические исследования винограда и виноматериалов общепринятыми методами; статистический анализ данных. Показана превалирующая роль дозы сульфитации суслу в динамике содержания кетокилот, альдегидов и SO<sub>2</sub>-связывающих свойств в системе «виноград-виноматериал»: 75 мг/дм<sup>3</sup> диоксида серы приводят к увеличению значений показателей в 1,4–2,9 раза. Определены культуры *Saccharomyces cerevisiae*, которые обуславливают наименьшее накопление SO<sub>2</sub>-связывающих компонентов в виноматериалах: штаммы I-525, I-307, I-527 из Коллекции микроорганизмов виноделия «Магарач» и прием Pied de cuve. Выявлена зависимость направленности и степени изменения содержания альдегидов и α-кетоглутаровой кислоты в цепочке «виноград – виноматериал» от сорта винограда. Определены режимы и параметры исследованных технологических приемов для винограда сортов Алиготе, Ркацители и Мускат белый, способствующие выработке виноматериалов с наименьшим SO<sub>2</sub>-связывающим потенциалом. Определены вопросы для дальнейшей экспериментальной проработки.

**Ключевые слова:** кетокилоты; альдегиды; виноград; виноматериал; сорт; штамм дрожжей; диоксид серы; SO<sub>2</sub>-связывающая способность.

**Для цитирования:** Пескова И.В., Остроухова Е.В., Зайцева О.В., Луткова Н.Ю., Вьюгина М.А. Роль технологических факторов в формировании SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2021; 23(1): 83-90. DOI 10.35547/IM.2021.96.76.014

## The role of technological factors in the formation of SO<sub>2</sub>-binding complex of base wines

Peskova I.V.<sup>✉</sup>, Ostroukhova E.V., Zaitseva O.V., Lutkova N.Yu., Vyugina M.A.

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of the RAS, 31 Kirova Str., 298600 Yalta, Republic of Crimea, Russia

<sup>✉</sup>yarinka-73@mail.ru

**Abstract.** The work is aimed at the developing the sector of wine products with increased adaptation to physiological needs of humans, in particular, at reducing the content of sulfur dioxide in white wines. The goal is to study the effect of technological methods on the formation of SO<sub>2</sub>-binding complex of base wines, which is a factor of efficiency of the sulfur dioxide antioxidant and antimicrobial action. The experimental procedure included the production of base wines from grapes of different varieties, changing modes and parameters of technological processes; analytical studies of grapes and base wines using conventional methods; statistical data analysis. The predominant role of the must sulfiting dosage in dynamics of content of keto acids, aldehydes and SO<sub>2</sub>-binding properties in the system "grapes - base wine" is shown: the amount of 75 mg/dm<sup>3</sup> of sulfur dioxide leads to an increase in the values of parameters by 1.4-2.9 times. The cultures of *Saccharomyces cerevisiae*, causing the least accumulation of SO<sub>2</sub>-binding components in base wines, were specified: strains I-525, I-307, I-527 from the Magarach Collection of Microorganisms of Winemaking and the pied de cuve method. The dependence of direction and degree of change in the content of aldehydes and α-ketoglutaric acid in the chain "grapes - base wine" from the variety of grapes was revealed. Modes and parameters of the studied technological methods for grape varieties 'Aligote', 'Rkatsiteli' and 'Muscat Blanc', contributing to the production of base wines with the lowest SO<sub>2</sub>-binding potential, have been determined. The issues for further experimental study have been identified.

**Key words:** keto acids; aldehydes; grapes; base wine; variety; yeast strain; sulfur dioxide; SO<sub>2</sub>-binding capacity.

**For citation:** Peskova I.V., Ostroukhova E.V., Zaitseva O.V., Lutkova N.Yu., Vyugina M.A. The role of technological factors in the formation of SO<sub>2</sub>-binding complex of base wines. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2021; 23(1): 83-90 (in Russian). DOI 10.35547/IM.2021.96.76.014

### Введение

Крымский полуостров с уникальными экологическими и почвенно-климатическими условиями явля-

ется благоприятным местом для производства экологически чистой продукции виноградарства и виноделия [1]. В настоящее время органическое виноградарство и виноделие является предметом исследования узкого круга специалистов, не имеет обоснованной

научной базы и широкого применения. Вместе с этим органическое виноделие может являться элементом эффективного функционирования не только предприятий отрасли, но и отдельных регионов, в которых виноградарско-винодельческая отрасль относится к числу приоритетных [2]. При производстве органической винопродукции законодательство разных стран [Федеральный закон РФ № 280-ФЗ от 03.08.2018; ЕС N 834/2007, ЕС N889/2008; SAC/GL-1999 NEQ] исключает или ограничивает использование целого ряда вспомогательных материалов, разрешенных в традиционном виноделии. В частности, нормируется пониженное (или полное отсутствие) содержание диоксида серы в вине, предохраняющего его от окисления и обладающего антимикробным действием. В этом аспекте весьма важным является изучение эндогенных факторов, связывающих диоксид серы и тем самым снижающих его эффективность как антиоксиданта и антисептика – фенольных веществ, сахаров, кетокислот, урсонных кислот (галактуроновая и глюкуроновая), ацетальдегида и др. [3].

Наиболее активными по отношению к диоксиду серы являются – ацетальдегид, пировиноградная и α-кетоглутаровая кислоты [3, 4]. Самые устойчивые соединения с диоксидом серы образует ацетальдегид, что объясняется низкой константой диссоциации его сульфоната ( $K=1,5 \times 10^{-6}$ ) [4]. Вторым по устойчивости является сульфонат пировиноградной кислоты ( $K=3,0 \times 10^{-4}$ ). Соединения, которые образуются при взаимодействии α-кетоглутаровой кислоты с диоксидом серы характеризуются константой диссоциации  $K=4,9 \times 10^{-4}$  и занимают третье место по степени устойчивости являются [4]. По данным J.N.Jackowitz et al. [3] на долю ацетальдегида приходится 55-72% связанных форм диоксида серы в вине, пировиноградной кислоты – 12-17%, α-кетоглутаровой кислоты – 8-23%.

SO<sub>2</sub>-связывающие компоненты синтезируются как в виноградной ягоде, так и в результате жизнедеятельности дрожжей в процессе брожения. В растении ацетальдегид синтезируется как промежуточный продукт при перекисном окислении липидов [5], при окислении этанола, образующегося в анаэробных условиях в корнях растения и затем транспортируемого в листья [6] и/или в аэробных условиях в листьях растений [7]. Синтез альдегида в растении во многом обусловлен условиями его произрастания (освещенность, температура), стрессами (механические повреждения, высушивание, замерзание/оттаивание), сменной дня/ночи, агротехнологическими приемами и др. [8-10]. Пировиноградная кислота является ключевым компонентом нескольких биохимических путей: ее синтез, в основном, связан с гликолизом и метаболизмом аминокислот – аланина, цистеина, серина, глицина, треонина и триптофана [11]. α-Кетоглутаровая кислота – связующее звено метаболизма углеводов и аминокислот – образуется в результате гликолиза и/или трансаминирования аминокислот в цитозоле и митохондриях, участвует в регулировании интенсивности некоторых ферментов (цитозольной пируваткиназы, митохондриальной цитрат-синтетазы и др.); играет роль сигнального метаболита в растениях [11,

12]. Физиологическая роль рассматриваемых веществ в жизни растений обуславливает различия в их аккумуляции в соке ягод в зависимости от сорта винограда и условий произрастания [10, 13-15].

Концентрация рассматриваемых компонентов в виноматериалах во многом зависит от их образования в результате жизнедеятельности дрожжей и участия в химических процессах, имеющих место при формировании вина. Ацетальдегид образуется в процессе брожения, максимальное его накопление происходит в экспоненциальной фазе роста дрожжей [16-18], а также в результате химического окисления этанола, когда вино подвергается воздействию кислорода по окончании брожения [19]. Наибольшее количество пировиноградной кислоты синтезируется на ранних стадиях спиртового брожения как следствие ингибирования пируватдекарбоксилазы [17, 20]. Также во время спиртового брожения дрожжи могут продуцировать и метаболизировать α-кетоглутаровую кислоту [17]. Накопление SO<sub>2</sub>-связывающих компонентов в процессе брожения зависит от условий процесса: уровня сульфитации сусла, температурных режимов, культур микроорганизмов и др. [16-18, 21].

Целью настоящей работы являлось исследование динамики SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в системе «виноград – вино» под влиянием технологических факторов.

Объекты исследований – виноград сортов Алиготе, Кокур белый, Мускат белый, Ркацителли, произрастающий в разных почвенно-климатических районах, 2019 года урожая и выработанные из него столовые виноматериалы. Приготовление виноматериалов осуществляли в условиях микровиноделия по общепринятой технологической схеме, включающей дробление винограда с гребнеотделением, прессование мезги, осветление и брожение сусла, самоосветление виноматериалов. Варианты опытов предусматривали варьирование режимов и параметров технологических этапов: дозы сульфитации сусла (0, 30, 75 мг/дм<sup>3</sup>); использование осветляющих материалов (препаратов галлотанина (Т), 2 г/дм<sup>3</sup>; желатина (Ж) – 0,5 г/дм<sup>3</sup>, бентонита (Б) – 1 г/дм<sup>3</sup>). Осветление сусла осуществляли отстаиванием при температуре 8-10°C в течение 12 ч; брожение сусла проводили при температуре 22-24 °C. Использовали штаммы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* из ЦКП КМВ «Магарач», рекомендуемые для производства белых вин: 47 К (I-527), Ленинградская (I-307), Мускат венгерский (I-144), Севастопольская 23 (I-525), Судак VI-5 (I-273), Феодосия I-19 (I-271); а также прием Pied de cuve (PdC) – использование микрофлоры виноградной ягоды, полученной путем спонтанного сбраживания виноградного сусла, сульфитированного из расчета 10 мг/дм<sup>3</sup> общего диоксида серы). Выбор культур дрожжей связан с их низкой альдегидобразующей способностью, а также способностью к синтезу в значительных количествах глутатиона.

#### Методы исследований

Массовую концентрацию титруемых кислот (ТК) в винограде/вине определяли в соответствии с ГОСТ 32114; сахаров – ГОСТ 27198; pH – ГОСТ 26188;

альдегидов – ГОСТ 12280. Содержание  $\alpha$ -кетоглутаровой ( $\alpha$ -КГК) и пировиноградной (ПВК) кислот измеряли колориметрическим методом [22]. SO<sub>2</sub>-связывающую способность сусла оценивали по показателю КС<sub>20</sub>, показывающему концентрацию связанной формы сульфитной кислоты при заданном содержании ее свободной формы 20 мг/дм<sup>3</sup> [23]. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием дисперсионного анализа программы SPSS Statistica 17.0. В иллюстративных материалах и тексте статьи представлены среднеарифметические значения показателей. Стандартное отклонение значений SO<sub>2</sub>-связывающей способности,  $\alpha$ -КГК и ПВК от средних величин не превышало 8%.

### Результаты и их обсуждение

Физико-химические характеристики партий винограда, используемых для производства опытных виноматериалов, представлены в табл. 1. Содержание альдегидов в используемых партиях винограда варьировало от 24,1 (Мускат белый) до 31,7 (Ркацители) мг/дм<sup>3</sup>; пировиноградной кислоты – от 8,2 (Алиготе) до 14,7 (Кокур белый) мг/дм<sup>3</sup>;  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты – от 18,4 (Мускат белый) до 53,6 (Алиготе) мг/дм<sup>3</sup>. Исследуемые партии винограда значимо ( $\alpha < 0,001$ ) отличались по SO<sub>2</sub>-связывающей способности: наименьшими значениями показателя КС<sub>20</sub> характеризовался сорт Мускат белый (92,9 мг/дм<sup>3</sup>), наибольшими – сорт Алиготе (130,7 мг/дм<sup>3</sup>). Отобранные партии винограда позволяют оценить влияние технологических приемов на формирование SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов с учетом различных физико-химических характеристик сырья.

Виноматериалы, полученные в ходе исследований, по объемной доле этилового спирта (9,9-15,3 % об.), массовой концентрации сахаров (0,8-18,3 г/дм<sup>3</sup>), титруемых кислот (4,8-8,1 г/дм<sup>3</sup>) и органолептическим характеристикам (дегустационные оценки 7,6-7,8

**Таблица 1.** Физико-химические характеристики партий винограда  
**Table 1.** Physicochemical characteristics of grape batches

Сорт винограда	Район произрастания (географический объект)	Массовая концентрация						pH
		г/дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>				
		сахара	ТК	$\alpha$ -КГК	ПВК	альдегиды	КС <sub>20</sub>	
Мускат белый	южнобережный (п. Даниловка)	210	8,0	18,4	12,1	24,1	92,9	3,36
Алиготе	западный предгорно-приморский (с. Вилино)	230	5,7	53,6	8,2	30,0	130,7	3,37
Кокур белый	южнобережный (пгт. Гурзуф)	175	9,8	37,9	14,7	29,0	116,9	3,20
Ркацители	горно-долинный приморский (с. Приветное)	250	6,1	30,6	8,8	31,7	117,5	3,40

**Таблица 2.** Показатели SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов, полученных при различных параметрах технологического процесса

**Table 2.** Indicators of SO<sub>2</sub>-binding complex of base wines obtained at various parameters of the technological process

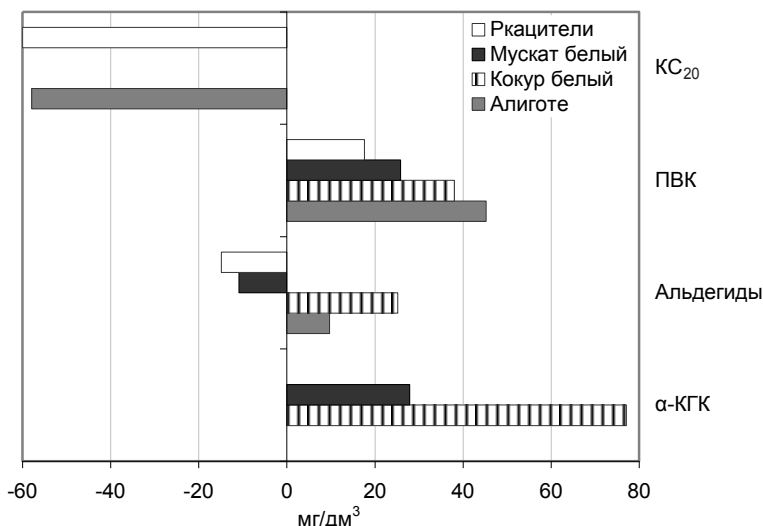
Сорт винограда	Параметры технологического процесса			Массовая концентрация, мг/дм <sup>3</sup>			
	доза SO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	приемы осветления сусла	культура дрожжей	$\alpha$ -КГК	ПВК	альдегиды	КС <sub>20</sub>
Мускат белый	0	самоосветление	I-525	30,1	31,1	9,7	34,0
	0	самоосветление	I-307	26,9	15,5	15,4	34,0
	0	Т+Ж+Б	I-525	32,8	25,5	11,4	87,5
	0	Т+Ж+Б	I-307	39,2	25,4	8,8	48,0
	75	самоосветление	I-525	77,2	28,9	14,8	124,5
	75	самоосветление	I-307	33,8	72,9	15,8	131,4
	75	Т+Ж+Б	I-525	79,1	41,8	21,2	156,0
	75	Т+Ж+Б	I-307	51,1	62,6	9,7	136,8
	0	Т+Ж+Б	I-527	62,3	32,5	48,0	104,6
	0	Т	I-527	44,7	37,4	59,0	75,5
Алиготе	0	Ж+Б	I-527	51,5	46,3	32,9	71,6
	75	самоосветление	I-527	48,9	31,5	29,0	66,6
	75	самоосветление	I-271	78,4	92,0	45,8	58,0
	75	самоосветление	I-273	72,3	69,4	41,2	58,5
	75	самоосветление	I-307	67,5	71,9	30,8	48,8
	75	самоосветление	I-144	74,6	46,5	30,8	69,0
Кокур белый	75	самоосветление	I-271	120,0	46,6	56,3	119,2
	75	самоосветление	I-307	110,0	58,9	52,2	105,0
	0	Т+Ж+Б	PdC	57,9	15,8	13,2	44,1
Ркацители	30	Т+Ж+Б	I-271	57,8	33,7	12,8	74,7
	30	Б	I-271	20,4	24,0	15,0	52,3
	75	самоосветление	I-271	26,6	25,5	19,4	72,4
	75	самоосветление	I-144	56,7	30,7	22,9	41,4
	75	самоосветление	I-273	38,1	28,3	17,6	60,3

баллов) соответствовали ГОСТ 32030. Значения массовой концентрации кетокислот, ацетальдегида, SO<sub>2</sub>-связывающей способности виноматериалов представлены в табл. 2.

Статистическая обработка результатов аналитических исследований показала разнонаправленную динамику и разную степень изменения показателей SO<sub>2</sub>-

связывающего комплекса в системе «виноград – виноматериал» в зависимости от состава сусла, обусловленного сортом винограда, и параметров технологического процесса. В случае сортов Мускат белый и Ркацители, независимо от технологических параметров, наблюдалось значимое ( $\alpha < 0,001$ ) снижение содержания альдегидов от винограда до виноматериалов в среднем на 46%, напротив, для сортов Алиготе и Кокур белый – увеличение значения показателя на 32% и 87%, соответственно (рис. 1). В результате массовая концентрация альдегидов в виноматериалах Алиготе и Кокур белый превышала таковую в виноматериалах из других сортов в среднем в 3,1 раза, варьируя в диапазоне 29,0-59,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Для всех сортов винограда наблюдалось увеличение содержания пировиноградной кислоты в системе «виноград – виноматериал» в среднем в 3,0 (сорт Ркацители) – 6,5 (сорт Алиготе) раза. Содержание пировиноградной кислоты в виноматериалах варьировало от 15,5 до 92,0 мг/дм<sup>3</sup>. В случае сорта Мускат белый во всех вариантах опыта фиксировалось увеличение содержания  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты от винограда к виноматериалам в 1,5 – 4,3 раза в зависимости от параметров технологического процесса. Значительное (в среднем в 3 раза) увеличение концентрации  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты было отмечено в виноматериалах, полученных из винограда сорта Кокур белый при самоосветлении сусла. Этот факт может быть обусловлен составом сусла (в частности, содержанием азотистых веществ, влияющих на интенсивность синтеза  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты дрожжами) [21]. Для сортов Алиготе и Ркацители в условиях опыта установлено значимое ( $\alpha < 0,05$ ) влияние технологических факторов на направленность динамики  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты. Однако для этих сортов отмечено независимое от параметров технологического процесса снижение (в среднем в 2 раза) SO<sub>2</sub>-связывающих свойств от винограда до виноматериала. Для остальных сортов направленность изме-

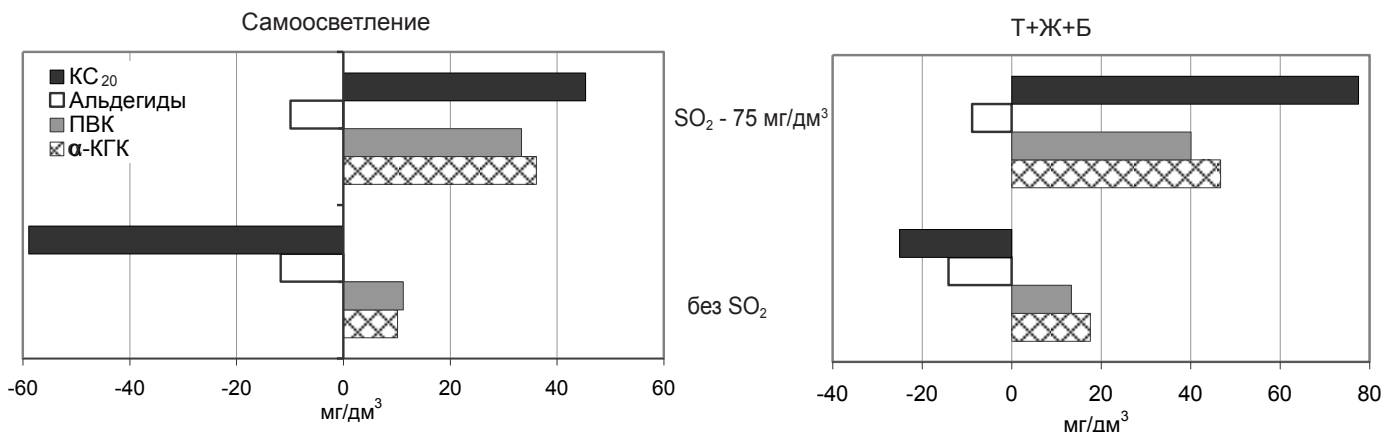


**Рисунок 1.** Изменение показателей SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в системе «виноград-виноматериал» при использовании разных сортов винограда (представлены показатели, имеющие однонаправленную динамику во всех вариантах опыта)

**Figure 1.** Changes in the indicators of SO<sub>2</sub>-binding complex in the system "grapes - base wine" when using different grape varieties (presented indicators have unidirectional dynamics in all variants of the experiment)

нения показателя KC<sub>20</sub> зависела от технологических факторов.

Результаты анализа влияния количества вносимого в сусло диоксида серы и условий осветления сусла перед брожением на динамику показателей SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в системе «виноград-виноматериал» наглядно проиллюстрированы на примере сорта Мускат белый (рис. 2, табл. 2). Показано, что независимо от параметров осветления сусла, его сульфитация в дозе 75 мг/дм<sup>3</sup> по сравнению с использованием несульфитированного сусла способствовала значимому ( $\alpha < 0,01$ ) увеличению содержания в виноматериалах  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты – в среднем в 1,9 раза, пировиноградной кислоты – в 2,1 раза, альдегидов – в 1,4 раза, SO<sub>2</sub>-связывающей способности – в 2,9 раза. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о влиянии концентрации диоксида серы в сусле на накопление ацетальдегида и кетокислот в ходе спиртового брожения [16, 21]. При



**Рисунок 2.** Изменение показателей SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в системе «виноград-виноматериал» при различных режимах сульфитации и осветления сусла (сорт Мускат белый): Т+Ж+Б – совместное использование при осветлении сусла препаратов танина, желатина, бентонита

**Figure 2.** Changes in the indicators of SO<sub>2</sub>-binding complex in the system "grapes - base wine" when using different modes of sulfiting and must clarification ('Muscat Blanc' variety): T + G + B - combined use of preparations of tannin, gelatin, bentonite

этом в виноматериалах, полученных без сульфитации сусла, показатель КС<sub>20</sub> был меньше такового в винограде в 2,1 раза, а в виноматериалах, выработанных с использованием диоксида серы, – больше в 1,6 раза.

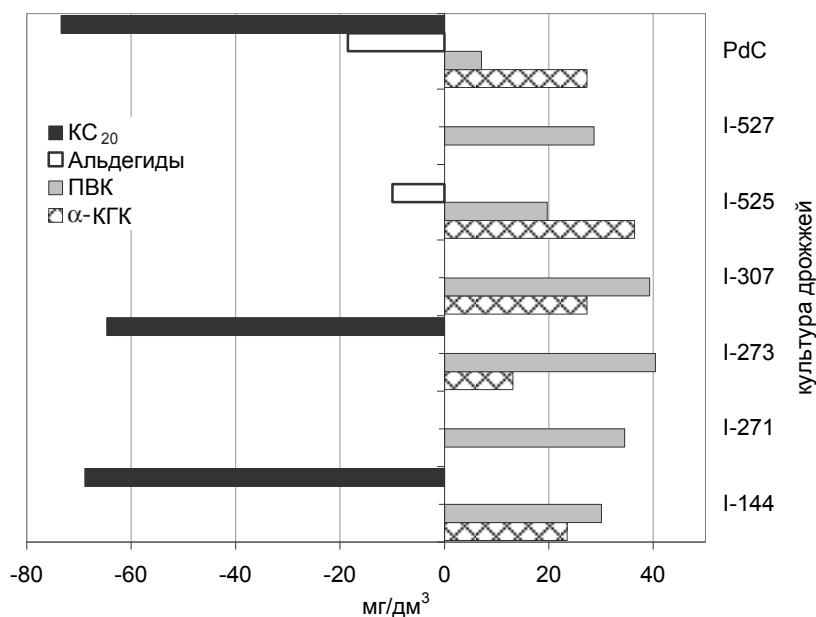
Использование осветляющих и антиоксидантных препаратов на стадии осветления сусла не оказало влияния на направленность динамики показателей SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса от винограда к виноматериалам. Однако имеющийся массив данных не позволяет сделать однозначный вывод о влиянии использования вспомогательных материалов на количественное содержание компонентов в виноматериалах. Так, в случае винограда Мускат белый содержание альдегидов в виноматериалах, полученных при сульфитации сусла 75 мг/дм<sup>3</sup> без и с применением вспомогательных материалов, было на одном уровне, а при использовании несульфитированного сусла применение вспомогательных материалов привело к снижению концентрации компонента на 20%. Применение вспомогательных материалов по сравнению с самоосветлением сусла (при разных режимах сульфитации) не оказало значимого влияния на концентрацию пировиноградной кислоты в виноматериалах, но повысило концентрацию α-кетоглутаровой кислоты в среднем на 22%, SO<sub>2</sub>-связывающую способность – на 54%. Представленные данные противоречат результатам, изложенным в диссертации Гусейновой З.Н. [Разработка технологических приемов, направленных на снижение доз сернистого ангидрида в виноделии. Ялта. 1982] и показывающим снижение при раздельном применении желатина и бентонита содержания α-кетоглутаровой кислоты в виноматериалах, их SO<sub>2</sub>-связывающей способности, степень которого варьировала по сортам винограда. Наблюдаемое нами увеличение концентрации α-кетоглутаровой кислоты и SO<sub>2</sub>-связывающей способности виноматериалов из винограда Мускат белый может быть связано с чрезмерным осветлением сусла и снижением содержания азотистых веществ и тиамин [24], в том числе за счет включения в схему обработки препаратов танина, что привело к увеличению длительности периода заброживания сусла в условиях опыта на 36 ч и снижению скорости процесса в среднем в 1,2 раза. Концентрация в сусле тиамин, азотистых веществ и продолжительность брожения по данным [16, 21] являются значимыми факторами накопления кетокислот и ацетальдегида в виноматериалах и формирования их SO<sub>2</sub>-связывающей способности.

Обобщение результатов аналитических исследований виноматериалов показало значимость (α<0,05) сортового фактора в степени влияния режимов сульфитации и осветления сусла на формирование SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов (табл. 2). Все опытные виноматериалы, выработанные путем самоосветления сусла при сульфитации из расчета 75 мг/дм<sup>3</sup>, по сравнению с виноматериалами, полученными с применением вспомогательных материалов без сульфитации или при дозе SO<sub>2</sub> = 30 мг/дм<sup>3</sup>, характеризовались, большим содержанием пировиноградной кислоты: в случае сорта Мускат белый – в 2,0 раза; Алиготе – в 1,6 раза; Ркацителли – в 1,1 раз.

Значимо большее содержание альдегидов в виноматериалах первой группы наблюдалось для сортов Ркацителли и Мускат белый (в 1,5 раза), α-кетоглутаровой кислоты – для сортов Алиготе (в 1,3 раза) и Мускат белый (в 1,5 раза), SO<sub>2</sub>-связывающей способности – для сорта Мускат белый (в 1,9 раза). Представленные данные свидетельствуют о преобладающем значении режимов сульфитации по сравнению с параметрами осветления сусла в формировании SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса виноматериалов. В отношении альдегидов это объясняется тем, что диоксид серы ингибирует альдегиддегидрогеназу, что тормозит трансформацию ацетальдегида в этанол [18, 26]. Тем не менее, представляется целесообразным продолжить исследование влияния на SO<sub>2</sub>-связывающий комплекс виноматериалов, используемых на стадии осветления сусла, расширив их спектр инновационными препаратами (в т.ч. ферментными, на основе кремния, эножелатином [26]) и параметры контроля (степень осветления сусла, концентрация азотистых веществ, тиамин).

Анализ влияния культуры дрожжей на динамику параметров SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в системе «виноград-виноматериал» позволяет констатировать следующее. Независимо от рассматриваемых технологических факторов и сорта винограда брожение сусла с использованием коллекционных культур дрожжей приводило к увеличению (α<0,05) содержания в среднем в 2,6-5,8 раза, α-кетоглутаровой кислоты (за исключением культур I-271 и I-527) – в 1,3-3,0 раза (рис. 3). При этом наименьшее накопление пировиноградной кислоты характерно для дрожжей I-525, α-кетоглутаровой – I-273. Независимое от условий подготовки сусла снижение (в 1,8 раза) содержания альдегидов от винограда до виноматериалов наблюдалось только при использовании культуры дрожжей I-525 (сорт Мускат белый). Применение в технологическом процессе дрожжей I-527 в 83% случаев сопровождалось снижением содержания альдегидов от винограда до виноматериалов в 1,1-2,0 раза; в 67% случаев наблюдалось уменьшение концентрации α-кетоглутаровой кислоты в среднем в 1,2 раза. Независимое от сорта винограда снижение SO<sub>2</sub>-связывающей способности в системе «виноград-виноматериал» отмечено при брожении сульфитированного до 75 мг/дм<sup>3</sup> и осветленного без применения вспомогательных препаратов сусла на культурах I-144 и I-273. Апробация приема Pied de cuve, проведенная на винограде Ркацителли, показала, что он способствовал значительному снижению концентрации альдегидов (в 2,4 раза) и SO<sub>2</sub>-связывающей способности (в 2,7 раза) при брожении сусла и минимальному (в 1,8 раза) накоплению пировиноградной кислоты. Это говорит о перспективности дальнейших исследований по использованию PdC при производстве органической винопродукции.

С учетом того, что устойчивость соединений с диоксидом серы снижается в цепочке ацетальдегид > пировиноградная кислота > α-кетоглутаровая кислота, было проведено ранжирование используемых технологических приемов в формировании SO<sub>2</sub>-



**Рисунок 3.** Изменения показателей SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса от винограда до виноматериалов, характерные для используемых культур дрожжей

**Figure 3.** Changes in the indicators of SO<sub>2</sub>-binding complex from grapes to base wines, typical for the yeast cultures used

связывающего комплекса виноматериалов. Выявлено, что наименьшей концентрации компонентов SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в виноматериалах из винограда сорта Алиготе способствовали сульфитация сусла из расчета 75 мг/дм<sup>3</sup> и использование дрожжей I-527. В этом случае концентрация альдегидов в виноматериалах в среднем составляла 29 мг/дм<sup>3</sup>, пировиноградной кислоты – 31,5 мг/дм<sup>3</sup>, α-кетоглутаровой – 48,9 мг/дм<sup>3</sup>, что, соответственно, в 1,6; 1,1 и 1,2 раза ниже, чем в виноматериалах, полученных по другим схемам. Низкой концентрацией альдегидов и пировиноградной кислоты отличались виноматериалы, полученные из винограда сорта Мускат белый из несulfитированного сусла на культуре I-525, – в среднем 9,7 и 30,1 мг/дм<sup>3</sup>. При переработке винограда Ркацители наименьшая суммарная концентрация (59,4 мг/дм<sup>3</sup>) SO<sub>2</sub>-связывающих компонентов и средний уровень SO<sub>2</sub>-связывающей способности (52,3 мг/дм<sup>3</sup>) отмечены в виноматериалах, полученных при брожении сусла, sulfитированного из расчета 30 мг/дм<sup>3</sup> общего диоксида серы и обработанного бентонитом, на культуре дрожжей I-271.

### Выводы

В ходе проведенных исследований определено влияние ряда технологических приемов на формирование SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса белых столовых виноматериалов, являющегося фактором эффективности антиоксидантного и антимикробного действия диоксида серы. Показана преобладающая роль дозы сульфитации сусла в динамике содержания кетокислот, альдегидов и SO<sub>2</sub>-связывающих свойств в системе «виноград-виноматериал»: 75 мг/дм<sup>3</sup> диоксида серы приводит к увеличению значений показателей в 1,4–2,9 раза. Показано, что использование разных культур *Saccharomyces cerevisiae* позволяет варьировать параметры SO<sub>2</sub>-связывающего комплекса в

широком диапазоне: при прочих равных условиях наименьшее накопление компонентов в белых виноматериалах обуславливают штаммы дрожжей I-525, I-307 и I-527, а также прием Pied de cuve. Выявлена зависимость направленности и степени изменения содержания альдегидов и α-кетоглутаровой кислоты в системе «виноград – виноматериал» от сорта винограда. Это может быть обусловлено как исходной концентрацией компонентов, так и содержанием в винограде азотистых веществ, pH сусла и другими факторами. Эти вопросы требуют дальнейшей проработки. На данном этапе определены режимы и параметры технологических приемов для винограда сортов Алиготе, Ркацители и Мускат белый, способствующие выработке виноматериалов с наименьшим SO<sub>2</sub>-связывающим потенциалом.

Работа направлена на развитие сектора вин с повышенной адаптацией к физиологическим потребностям человека, включая органическую винопродукцию.

### Источник финансирования

Работа выполняется в рамках Государственного задания № 0833-2019-0022.

### Financing source

The study was conducted under public assignment No. 0833-2019-0022.

### Конфликт интересов

Не заявлен.

### Conflict of interests

Not declared.

### Список литературы

- Volkova M., Matveikina E., Volkov Ja., Stranisheshevskaya E. Organic viticulture as an important aspect of conserving biodiversity in Crimean agrocenoses. E3S Web of Conferences. 2020. С. 09004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509004>.
- Волков Я.А., Матвейкина Е.А., Волкова М.В., Странишевская Е.П. Перспективы органического земледелия в Крыму / Плодоводство и виноградарство Юга России. 2019;57(3). С. 109-124. DOI 10.30679/2219-5335-2019-3-57-109-124.
- Jackowetz J.N., Mira de Orduña R. Survey of SO<sub>2</sub> binding carbonyls in 237 red and white table wines. Food Control. 2013; 32(2):687-692 / <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.001>
- Ough C.S. and Wore L. Sulfur Dioxide and Sulfites. Chapter 5 in book: Antimicrobials in food. Ed. by Davidson P.M., Sofos J.N., Branen. 3d Edition. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2005: 143-167. ISBN 0-8247-4037-8.
- Končítíková R., Vigouroux A., Kopečná M., Andree T., Bartoš J., Šebela M., Morera S. and Kopečný D. Role and structural characterization of plant aldehyde dehydrogenases from family 2 and family 7. Biochem. J. 2015; 468: 109-123. doi:10.1042/BJ20150009.
- Kreuzwieser J, Papadopoulou E, Rennenberg H. Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. Plant Biol (Stuttg). 2004; 6(3): 99-306. DOI: 10.1055/s-2004-817882.
- Jardine K. The Exchange of Acetaldehyde between Plants and the Atmosphere: Stable Carbon Isotope and

- Flux Measurements. NY: Stony Brook University. 2008. 170 p. [https://media.proquest.com/media/pq/classic/doc/1633770911/fmt/ai/rep/NPDF?\\_s=L3oWFz3o1bFEW2d3CjQGY70T1GY%3D](https://media.proquest.com/media/pq/classic/doc/1633770911/fmt/ai/rep/NPDF?_s=L3oWFz3o1bFEW2d3CjQGY70T1GY%3D).
8. Karl T, Curtis A.J, Rosenstiel T.N, Monson R.K, Fall R (2002). Transient releases of acetaldehyde from tree leaves - products of a pyruvate overflow mechanism? *Plant, Cell and Environment*. 2002; 25(9):1121-1131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00889.x>.
  9. Tola AJ, Jaballi A, Germain H, Missihoun TD. Recent Development on Plant Aldehyde Dehydrogenase Enzymes and Their Functions in Plant Development and Stress Signaling. *Genes*. 2021; 12(1):51. <https://doi.org/10.3390/genes12010051>.
  10. Stranisheskaya E., Ostroukhova E., Peskova I., Levchenko S., Matveikina E., Shadura N. Influence of the organic farming system on the composition of 'Bastardo Magarachskiy' grape cultivar as a raw material for production of wines. *E3S Web of Conferences*. 2020; 161(1):01070 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101070>.
  11. Martins AO, Fernie AR and Tohge T. 2-Oxoglutarate: linking TCA cycle function with amino acid, glucosinolate, flavonoid, alkaloid, and gibberellin biosynthesis. *Front. Plant Sci*. 2014; 5:552. doi: 10.3389/fpls.2014.00552
  12. Feria Bourrellier A.B., Valot B., Guillot A., Ambard-Bretteville F., Vidal J. and Hodges M. Chloroplast acetyl-CoA carboxylase activity is 2-oxoglutarate-regulated by interaction of PII with the biotin carboxyl carrier subunit. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010; 107: 502-507. doi: 10.1073/pnas.0910097107.
  13. Толоков Н.Р., Зимин Г.В. Оценка инсоляции склонов при выборе микрзон качественного виноделия // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства и виноделия. 2013. Т. 13:99-102.
  14. Di Mattia C.D., Piva A., Martuscelli M., Mastrocola D., Sacchetti G. Effect of sulfites on the in vitro antioxidant activity of wines. *Italian Journal of Food Science*. 2015; 27(4):505-512. DOI: 10.14674/1120-1770/ijfs.v381
  15. Зайцева О.В., Остроухова Е.В. SO<sub>2</sub>-связывающий потенциал винограда разных сортов // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2020. Т. 22;2 (112):163-167. DOI 10.35547/IM.2020.33.74.015.
  16. Herzan J., Prokes K., Baron M., Kumsta M., Pavlousek P., Sochor J. Study of carbonyl compounds in white wine production. *Food Sci Nutr*. 2020; 8:5850-5859. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1855>
  17. Wells A., Osborne J.P. Production of SO<sub>2</sub> Binding Compounds and SO<sub>2</sub> by *Saccharomyces* during Alcoholic Fermentation and the Impact on Malolactic Fermentation. *S. Afr. J. Enol. Vitic*. 2011; 32 (2): 267-279. DOI: <https://doi.org/10.21548/32-2-1387>
  18. Li E., Mira de Orduña Heidinger R.. Acetaldehyde metabolism in industrial strains of *Saccharomyces cerevisiae* inhibited by SO<sub>2</sub> and cooling during alcoholic fermentation. *OENO One*. 2020; 54(2): 351-358. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2.2391>
  19. Bueno M, Marrufo-Curtido A, Carrascón V, Fernández-Zurbano P, Escudero A, Ferreira V. Formation and Accumulation of Acetaldehyde and Strecker Aldehydes during Red Wine Oxidation. *Front Chem*. 2018; 6:20. doi: 10.3389/fchem.2018.00020. PMID: 29492401; PMCID: PMC5817066.
  20. Maleki N, Eiteman MA. Recent Progress in the Microbial Production of Pyruvic Acid. *Fermentation*. 2017; 3(1):8. <https://doi.org/10.3390/fermentation3010008>.
  21. Werner M., Raunut D., Cottureau Ph. Yeasts and natural production of sulphites. *Internet Journal of Enology and Viticulture*. 2009; 12:3.
  22. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений / Под ред. Ермакова А.И. 3 изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
  23. Методы теххимического контроля в виноделии / Под ред. Гержиковой В.Г. 2-е изд. Симферополь: Таврида, 2009. 304 с.
  24. Lambri M., Colangelo D., Dordoni R., Torchio F., De Faveri DM. Innovations in the Use of Bentonite in Oenology: Interactions with Grape and Wine Proteins, Colloids, Polyphenols and Aroma Compounds. *Grape and Wine Biotechnology*. Ed. by Morata A., Loira I.: IntechOpen. 2016: 381-400 DOI: 10.5772/64753.
  25. Iciek M., Górny M., Biliska-Wilkosz M., Kowalczyk-Pachel D. Is aldehyde dehydrogenase inhibited by sulfur compounds? In vitro and in vivo studies. *Acta biochimica Polonica*. 2018; 65(1): 125-132, [https://doi.org/10.18388/abp.2017\\_2324](https://doi.org/10.18388/abp.2017_2324).
  26. Чурсина О.А., Загоруйко В.А., Легашева Л.А., Мартыновская А.В., Удод Е.Л., Шаламитский М.Ю. Исследование влияния эндополигалактуроназы дрожжей вида *Kluuveromycetes marxianus* на процессы осветления и качество коньячных виноматериалов и дистиллятов // «Магарач». Виноградарство и виноделие, 2020; 22(2); С. 179-184. DOI 10.35547/IM.2020.58.69.018.

### References

1. Volkova M., Matveikina E., Volkov Ja., Stranisheshevskaya E. Organic viticulture as an important aspect of conserving biodiversity in Crimean agrocenoses. *E3S Web of Conferences*. 2020. С. 09004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509004>.
2. Volkov Ja., Matveikina E., Volkova M., Stranisheshevskaya E. Perspectives for organic agriculture in the Crimea. *Horticulture and Viticulture of the South Russia*. 2019; 57(3):109-124. DOI 10.30679/2219-5335-2019-3-57-109-124 (in Russian).
3. Jackowetz J.N., Mira de Orduña R. Survey of SO<sub>2</sub> binding carbonyls in 237 red and white table wines. *Food Control*. 2013; 32(2):687-692 / <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.001>.
4. Ough C.S. and Were L. Sulfur Dioxide and Sulfites. Chapter 5 in book: *Antimicrobials in food*. Ed. by Davidson P.M., Sofos J.N., Branen. 3d Edition. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2005: 143-167. ISBN 0-8247-4037-8.
5. Končítiková R., Vigouroux A., Kopečná M., Andree T., Bartoš J., Šebela M., Moréř S. and Kopečný D. Role and structural characterization of plant aldehyde dehydrogenases from family 2 and family 7. *Biochem. J*. 2015; 468: 109-123. doi:10.1042/BJ20150009
6. Kreuzwieser J, Papadopoulou E, Rennenberg H. Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. *Plant Biol (Stuttg)*. 2004; 6(3): 99-306. DOI: 10.1055/s-2004-817882.
7. Jardine K. The Exchange of Acetaldehyde between Plants and the Atmosphere: Stable Carbon Isotope and Flux Measurements. NY: Stony Brook University. 2008. 170 p. [https://media.proquest.com/media/pq/classic/doc/1633770911/fmt/ai/rep/NPDF?\\_s=L3oWFz3o1bFEW2d3CjQGY70T1GY%3D](https://media.proquest.com/media/pq/classic/doc/1633770911/fmt/ai/rep/NPDF?_s=L3oWFz3o1bFEW2d3CjQGY70T1GY%3D).
8. Karl T, Curtis A.J, Rosenstiel T.N, Monson R.K, Fall R (2002). Transient releases of acetaldehyde from tree leaves - products of a pyruvate overflow mechanism? *Plant, Cell and Environment*. 2002; 25(9):1121-1131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00889.x>.
9. Tola AJ, Jaballi A, Germain H, Missihoun TD. Recent Development on Plant Aldehyde Dehydrogenase Enzymes

- and Their Functions in Plant Development and Stress Signaling. *Genes*. 2021; 12(1):51. <https://doi.org/10.3390/genes12010051>.
10. Stranishevskaya E., Ostroukhova E., Peskova I., Levchenko S., Matveikina E., Shadura N. Influence of the organic farming system on the composition of 'Bastardo Magarachskiy' grape cultivar as a raw material for production of wines. *E3S Web of Conferences*. 2020; 161(1):01070 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101070>.
  11. Martins AO, Fernie AR and Tohge T. 2-Oxoglutarate: linking TCA cycle function with amino acid, glucosinolate, flavonoid, alkaloid, and gibberellin biosynthesis. *Front. Plant Sci.* 2014; 5:552. doi: 10.3389/fpls.2014.00552.
  12. Fera Bourrellier A.B., Valot B., Guillot A., Ambard-Bretteville F., Vidal J. and Hodges M. Chloroplast acetyl-CoA carboxylase activity is 2-oxoglutarate-regulated by interaction of PII with the biotin carboxyl carrier subunit. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010; 107: 502-507. doi: 10.1073/pnas.0910097107.
  13. Tolokov N. R., Zimin G. V. Assessment of slope insolation when choosing a micro zones of high-quality winemaking. *Scientific works of the State scientific institution of the North Caucasus zonal research Institute of horticulture and viticulture of the RAS*. 2013; 3: 99-102 (in Russian).
  14. Di Mattia C.D., Piva A., Martuscelli M., Mastrocola D., Sacchetti G. Effect of sulfites on the in vitro antioxidant activity of wines. *Italian Journal of Food Science*. 2015; 27(4):505-512. DOI: 10.14674/1120-1770/ijfs.v381.
  15. Zaitseva O.V., Ostroukhova E.V. SO<sub>2</sub>-binding potential of different grape varieties. *Magarach. viticulture and Winemaking*. 2020; 22(2): 163-167. DOI 10.35547/IM.2020.33.74.015 (in Russian).
  16. Herzan J., Prokes K., Baron M., Kumsta M., Pavlousek P., Sochor J. Study of carbonyl compounds in white wine production. *Food Sci Nutr*. 2020; 8:5850-5859. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1855>.
  17. Wells A., Osborne J.P. Production of SO<sub>2</sub> Binding Compounds and SO<sub>2</sub> by *Saccharomyces* during Alcoholic Fermentation and the Impact on Malolactic Fermentation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 2011; 32 (2): 267-279. DOI: <https://doi.org/10.21548/32-2-1387>.
  18. Li E., Mira de Orduña Heidinger R.. Acetaldehyde metabolism in industrial strains of *Saccharomyces cerevisiae* inhibited by SO<sub>2</sub> and cooling during alcoholic fermentation. *OENO One*. 2020; 54(2): 351-358. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2.2391>.
  19. Bueno M, Marrufo-Curtido A, Carrascón V, Fernández-Zurbano P, Escudero A, Ferreira V. Formation and Accumulation of Acetaldehyde and Strecker Aldehydes during Red Wine Oxidation. *Front Chem*. 2018; 6:20. doi: 10.3389/fchem.2018.00020. PMID: 29492401; PMCID: PMC5817066.
  20. Maleki N, Eiteman MA. Recent Progress in the Microbial Production of Pyruvic Acid. *Fermentation*. 2017; 3(1):8. <https://doi.org/10.3390/fermentation3010008>.
  21. Werner M., Raunet D., Cottureau Ph. Yeasts and natural production of sulphites. *Internet Journal of Enology and Viticulture*. 2009; 12:3.
  22. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. et al. *Methods of biochemical research of plants*. Ed. by Ermakova A.I. 3 ed. reissued and added L.: Agropromizdat. 1987. 430 p. (in Russian).
  23. *Technochemical control methods in winemaking*. Edited by V.G. Gerzhikova. 2-nd edition. Simferopol: Tavrida Publ. 2009. 304 p. (in Russian).
  24. Lambri M., Colangelo D., Dordoni R., Torchio F., De Faveri DM. Innovations in the Use of Bentonite in Oenology: Interactions with Grape and Wine Proteins, Colloids, Polyphenols and Aroma Compounds. *Grape and Wine Biotechnology*. Ed. by Morata A., Loira I.: IntechOpen. 2016: 381-400 DOI: 10.5772/64753.
  25. Iciek M., Górny M., Bilska-Wilkosz M., Kowalczyk-Pachel D. Is aldehyde dehydrogenase inhibited by sulfur compounds? In vitro and in vivo studies. *Acta biochimica Polonica*. 2018; 65(1): 125-132, [https://doi.org/10.18388/abp.2017\\_2324](https://doi.org/10.18388/abp.2017_2324).
  26. Chursina O.A., Zagorouiko V.A., Legasheva L.A., Martynovskaya A.V., Udod E.L., Shalamitskiy M. Yu. Study of the influence of endopolygalacturonase *Kluveromyces marxianus* yeast species on the processes of clarification and quality of brandy wine materials and distillates. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2020; 22(2): 179-184. DOI 10.35547/IM.2020.58.69.018 (in Russian).

## Информация об авторах

Ирина Валериевна Пескова, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории тихих вин, контактное лицо, [yarinka-73@mail.ru](mailto:yarinka-73@mail.ru); ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5107-518X>;

Елена Викторовна Остроухова, д-р. техн. наук, глав. науч. сотр. лаборатории тихих вин, [elenostroukh@gmail.com](mailto:elenostroukh@gmail.com); ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-0638-9187>;

Ольга Владимировна Зайцева, мл. науч. сотр. лаборатории тихих вин, [helgum88@gmail.com](mailto:helgum88@gmail.com); ORSID ID <https://orsid.org/0000-0002-8204-5610>;

Наталья Юрьевна Луткова, мл. науч. сотр. лаборатории тихих вин, [lutkova1975@mail.ru](mailto:lutkova1975@mail.ru); ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-8126-7596>;

Мария Александровна Вьюгина, мл. науч. сотр. лаборатории тихих вин

## Information about authors

Irina V. Peskova, Cand. Techn. Sci., Senior Staff Scientist, Still Wines Laboratory, [yarinka-73@mail.ru](mailto:yarinka-73@mail.ru); ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5107-518X>;

Elena V. Ostroukhova, Dr. Sci. Techn., The main Research Associate, Still Wines Laboratory, [elenostroukh@gmail.com](mailto:elenostroukh@gmail.com); ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-0638-9187>;

Olga V. Zaitseva, Junior Staff Scientist, Still Wines Laboratory, [helgum88@gmail.com](mailto:helgum88@gmail.com); ORSID ID <https://orsid.org/0000-0002-8204-5610>;

Natalia Yu. Lutkova, Junior Staff Scientist, Still Wines Laboratory, мл. науч. сотр. лаборатории тихих вин, [lutkova1975@mail.ru](mailto:lutkova1975@mail.ru); ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-8126-7596>;

Mariya A. Vyugina, Junior Staff Scientist, Still Wines Laboratory

Статья поступила в редакцию 15.02.2021, одобрена после рецензии 20.02.2021, принята к публикации 20.02.2021