

Практические и теоретические аспекты определения сульфитосвязывающей способности столовых белых вин

Тимофеев Р.Г.[✉], Вьюгина М.А.

Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, 298600, Россия, Республика Крым, г. Ялта, ул. Кирова, 31

[✉]Russ1970@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена совершенствованию методологических основ оценки сульфитосвязывающей способности сухих белых столовых вин. Предложена и экспериментально подтверждена математическая модель связывания сернистой кислоты компонентами вина. Разработана оригинальная методика оценки сульфитосвязывающей способности белых столовых вин и методология ее применения для технологических расчетов при сульфитации вин.

Ключевые слова: вино; сернистый ангидрид; SO₂-связывающая способность; ацетальдегид; кетокислоты.

Для цитирования: Тимофеев Р.Г., Вьюгина М.А. Практические и теоретические аспекты определения сульфитосвязывающей способности столовых белых вин // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2021; 23(3): 286-291. DOI 10.35547/IM.2021.12.19.013

Practical and theoretical aspects of determining the sulfite-binding capability of white table wines

Timofeev R.G.[✉], 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

[✉]Russ1970@mail.ru

Abstract. The work is concerned with improving the methodological basis for assessing the sulfite-binding capability of dry white table wines. A mathematical model of binding the sulfurous acid by wine components has been proposed and experimentally confirmed. An original method for assessing the sulfite-binding capability of white table wines and a methodology of its application for technological calculations in the process of wine sulfiting has been developed.

Key words: wine; sulfur dioxide; SO₂-binding capability; acetaldehyde; keto acids.

For citation: Timofeev R.G., Vyugina M.A. Practical and theoretical aspects of determining the sulfite-binding capability of white table wines. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2021; 23(3): 286-291 (in Russian). DOI 10.35547/IM.2021.12.19.013

Введение

Сернистая кислота является проверенным универсальным средством для антиоксидантной и антибактериальной защиты компонентов сусла и вина в процессе производства и хранения винопродукции. Антиоксидантное действие сернистой кислоты обусловлено наличием свободных сульфит-ионов, а бактериостатическое – присутствием недиссоциированной её формы H₂SO₃, которую называют молекулярной формой [1-3]. Считается, что для обеспечения микробальной стабильности столовых вин концентрация молекулярной формы в вине должна составлять, по разным данным, от 1,0 мг/дм³ до 3,0 мг/дм³ [1, 2, 4], но не менее 0,6 мг/дм³ [5]. Концентрация молекулярной фракции сернистой кислоты, в свою очередь, определяется концентрацией свободной формы сернистой кислоты и рН вина. Чем выше рН вина, тем большая концентрация свободной сернистой кислоты необходима для обеспечения нужного уровня концентрации молекулярной ее формы.

Вопросам связывания сернистой кислоты компо-

нентами вина посвящено множество публикаций отечественных и зарубежных исследователей. Связанные формы сернистой кислоты образуются при её взаимодействии с сахарами, альдегидами, кетокислотами, фенольными и другими веществами, присущими винограду и вину [6, 7]. При этом следует различать ее взаимодействие с изменением степени окисления серы, что приводит к образованию сульфатов. Взаимодействие связанных форм сернистой кислоты без изменения степени окисления серы приводит к образованию сернистых соединений, которые являются своеобразным депо для сернистой кислоты и выступают в роли антиоксидантного буфера, поддерживающего необходимый уровень свободной сернистой кислоты в случае уменьшения ее концентрации в процессе хранения вина [3]. Довольно подробные исследования в этой области были проведены британскими учеными, в результате чего были определены закономерности реакции связывания сернистой кислоты компонентами вина [9-12]. Особый интерес к вопросу взаимодействия сернистой кислоты с компонентами вина у энологов связан с проблемами органического виноделия, где лимитируется номенклатура и разрешенное количество экзогенных веществ, приме-

няемых в процессе выращивания винограда и производства вина. Таким образом, сегодня возрастает актуальность точного определения необходимых доз сульфитации в процессе производства вина, а также коррекции технологического процесса с целью их снижения [13-16]. Приведенная в [2] методика определения сульфитосвязывающей способности вин позволяет найти необходимые дозировки сернистой кислоты, однако не дает однозначных количественных характеристик вина в контексте его способности связывать сернистую кислоту. Предложенный в [17] подход к определению сульфитосвязывающей способности сусла и вина показывает количество диоксида серы ($K_{C_{20}}$, мг/дм³) необходимое для обеспечения массовой концентрации 20 мг/дм³ свободной его формы, что позволяет оценить способность сусла или вино-материала к связыванию сернистой кислоты, но не отвечает на вопрос о количестве сульфитосвязывающих компонентов. Настоящая публикация направлена на восполнение этого пробела.

Целью настоящей публикации является разработка усовершенствованных методологических подходов к количественной оценке сульфитосвязывающей способности белых столовых вин на основе математического моделирования процесса связывания сернистой кислоты компонентами вина.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись сухие белые столовые вино-материалы европейских сортов винограда Алиготе и Ркацители. Методика экспериментальных исследований была следующая: в ряд бутылок вместимостью 100 см³ наливали пробу вина объемом 100 см³, добавляли возрастающие дозы SO₂ в диапазоне от 20 мг/дм³ до 1200 мг/дм³ в форме водного раствора метабисульфита калия и герметически укупоривали. После выдержки образцов в водяной бане при температуре (50±5) °С в течение 60 мин. образцы охлаждали до плюс 20 °С и определяли в пробах концентрацию свободной и связанной форм SO₂ по ГОСТ 32115-2013/(ГОСТ Р 51655-2000). Все опыты и измерения повторяли не менее чем в двух повторностях. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики и исследовали в рамках предложенной математической модели связывания сернистой кислоты компонентами вина.

Результаты исследований и их обсуждение

Типичная зависимость содержания связанных форм SO₂ от концентрации свободной SO₂ в вине представлена на рис. 1.

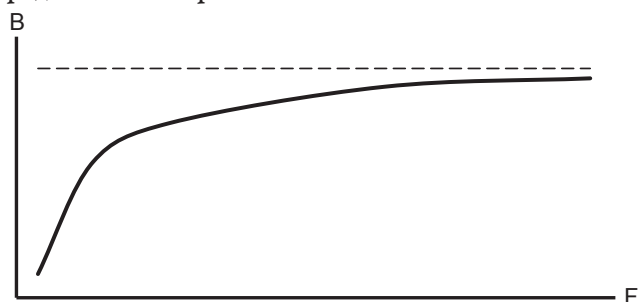


Рис. 1. Соотношение связанной (B) и свободной (F) форм SO₂ в винах

Fig. 1. Ratio of bound (B) and free (F) forms of SO₂ in wines

Как видно из рис. 1, зависимость концентрации связанных с компонентами вина форм сернистой кислоты от концентрации свободной её формы асимптотически приближается к какому-то максимальному значению, что разумно объяснить ограниченным количеством SO₂-связывающих компонентов вина. Концентрация свободной сернистой кислоты в вине определяется как общим содержанием сернистой кислоты, так и соотношением между свободной и связанной ее формами. Оно, в свою очередь, зависит от общего содержания SO₂-связывающих компонентов вина, а от также равновесия между свободной сернистой кислотой и продуктами, образовавшимися в результате ее связывания. Согласно литературным данным, к основным SO₂-связывающими компонентами вина относятся ацетальдегид и карбонильные соединения, основными из которых являются пировиноградная, α-кетоглутаровая и галактурановая кислоты, глюкоза. Как показано в исследовании Burroughs с сотр. [10, 11] ацетальдегид полностью связывается сернистой кислотой при любой концентрации свободной сернистой кислоты, а кетокислоты могут находиться как в связанном с SO₂, так и в свободном состоянии в зависимости от концентрации сернистой кислоты.

Ввиду вышесказанного схему процесса связывания SO₂ с компонентами вина A можно описать следующим образом.

Процесс образования соединений с сернистой кислотой



а также процесс разрушения этих соединений



где k_1 и k_{-1} – константы скорости реакции образования и разрушения соединений компонентов вина с сернистой кислотой соответственно.

Скорость связывания SO₂ компонентами вина v_+ пропорциональна концентрации реагирующих компонентов, а скорость разрушения продуктов реакции SO₂ с компонентами вина v_- пропорциональна концентрации продуктов реакции, что можно записать в виде кинетических уравнений для прямой и обратной реакции:

$$v_+ = k_1 \cdot [SO_2] \cdot [A], \quad (3)$$

$$v_- = k_{-1} \cdot [SO_2A]. \quad (4)$$

Ввиду того, что концентрация SO₂-связывающих компонентов вина ограничена, обозначим ее a_m , то текущую концентрацию свободных SO₂-связывающих компонентов можно выразить через концентрацию продуктов реакции следующим образом:

$$[A] + [SO_2A] = a_m \Rightarrow [A] = a_m - [SO_2A]. \quad (5)$$

Подставив полученное выражение (5) в уравнение для прямой реакции (3) и приравняв скорости прямого и обратного процесса, получим:

$$k_1 \cdot [SO_2] \cdot [A] = k_{-1} \cdot [SO_2A] = k_{-1} \cdot (a_m - [SO_2A]). \quad (6)$$

Обозначив константу равновесия $K = k_1/k_{-1}$, получим уравнение динамического равновесия между свободной сернистой кислотой [SO₂] и связанной с компонентами вина ее формой [SO₂]_B = [SO₂A],

выраженную через константу равновесия реакции K и концентрацию SO_2 -связывающих компонент a_m в пересчете на SO_2 :

$$[\text{SO}_2]_B = [\text{SO}_2]_A = a_m \cdot \frac{K \cdot [\text{SO}_2]}{1 + K \cdot [\text{SO}_2]} \quad (7)$$

Перевернем дроби по обе части равенства и после упрощения получим уравнение прямой, отражающее связь между свободной и связанной формой сернистой кислоты относительно переменных $1/[\text{SO}_2]$, $1/[\text{SO}_2]_B$ и которое будет иметь следующий вид:

$$\frac{1}{[\text{SO}_2]_B} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m \cdot K \cdot [\text{SO}_2]} \quad (8)$$

Если умножить обе части уравнения на $[\text{SO}_2]$, то получим выражение

$$\frac{[\text{SO}_2]}{[\text{SO}_2]_B} = \frac{[\text{SO}_2]}{a_m} + \frac{1}{a_m \cdot K} \quad (9)$$

Или в системе координат $\left(x = [\text{SO}_2], y = \frac{[\text{SO}_2]}{[\text{SO}_2]_B} \right)$

$$y = \frac{x}{a_m} + \frac{1}{a_m \cdot K} \quad (10)$$

получаем уравнение прямой относительно переменных x и y , где тангенс угла наклона относительно оси X равен $1/a_m$, а значение константы равновесия K можно определить из выражения:

$$y(0) = \frac{1}{a_m \cdot K} \Rightarrow K = \frac{1}{a_m \cdot y(0)} \quad (11)$$

где $y(0)$ – ордината точки пересечения прямой оси Y .

Уравнения (9) и (10) с точностью до обозначений повторяют линейные формы уравнения изотерм адсорбции Ленгмюра [18, 19], описывающих мономолекулярную адсорбцию газов адсорбентом с ограниченным адсорбционным объемом или поверхностью адсорбента при изменении парциального давления газа при постоянной температуре. В данном случае вместо парциального давления газа используется величина ей пропорциональная – массовая концентрация свободного диоксида серы.

Строго говоря, правила химической кинетики при нахождении констант равновесия реакций обязывают нас оперировать молярными концентрациями реагентов и продуктов реакции. Ввиду того, что определить молекулярную массу SO_2 -связывающих компонентов и продуктов их взаимодействия, а также определить порядок реакции не представляется возможным, то их концентрацию мы в дальнейшем будем выражать в мг/дм^3 в пересчете на SO_2 , которое они теоретически могут связать, а само значение константы равновесия будет отражать не истинное значение химической константы равновесия, а константу равновесия между свободной и связанной формой сернистой кислоты в выбранной системе измерений концентраций, что удобно с практической точки зрения при технологических расчетах. Назовем ее для удобства константой связывания SO_2 компонентами вина.

С целью проверки применимости данного подхода к оценке сульфитосвязывающей способности белых столовых вин были проведены постановочные опыты с внесением различных доз SO_2 в белые столовые виноматериалы, с последующим определением

концентрации свободной F и связанной B форм сернистой кислоты. Полученные данные были представлены в системе координат $(F, F/B)$. Как показал анализ полученных зависимостей, все они действительно представляют собой семейство прямых линий в ши-

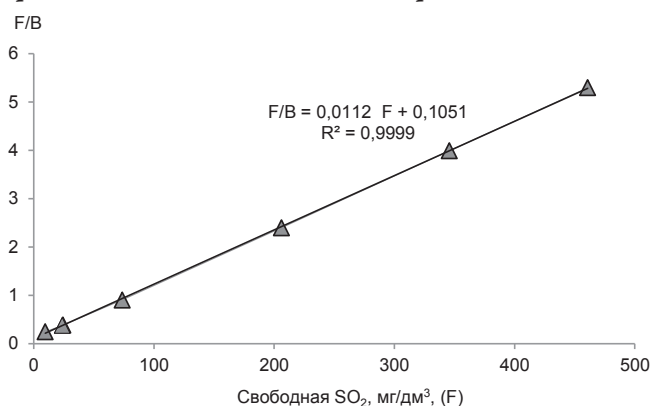


Рис. 2. Зависимость концентрации связанной формы сернистой кислоты (B) от концентрации свободной ее формы (F) в системе координат (F, F/B)

Fig. 2. Concentration dependence of the bound form of sulfurous acid (B) on its free form (F) in the system of axes (F, F / B)

роком диапазоне дозировок концентраций сернистой кислоты, что полностью подтвердило справедливость предложенной математической модели (10), описывающей процесс связывания сернистой кислоты компонентами вина. Результаты одного из этого опытов приведены на рис. 2.

Ввиду того, что график зависимости концентрации связанной (B) и свободной (F) форм сернистой кислоты в выбранной системе координат представляет собой прямую линию, то для его построения достаточно двух экспериментальных точек с различной внесённой дозой SO_2 , с последующим определением свободной и связанной форм сернистой кислоты с компонентами вина. Этот факт был положен в основу разработки оригинального метода оценки SO_2 -связывающей способности столовых белых вин, которая позволяет оценить концентрацию сульфитосвязывающих компонентов вина, а также рассчитать необходимые дозы сернистого ангидрида для достижения заданного уровня свободной сернистой кислоты. Для построения прямой дозировки сернистой должны быть достаточно высоки и различаться по абсолютному значению, чтобы повысить точность определения свободной и связанной форм сернистой кислоты, а также их соотношения.

Сущность метода заключается в следующем. В две бутылки или колбы с номинальной вместимостью 100 см^3 наливают пробу вина объемом не менее 100 см^3 , в одну из них добавляют 3-5 мг, а во вторую 30-40 мг SO_2 в виде водного раствора метабисульфита калия или натрия. Обе бутылки герметически укупоривают, оставляя минимальную газовую камеру и погружают в водяную баню с температурой плюс $50 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ на 60 мин., как это предусмотрено методикой описанной в [2]. По истечении этого времени бутылки вынимают, охлаждают до плюс 20°C и определяют в пробах концентрацию свободной и связанной форм

SO₂ по ГОСТ 32115-2013/(ГОСТ Р 51655-2000). Результаты измерения оформляют в виде таблицы.

Таблица. Исходные данные для расчета сульфитосвязывающей способности вина

Table. Basic data for calculating the sulfite-binding capability of wine

Номер бутылки	Концентрация SO ₂ по формам, мг/дм ³		$x = F$	$y = \frac{F}{B}$
	свободной F	связанной B		
1	x_1	y_1
2	x_2	y_2

Концентрацию SO₂-связывающих компонентов вина a_m в пересчете на SO₂ определяют из формулы:

$$a_m = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}, \text{ мг/дм}^3. \quad (12)$$

Если необходимо найти молярную концентрацию SO₂-связывающих компонентов вина, полученную цифру необходимо разделить на 64 – молекулярную массу SO₂.

Константу связывания SO₂ компонентами вина определяют по следующей формуле:

$$K = \frac{y_2 - y_1}{y_1 x_2 - y_2 x_1}. \quad (13)$$

Общее содержание сернистой кислоты T , необходимое для обеспечения заданной концентрации свободной сернистой кислоты, можно определить из соотношения

$$T = B + F = \frac{a_m \cdot F \cdot K}{1 + K \cdot F} + F, \quad (14)$$

где F – требуемое значение концентрации свободной сернистой кислоты, которое нужно получить, мг/дм³.

Дозу сульфитации D , мг/дм³, необходимую для обеспечения заданной концентрации общей сернистой кислоты, можно определить из уравнения:

$$D = T - T_0, \quad (15)$$

где T – требуемая концентрация общего SO₂ в вино-материале, T_0 – начальная концентрация общего SO₂ в вино-материале, мг/дм³.

Пример. Пусть исходное значение свободной F_0 и связанной B_0 форм SO₂ составляет 4 мг/дм³ и 25 мг/дм³ соответственно. После добавления двух доз SO₂ \approx 30 мг/дм³ и \approx 250-300 мг/дм³ концентрация свободной F и связанной B форм SO₂ составляла в первой бутылочке 10 мг/дм³ и 40 мг/дм³, а во второй 80 мг/дм³ и 200 мг/дм³ соответственно. Определить концентрацию SO₂-связывающих компонентов вина – a_m , константу связывания SO₂ вино-материалом – K , а также необходимую дозу SO₂ для обеспечения 20 мг/дм³ свободной сернистой кислоты.

Записываем исходные данные для расчетов в таблицу и получаем

Номер бутылки	Концентрация SO ₂ по формам, мг/дм ³		$x = F$	$y = \frac{F}{B}$
	свободной F	связанной B		
1	10	40	$x_1=10$	$y_1=0,25$
2	200	80	$x_2=200$	$y_2=2,5$

Подставив полученные данные в формулу (12), получим концентрацию SO₂-связывающих компонентов вина a_m в пересчете на SO₂:

$$a_m = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{200 - 10}{2,5 - 0,25} = 84,4 \text{ мг/дм}^3.$$

Учитывая то, что молекулярная масса SO₂ составляет 64 а.е.м., молярная концентрация SO₂-связывающих групп будет равна $a_m/64 = 84,4/64 \approx 1,32 \cdot 10^{-3}$ м/дм³.

Константа K связывания SO₂ компонентами вина, вычисленная по формуле (13), составит величину:

$$K = \frac{y_2 - y_1}{y_1 x_2 - y_2 x_1} = \frac{2,5 - 0,25}{0,25 \cdot 200 - 2,5 \cdot 10} = 0,09.$$

Необходимая концентрация общей сернистой кислоты для обеспечения концентрации свободной сернистой кислоты 20 мг/дм³, вычисленная по формуле (14), составит:

$$T = \frac{a_m \cdot F \cdot K}{1 + K \cdot F} + F = \frac{84,4 \cdot 20 \cdot 0,09}{1 + 0,09 \cdot 20} + 20 = 54,26 + 20 \approx 74,3 \text{ мг/дм}^3.$$

Дозу сульфитации D , мг/дм³, необходимую для обеспечения заданной концентрации общей сернистой кислоты, можно определить из уравнения (15):

$$D = T - T_0 = 74,3 - 4 - 25 \approx 45,3 \text{ мг/дм}^3.$$

Выводы

Таким образом, нами предложена и проверена экспериментально математическая модель, адекватно описывающая процесс связывания сернистой кислоты с компонентами столового сухого белого вина, которая позволяет оценить сульфитосвязывающую способность вина путем оценки количества SO₂-связывающих компонентов вина – a_m в пересчете на SO₂, и константу связывания SO₂ компонентами вина – K . Разработана методика оценки сульфитосвязывающей способности вина и концентрации SO₂-связывающих компонентов вина. Сформулирован методологический подход для определения доз сульфитации сухих белых столовых вин с целью обеспечения заданного уровня концентрации свободной сернистой кислоты.

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

1. Кишковский З.Н., Скурихин И.М. Химия вина. - М.: Пищевая промышленность. 1976: 312 с.
2. Методы технокимического контроля в виноделии / Под ред. Гержиковой В.Г. - Симферополь: Таврида, 2002: 206 с.
3. Ough C.S. and Were L. Sulfur Dioxide and Sulfites. Chapter 5 in book: Antimicrobials in food. Edited by Davidson P.M., Sofos I.N., Branson. 3d Edition. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2005: 143-167. ISBN 0-8247-4037-8.

4. Rehm H.J. and Wittmann H. Beitrag Zur Kenntnis der antimikrobiellen Wirkung der schwefligen Saure. I. Uebersichtuber einfl ussnehmende Faktoren auf die antimikrobiellen Wirkung der schwefligen Saure. Z. Lebensm. Untersuch. Forsch. 2002;413-429.
5. Pascal Ribe´reau-Gayon, Denis Dubourdieu, Bernard Done`che, Aline Lonvaund. Handbook of Enology. The Microbiology of Wine and Vinifi cations. 2-nd Edition. Volume 1. 2006:193-221.
6. Anacleto I. and van Uden N. Kinetics and activation energetics of death in *Saccharomyces cerevisiae* induced by sulfur dioxide. Biotechnol Bioeng. 1982;24:2477. DOI: 10.1002/bit.260241112.
7. Jackowetz J.N., Mira de Orduña R. Survey of SO₂ 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>
8. Wells A., Osborne J.P. Production of SO₂ Binding Compounds and SO₂ by *Saccharomyces* during Alcoholic Fermentation and the Impact on Malolactic Fermentation. South African Journal of Enology and Viticulture.2011;32(2):267-279. DOI: <https://doi.org/10.21548/32-2-1387>
9. Burroughs L.F. and Sparks A.H. The identification of sulphur dioxide binding compounds in apple juices and ciders. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1964;15:176-185.
10. Burroughs L.F. and Sparks A.H. Sulphite binding power of wines and ciders I. Equilibrium constants for the dissociation of carbonyl bisulphite compounds. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1973;24a:187-198.
11. Burroughs L.F. and Sparks A.H. Sulphite binding power of wines and ciders II. Theoretical considerations and calculation of sulphite binding equilibria. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1973b;24b:199-206.
12. Burroughs L.F. & Sparks A.H. Sulphite binding power of wines and ciders III. Determination of carbonyl compounds in a wine and calculation of its sulphite binding power. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1973;24c:201-217.
13. Volkova M., Matveikina E., Volkov Ja., Stranisheshevskaya E. Organic viticulture as an important aspect of conserving biodiversity in Crimean agrocenoses. E3S Web of Conferences. 2020:09004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509004>.
14. 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):109-124. DOI 10.30679/2219-5335-2019-3-57-109-124.
15. Пескова И.В., Остроухова Е.В., Зайцева О.В., Луткова Н.Ю., Вьюгина М.А. Роль технологических факторов в формировании SO₂-связывающего комплекса виноматериалов // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2021; 23(1):83-90. DOI 10.35547/IM.2021.96.76.014.
16. Огородник С.Т., Зинченко В.И., Азизов Н.А., Гусейнова З.Н., Загоруйко В.А. / Способ производства вина / Авторское свидетельство SU 1039961 A1, 07.09.1983. Заявка № 3232951 от 05.01.1981.
17. Зайцева О.В., Остроухова Е.В. SO₂-связывающий потенциал винограда разных сортов // «Магарач». Виноградарство и виноделие, 2020;22(2):163-167. DOI 10.35547/IM.2020.33.74.015
18. Langmuir I. J. Amer. Chem. Soc. Vol. 40. 1918;9:1361; DOI: 10.1021/ja02242a004.
19. Травин С.О., Громов О.Б., Утробин Д.В., Рошин А.В. Кинетическое моделирование изотерм адсорбции // Химическая физика, 2019;38(11):5-15. DOI: 10.1134/S0207401X19110116.

References

1. Kishkovskij Z.N., Skurikhin I.M. Chemistry of vine. M.: Food Industry. 1976:312 p. (in Russian).
2. Methods of technochemical control in winemaking. Edited by Gerzhikova V.G. Simferopol: Tavrida. 2002:206 p. (in Russian).
3. Ough C.S. and Were L. Sulfur Dioxide and Sulfites. Chapter 5 in book: Antimicrobials in food. Edited by Davidson P.M., Sofos I.N., Branson. 3d Edition. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2005:143-167. ISBN 0-8247-4037-8.
4. Rehm H.J. and Wittmann H. Beitrag Zur Kenntnis der antimikrobiellen Wirkung der schwefligen Saure. I. Uebersichtuber einfl ussnehmende Faktoren auf die antimikrobiellen Wirkung der schwefligen Saure. Z. Lebensm. Untersuch. Forsch. 2002:413-429.
5. Pascal Ribe´reau-Gayon, Denis Dubourdieu, Bernard Done`che, Aline Lonvaund. Handbook of Enology. The Microbiology of Wine and Vinifi cations. 2-nd Edition. Volume 1. 2006:193-221.
6. Anacleto I. and van Uden N. Kinetics and activation energetics of death in *Saccharomyces cerevisiae* induced by sulfur dioxide. Biotechnol Bioeng. 1982;24:2477. DOI: 10.1002/bit.260241112.
7. Jackowetz J.N., Mira de Orduña R. Survey of SO₂ 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>
8. Wells A., Osborne J.P. Production of SO₂ Binding Compounds and SO₂ by *Saccharomyces* during Alcoholic Fermentation and the Impact on Malolactic Fermentation. South African Journal of Enology and Viticulture.2011;32(2):267-279. DOI: <https://doi.org/10.21548/32-2-1387>
9. Burroughs L.F. and Sparks A.H. The identification of sulphur dioxide binding compounds in apple juices and ciders. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1964;15:176-185.
10. Burroughs L.F. and Sparks A.H. Sulphite binding power of wines and ciders I. Equilibrium constants for the dissociation of carbonyl bisulphite compounds. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1973;24a:187-198.
11. Burroughs L.F. and Sparks A.H. Sulphite binding power of wines and ciders II. Theoretical considerations and calculation of sulphite binding equilibria. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1973b;24b:199-206.
12. Burroughs L.F. & Sparks A.H. Sulphite binding power of wines and ciders III. Determination of carbonyl compounds in a wine and calculation of its sulphite binding power. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1973;24c:201-217.
13. Volkova M., Matveikina E., Volkov Ja., Stranisheshevskaya E. Organic viticulture as an important aspect of conserving biodiversity in Crimean agrocenoses. E3S Web of Conferences. 2020:09004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509004>.
14. Volkov Ja.A., Matveikina E.A., Volkova M.V., Stranisheshevskaya E.P. 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).
15. Peskova I.V., Ostroukhova E.V., Zaitseva O.V., Lutkova N.Yu., Vyugina M.A. The role of technological factors in the formation of SO₂-binding complex of base wines. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2021;23(1):83-90. DOI 10.35547/IM.2021.96.76.014. (in Russian).
16. Ogorodnik S.T., Zinchenko V.I., Azizov N.A., Gusejnova Z.N., Zagorouiko V.A. Method of wine production. Certificate of authorship SU 1039961 A1, 07.09.1983. Entry No. 3232951

- dd 05.01.1981 (in Russian).
17. Zaitseva O.V., Ostroukhova E.V. SO₂-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).
18. Langmuir I. J. *Amer. Chem. Soc.* Vol. 40. 1918;9:1361. DOI: 10.1021/ja02242a004.
19. Travin S.O., Gromov O.B., Utrobin D.V., Roshchin A.V. Kinetic modeling of adsorption isotherms. *Chemical physics*. 2019;38(11):5-15. DOI:10.1134/S0207401X19110116 (in Russian).

Информация об авторах

Руслан Генрихович Тимофеев, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории тихих вин, Russ1970@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6105-944X>;

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

Information about authors

Ruslan G. Timofeev, Cand.Techn.Sci, Assistant Professor, Leading Staff Scientist of Still Wine Laboratory, Russ1970@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6105-944X>;

Mariya A. Vyugina, Junior Staff Scientist of Still Wine Laboratory

Статья поступила в редакцию 04.08.2021, одобрена после рецензии 11.08.2021, принята к публикации 02.09.2021