

# Дестабилизация вин. Кристаллообразование калиевых солей

Нонна Владимировна Гниломедова, канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр. лаборатории химии и биохимии вина, 231462@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1784-2370>;

Надежда Станиславовна Аникина, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией химии и биохимии вина, hv26@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5682-3426>;

София Николаевна Червяк, канд. техн. наук, науч. сотр. лаборатории химии и биохимии вина, Sofi4@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9551-7448>

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

Среди различных причин потери товарного вида вин наиболее частой является кристаллическая дестабилизация за счет выпадения виннокислых солей. В большинстве случаев осадок представлен калиевой, реже – кальциевой солью. Изменение климатических условий, наблюдаемое за последнее время, расширение сырьевой базы, внедрение новых приемов возделывания винограда и технологии его переработки, а также использование современных вспомогательных материалов для виноделия влияет на коллоидный и минеральный состав вин, в результате чего общепринятые способы кристаллической стабилизации, а также методы диагностики вин на склонность к кристаллообразованию являются недостаточно эффективными. В данном литературном обзоре изложены современные представления о механизмах формирования в винах микро- и макрокристаллов битартрата калия. Показано, что кристаллическая дестабилизация вин зависит от множества разнонаправленно влияющих факторов, таких как температура вина, объемная доля этилового спирта, содержание коллоидных веществ, а также катионно-анионного состава, обуславливающего значение pH, ионную силу раствора и степень диссоциации органических кислот. Приведены количественные выражения и взаимосвязи содержания катионов калия и анионов винной кислоты, дестабилизирующих систему вина, с агротехническими особенностями возделывания винограда и технологическими приемами его переработки. Обоснована необходимость разработки новых методологических подходов для контроля и регулирования кристаллической стабильности вин на основе изучения качественного состава сырья и продуктов его переработки на всех этапах производства.

**Ключевые слова:** калий; винная кислота; битартрат калия; катионно-анионный состав; коллоидные вещества; агротехнические приемы; способы переработки винограда; ингибиторы и провокаторы кристаллообразования.

**Д**ля реализации «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» (утв. распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р) необходимым условием является внедрение фундаментальных исследований в направлении совершенствования и развития методологической базы с целью мониторинга качества и безопасности пищевой продукции.

## Как цитировать эту статью:

Гниломедова Н.В., Аникина Н.С., Червяк С.Н. Дестабилизация вин. Кристаллообразование калиевых солей // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2019; 21(3). С. 261-266. DOI 10.35547/IM.2019.21.3.014

## How to cite this article:

Gnilomedova N.V., Anikina N.S., Chervyak S.N. Wine destabilization. Potassium salts crystall formation. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie=Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2019; 21(3):261-266. DOI 10.35547/IM.2019.21.3.014 (in Russian)

УДК 663.252.35/258.2:54-128.2/4

Поступила 17.05.2019

Принята к публикации 20.08.2019

© Авторы, 2019

## REVIEW

# Wine destabilization. Potassium salts crystall formation

Nonna Vladimirovna Gnilomedova, Nadezhda Stanislavovna Anikina, Sofia Nikolaievna Chervyak

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

Among the various reasons why wines loose marketable condition, crystalline destabilization due to the loss of tartrate salts is the most frequent one. In most cases, the sediment is represented by potassium, less often - by calcium salt. The change in climatic conditions observed recently, the expansion of the raw material base, introduction of new grapevine cultivation methods and grapes processing technology, as well as the use of modern auxiliary materials for winemaking affect the wine colloidal and mineral composition. This makes the conventional methods of crystalline stabilization less effective, while diagnostic methods to determine wine tendency to crystal formation are insufficient. This literature review presents modern understanding of the mechanisms of potassium bitartrate micro- and macrocrystals formation in wines. It has been demonstrated that crystalline destabilization of wines depends on many diverse factors: wine temperature, the volume fraction of ethyl alcohol, the colloidal substances content, the cation-anion composition determining the pH value, the ionic strength of the solution and the degree of organic acids dissociation. The quantitative expressions and interrelationships of the potassium cations and tartaric acid anions content destabilizing the wine system are given along with agrotechnical peculiarities of grapevine cultivation and grapes technological processing methods. An argument was made for the new methodological approaches to control and regulate the crystalline stability of wines by studying the qualitative composition of the raw materials and products of their processing at all production stages.

**Key words:** potassium; tartaric acid; potassium bitartrate; cation-anion composition; colloidal substances; agro-technical methods; grape processing methods; crystal formation inhibitors and provocateurs.

Одним из регламентируемых критериев товарного вида винодельческой продукции является её стабильность – прозрачность и отсутствие любого вида осадка. Среди помутнений вин физико-химического характера наиболее частой является дестабилизация за счет выпадения кристаллов виннокислых солей. В большинстве случаев этот осадок представлен калиевой, реже – кальциевой солью [1-3]. Визуальная схожесть кристаллов с осколками стекла вызывает сомнение потребителя относительно качества и безопасности вина, несмотря на безвредность данных включений для здоровья человека.

Первостепенную роль в обеспечении стабильности вина играют его физико-химические свойства, которые формируются в цепочке виноград → сусло → виноматериал → вино под действием множества факторов: агроклиматических условий произрастания винограда, технологической схемы его переработки, методов стабилизации. Однако изменение климатических условий, наблюдаемых за последнее время, расширение сырьевой базы, внедрение новых приемов возделывания винограда и технологии его

переработки, а также использование современных вспомогательных материалов для виноделия влияет на накопление в вине веществ, обуславливающих дестабилизацию системы вина, в результате чего общепринятые методы кристаллической стабилизации виноматериалов являются недостаточно эффективными. В связи с этим разработка новых методологических подходов для контроля и регулирования кристаллической стабильности вин на основе изучения качественного состава сырья и продуктов его переработки на всех этапах производства является актуальной и требует более детального изучения.

**Целью данного литературного обзора** являлось обобщение современных представлений о механизмах и факторах кристаллической калиевой дестабилизации вин.

Вино представляет собой сложную систему, состав и баланс компонентов которой обуславливает ее свойства, в частности, способность образовывать кристаллические осадки малорастворимых солей винной кислоты. Катионами, участвующими в формировании указанных солей, являются калий и кальций, в то время как другие металл-ионы образуют растворимые соли либо представлены в вине в незначительном количестве, что не позволяет активировать процесс кристаллообразования.

Органические кислоты в виноградной ягоде в основном представлены винной и яблочной, на их долю приходится 70-90% общего содержания кислот [4]. Винная кислота, в отличие от других органических кислот, синтезируется только в ягодах винограда и в других плодах и фруктах не встречается [5, 6].

Винная кислота является двухосновной (содержит две карбоксильных группы) оксикислотой (содержит гидроксильную группу). Известны три её стереоизомера: мезо-форма (мезовинная кислота) и два пространственных энантиомера – D(-) и L(+). В винограде винная кислота находится только в виде стереоизомера с правовращающей осью поляризации L(+). Данная кислота легко отдает протоны, обеспечивая pH водного раствора 3,0-3,5 [7].

Из всех органических кислот, присутствующих в вине, винная является наиболее сильной, о чем свидетельствует такой показатель, как  $pK_a$  – отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации  $K_a$ : чем ниже значения показателя, тем более выражены кислотные свойства вещества. Винная кислота в водной среде имеет две константы диссоциации ( $pK_a$ ): по первой ступени – 2,89 и второй – 4,52 [8], по другим данным – 3,01 и 4,05 соответственно [7]. Другие органические кислоты вина в порядке возрастания  $pK_a$  располагаются следующим образом: яблочная (3,46), молочная (3,81), янтарная (4,18) [7].

В винной среде винная кислота образует пять основных вариантов солей: битартрат калия ( $KHTar$ ), тартрат калия ( $K_2Tar$ ), тетрагидротартрат кальция ( $CaTar$ ), калий-кальций тартрат и тартромалат кальция [7, 9]. Соотношение этих тартратных форм в значительной степени определяет активную кислотность (pH): снижение концентрации винной кислоты ( $H_2Tar$ ) приводит к увеличению значений pH и концентрации битартрата ( $HTar^-$ ) и тартрата ( $Tar^{2-}$ ).

При pH 2-3,5 винная кислота будет присутствовать в растворенном виде в максимальном количестве, при pH 3,5-4,5 равновесие сдвигается в сторону битартрата (максимум его содержания наблюдается в вине с pH 3,7) [9]. В вине 50-70 % винной кислоты представлено в виде  $HTar$ -ионов.

Массовая концентрация органических кислот в винограде, а также их соотношение зависит от ряда факторов: сортовая принадлежность, агроклиматические особенности зоны возделывания винограда, метеоусловия года и т.д. [1, 7, 10-12]. В незрелой ягоде винограда технических сортов концентрация винной кислоты может достигать 15 г/л. По мере созревания ее содержание уменьшается до 2-6 г/л (0,013–0,04 М) в зависимости от сортовых особенностей и терруара (высота над уровнем моря, сумма активных температур) [1, 7, 10-13]. В южных регионах за счет высоких температур в период созревания накопление винной кислоты составляет 2-3 г/л, в северных регионах может превышать 6 г/л [7]. В пределах одной микрозоны на концентрацию винной кислоты в ягоде и вине влияют климатические особенности года – отклонение показателя может составлять 0,1-0,9 г/л [12].

Если в свежем виноградном сусле содержание винной кислоты составляет 3,2-6,7 г/л (в среднем 65% от суммы органических кислот), то в готовой продукции (столовые вина) – 1,0-5,7 г/л (в среднем 57%) [13]. Снижение концентрации винной кислоты в молодых необработанных виноматериалах происходит за счет процессов образования и выпадения в осадок ее нерастворимых солей. Такая кристаллическая самостабилизация приводит к изменению концентрации тартрат-ионов – за два месяца отмечается снижение значений с 4,0-5,3 г/л до 3,5-4,0 г/л [14].

Калий является одним из важнейших макроэлементов, участвующих в метаболизме виноградной ягоды, физиологическая роль которого заключается в накоплении сахаров, росте клеток, устойчивости к болезням и абиотическому стрессу за счет стабилизации клеточных мембран, поддержания тургора и участия в транспорте веществ по флоэме [15]. В соке ягоды этот компонент катионного состава является доминирующим [16].

В винах массовая концентрация калия также значительно превалирует над содержанием остальных макро- и микроэлементов (кальция, магния, натрия, железа, меди, цинка и др.), и составляет 65-85% от суммы катионов [6, 17, 18]. Согласно литературным данным, его концентрация варьирует в широком диапазоне: от 300 до 2500 мг/л (0,005-0,04 М) [17, 19].

Содержание калия в вине зависит от особенностей химического состава почвы виноградников: при концентрации 7,5 мг/кг в почве его содержание в вине составило 712,7 мг/л, а при 24,7 мг/кг – 1153,3 мг/л [20]. Катионный состав ягоды винограда связан с площадью питания виноградного растения, которую возможно регулировать агротехническими приемами. Более высокое содержание калия характерно для виноматериалов, полученных из винограда, выращенного по схеме посадки 3,5×1,5 и 3,5×2 (в среднем 541 мг/л), по сравнению со схемой 2,5×1, 2,5×1,5 и 3×2 (в среднем 476 мг/л) [21]. Концентрация калия в вине определя-

ется сортовыми свойствами винограда [16, 18], что связано с метаболическими особенностями растения. В красных виноматериалах, выработанных из винограда разных сортов по идентичной технологии и в пределах одного предприятия, разница в содержании калия составляет до 400 мг/л [18].

Способ переработки винограда оказывает существенное влияние на содержание калия в вине. Брожение мезги обеспечивает более высокую концентрацию калия в виноматериале по сравнению с брожением сусла, что связано с экстрагированием катионов из твердых частей грозди (кожица и мякоть ягоды, семена, гребни) [6, 18, 22, 23]. Установлено, что для белых вин этот показатель составляет  $850 \pm 80$  мг/л, розовых –  $900 \pm 200$  мг/л, красных –  $1100 \pm 200$  мг/л [24]. Разница по содержанию калия между белыми и красными виноматериалами одного года урожая и одной зоны возделывания достигает 365 мг/л [18].

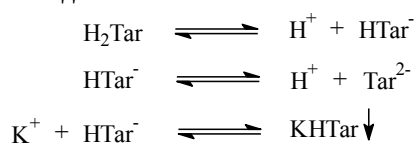
Регионы возделывания винограда обуславливают различное содержания калия в винопродукции: в столовых виноматериалах, выработанных в Германии, содержание калия составило 594-1139 мг/л [19], Одесской области – 425-820 мг/л [17], Крыму – 213-1401 мг/л [18].

Массовая концентрация калия и винной кислоты – основных участников кристаллической дестабилизации вин, по данным различных авторов, варьирует в широких пределах. Помимо перечисленных факторов, это связано с тем, что готовая продукция, в отличие от необработанных виноматериалов, подвержена различным технологическим воздействиям, направленным на удаление указанных компонентов для обеспечения кристаллической стабильности вина. Снижение содержания винной кислоты и калия может быть достигнуто различными методами: обработкой виноматериалов холодом, применением катионнообменных смол или электродиализа [1, 7, 25, 26]. Эффективному снижению концентрации калия в вине также может способствовать обработка природными цеолитами [27].

Однако в научной литературе недостаточно представлена роль изменения агроклиматических условий выращивания винограда в накоплении винной кислоты и калия, а также не установлено их соотношение и оптимальное содержание, обеспечивающее устойчивость вина к кристаллообразованию.

Считается, что ионы калия образуют нерастворимые соединения только с винной кислотой, но инертны по отношению к биополимерам вина, не влияя на его коллоидную стабильность [1]. Однако последними исследованиями было показано, что ионы калия и кальция способны селективно связываться с некоторыми формами фенольных веществ, в частности с три- и тетрамерами циклических процианидинов [28].

Химический процесс формирования битартрата калия (КНТаг) включает диссоциацию винной кислоты (Таг) по двум ступеням и образование нерастворимого соединения:



Данные реакции являются обратимыми, и при

изменении физических условий или концентрации других компонентов в системе наблюдается соответствующий сдвиг химического равновесия. Согласно закону действия масс, чем выше концентрация участников химического процесса или одного из них, тем выше скорость реакции [29] и тем активнее происходит образование нерастворимых соединений и выпадение осадка. Это касается как чистых растворов [29], так и вин [14], которые можно рассматривать как растворы, пересыщенные битартратом калия. Теоретически 1 г винной кислоты может взаимодействовать с 0,26 г калия с образованием 1,26 г битартрата калия [30], который обладает растворимостью в водном растворе 5,4 г/л (при 20 °С) [8].

Процесс образования визуально заметного осадка КНТаг включает в себя три стадии: перенасыщение системы активными ионами; образование центров кристаллизации (зародышевых кристаллов); рост кристаллов [31]. Появление центров кристаллизации в чистых растворах может происходить спонтанно непосредственно во всем объеме («гомогенное зародышеобразование»). В винах этот процесс протекает вдоль поверхностей («гетерогенное зародышеобразование»), что минимизирует площадь граней кристалла и уменьшает вероятность повторного растворения. Это обуславливает начало роста кристаллов битартрата калия на дефектах поверхности стенок емкостей (резервуары, бочки) или на различных включениях, например, дрожжевых клетках [1, 31].

Образование зародышевых центров для системы энергетически невыгодно: частицы, располагающиеся на границе раздела фаз, имеют менее прочные связи, чем внутри кристаллической решетки, в результате чего скорость растворения кристаллов может превышать скорость их роста. Некоторое количество центров кристаллизации может преодолеть критический радиус ядра, то есть снизить отношение поверхности к объему, что приводит к уменьшению свободной энергии поверхности и формированию кристалла. Обеспечивая образование ядер с меньшим диаметром путем снижения межфазной энергии, можно управлять данным процессом. Как правило, охлаждение вина до 0 °С приводит к снижению растворимости КНТаг в 2-3 раза, что обуславливает активное образование ядер кристаллов с дальнейшим их развитием [31].

При обработке виноматериала холодом существенное влияние на скорость кристаллообразования, размер сформировавшихся частиц, качество обработки, и, соответственно, гарантийный срок хранения винопродукции оказывают режимы и параметры процесса. Ускорить выпадение виннокислых кристаллов позволяет введение «затравки» [32], размер частиц которой определяет характер образовавшегося осадка [33]. Мелкодисперсные кристаллы (0,25-0,5 мм) экзогенного битартрата калия образуют множество центров кристаллизации и формируют хлопьевидные включения, малая масса которых замедляет седиментацию; частицы более 1 мм, напротив, достаточно тяжелы и быстро опускаются, не успевая достраивать кристаллическую решетку ионами калия и винной кислоты, растворенными в вине. Показано, что оптимальный размер частиц для сорбции катионов калия и

анионов винной кислоты составляет 0,5-0,75 мм [33].

Резкое понижение температуры при обработке виноматериалов холодом приводит к быстрому зарождению и формированию множества мелких пластинчатых кристаллов, склонных к быстрому растворению. Кристаллы более крупного размера образуются при медленном охлаждении виноматериала, что обеспечивает его эффективную фильтрацию после обработки [34].

Кристаллическая дестабилизация обусловлена не только балансом «винная кислота – калий» в системе вина, но и определяется целым рядом химических факторов (спиртуозность, катионно-анионный состав, содержание высокомолекулярных веществ), провоцирующих либо ингибирующих кристаллообразование [35-38].

Битартрат калия не диссоциирует в этиловом спирте, поэтому в модельных растворах, имитирующих вино, растворимость КНТар в 2-3 раза ниже, чем в воде [1]. Повышение спиртуозности с 10 % об. до 14 % об. приводит к увеличению температуры насыщения с 15 °С до 20,3 °С [37], чем выше значения которой, тем насыщеннее система КНТар, и тем выше риск запуска кристаллообразования при охлаждении вина. В производственных условиях влияние этанола на потерю растворимости битартратом калия можно наблюдать в процессе брожения сусла – повышение содержания этилового спирта в результате метаболизма дрожжевых клеток приводит к быстрому накоплению кристаллического осадка на дне емкости [37].

Важным моментом, влияющим на образование кристаллов КНТар, является концентрация ионов, не участвующих в кристаллообразовании, но увеличивающих ионную силу раствора. Это так называемый «солевой эффект», который повышает растворимость осадков в присутствии сильных электролитов. Влияние постороннего электролита на растворимость объясняется электростатическим взаимодействием между ионами-участниками процесса и посторонними ионами, что вызывает сдвиг равновесия реакции осаждения-растворения. Как правило, чем больше концентрация электролита, тем сильнее это влияние [39]. Этим можно объяснить ингибирующий эффект катионов натрия и магния на склонность вин к кристаллической дестабилизации с участием битартрата калия [38].

Моносахариды (глюкоза и фруктоза), присутствующие в вине в остаточном количестве, не оказывают существенного влияния на процесс кристаллообразования. Однако высокое содержание сахаров приводит к ингибированию седиментации образовавшихся кристаллов, что обусловлено более высокой вязкостью среды. Это подтверждается результатами холодной обработки белых столовых виноматериалов (при температуре минус 5°С) – процесс кристаллообразования в сухих образцах длился 6-7 сут., в полусладких – 10 сут. [19].

Формированию и выпадению кристаллов препятствует наличие в среде собственных высокомолекулярных веществ, к которым относятся полисахариды винограда [36], фенольные вещества [22, 36, 37], а также маннопротеины дрожжевых клеток, которые высвобождаются во время брожения и в процессе их

автолиза [40]. Содержание таких веществ в белых и красных винах существенно различается, что влияет на скорость выпадения осадка КНТар, о чем свидетельствует изменение концентрации калия в виноматериалах до и после холодной обработки. Так, в белых и красных образцах снижение содержания калия составляет 58 % и 13 % соответственно [22], несмотря на то, что красные вина характеризуются более высокой концентрацией катионов.

Считается, что механизмы соосаждения высокомолекулярных веществ на поверхности кристаллов различны [37]. Фенольные вещества не могут прочно взаимодействовать с битартратом калия и сорбируются посредством Н-связей, ослабленных отрицательным зарядом тартрат-иона, при этом, окрашивая кристалл, они не препятствуют его росту. В то время как белковые молекулы взаимодействуют с поверхностью за счет электростатических сил, что приводит к нарушению процесса построения кристаллической решетки и изменению морфологии кристалла [37].

Защитный эффект некоторых высокомолекулярных веществ положен в основу технологических методов борьбы с появлением кристаллического осадка в вине. Внесение препаратов на основе карбоксиметилцеллюлозы [41-43], полиаспартата [44], метавинной кислоты [42, 45], искусственно выделенных маннопротеинов [42, 46] продлевают срок кристаллической стабильности и служат дополнительной гарантией качества вина. Однако данные вещества проявляют должный защитный эффект только при незначительной исходной склонности вин к кристаллообразованию, внесение их целесообразно после предварительной обработки виноматериалов с выведением из растворенного состояния битартрата калия. Следует также отметить, что добавка некоторых защитных коллоидов может провоцировать коллоидную нестабильность готовой продукции.

Таким образом, дестабилизация определяется содержанием и балансом основных участников кристаллообразования, наличием в системе вина провокаторов и ингибиторов этого процесса, а также температурными условиями.

Отсутствие достаточных знаний о влиянии новых вспомогательных материалов, агротехнических и технологических приемов на кристаллическую стабильность вин обуславливает необходимость разработки новых методологических подходов для контроля и регулирования кристаллической стабильности вин на основе изучения качественного состава сырья и продуктов его переработки на всех этапах производства.

#### **Источник финансирования**

Работа выполняется в рамках Государственного задания Минобрнауки России № 0833-2019-0024.

#### **Financing source**

The study was conducted under public assignment № 0833-2019-0024.

#### **Конфликт интересов**

Не заявлен.

#### **Conflict of interests**

No declared.

#### **Список литературы/ References**

1. Waterhouse A.L., Sacks G.L., Jeffery D.W. Understanding

- wine chemistry. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Inc. 2016. 443 p.
- Lasanta C., Gómez J. Tartrate stabilization of wines. *Trends in Food Science and Technology*. 2012. 28 (1). pp. 52-59.
  - Храпов А.А., Агеева Н.М. Мониторинг кристаллических помутнений винодельческой продукции, производимой предприятиями Краснодарского края // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2016. № 4. С. 119-122.
  - [Khrapov A.A., Ageeva N.M. Monitoring of crystalline turbidity wine products manufactured by enterprises of Krasnodar region. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2016. № 4. pp. 119-122 (in Russian)].
  - Cosme F., Vilela A., Jordão A.M. The role of tartaric acid in grapes and wines (Book Chapter), 2017. *Advances in Chemistry Research* 40. pp. 198-216.
  - Шобингер У. Фруктовые и овощные соки: научные основы технологии / Пер. с нем. Под общ. науч. ред. А.Ю. Колеснова, Н.Ф. Берестеня и А.В. Орещенко. СПб: Профессия, 2004. 640 с.
  - [Schobinger U. Fruchtovye i ovoshhnye soki: nauchnye osnovy tehnologii [Fruit and vegetable juices: scientific basis of technology] / Per. s nem. Pod obshh. nauch. red. A.Yu. Kolesnova, N.F. Berestenja i A.V. Oreshhenko. SPb: Professija. 2004. 640 p. (in Russian)].
  - Аникина Н.С., Жилиякова Т.А., Гержилова В.Г., Владимирова Л.Г., Семенчук А.В., Черкашина А.Ф., Сарварова Н.Н., Горбунова Е.В. Минеральный состав виноградных вин – идентификационный признак их аутентичности // «Магарач». Виноградарство и виноделие, 2010. № 1. С. 33-35.
  - [Anikina N.S., Zhiljakova T.A., Gerzhikova V.G., Vladimirova L.G., Semenchuk A.V., Cherkashina A.F., Sarvarova N.N., Gorbunova E.V. The mineral composition of grape wines is an identification sign of their authenticity. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie=Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2010. № 1. pp. 33-35 (in Russian)].
  - Ribereau-Gayon P., Yves G., Maujean A., D. Dubourdieu *Handbook of Enology*, vol. 2, John Wiley & Sons, England. 2006. pp. 369-386.
  - Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия. 1979. С. 322.
  - [Lure Yu.Yu. Spravochnik po analiticheskoy himii [Handbook of Analytical Chemistry]. Moscow: Himiya. 1979. pp. 322 (in Russian)].
  - Sirromet Wines Pty (Ltd). Wine pH & Acidity. Concepts and chemistry of pH, organic acids, buffer capacity and wine quality implications of pH. URL: <http://slideplayer.com/slide/8339529/> (дата обращения: 22.04.2019)
  - Даудова Т.И., Власова О.К. Состав и содержание органических кислот в соке и виноматериалах из винограда, выращенного в северо-западной зоне Дагестана // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2018. № 1 (361). С. 28-31.
  - [Daudova T.I., Vlasova O.K. Composition and content of organic acids in juice and wine from grapes grown in the north-western zone of Dagestan. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija*. 2018. № 1 (361). pp. 28-31 (in Russian)].
  - Остроухова Е.В., Пескова И.В., Погорелов Д.Ю. Профиль органических кислот винограда белых сортов, произрастающих в Крыму // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2019. № 56 (02). С. 122-132.
  - Ostroukhova E., Peskova I., Pogorelov D. The organic acid profile of white grapes varieties growing in Crimea. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*. 2019. № 56 (02). pp. 122-132 (in Russian)].
  - Макаров А.С., Яланецкий А.Я., Лутков И.П., Шмигельская Н.А., Шалимова Т.Р., Максимовская В.А., Кречегова В.В., Погорелов Д.Ю., Грамотенко А.П. Особенности состава органических кислот в виноматериалах южного берега Крыма // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2018. № 1. С. 36-39.
  - [Makarov A., Yalanetskii A., Lutkov I., Shmigelskaia N., Shalimova T., Maksimovskaia V., Krechetova V., Pogorelov D., Gramotenko A. Peculiarities of the composition of organic acids in wine materials of the southern coast of Crimea. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie=Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2018. № 1. pp. 36-39 (in Russian)].
  - Гниломедова Н.В., Аникина Н.С., Гержилова В.Г., Погорелов Д.Ю., Рябинина О.В., Ермихина М.В. Профиль органических кислот как критерий идентификации продуктов виноградно-виноградного происхождения // *Пиво и напитки*. 2016. № 5. С. 40-43.
  - [Gnilomedova N., Anikina N., Gerzhikova V., Pogorelov D., Ryabinina O., Ermikhina M. Profile of Organic Acids as a Criterion for Identifying the Origin of Wine Products. *Pivo i napitki*. 2016. № 5. pp. 40-43 (in Russian)].
  - Lampř, L., Žaloudek, J. Influence of summer management practices and date of harvesting on organic acids concentration and sugar concentration in grapes of *Vitis vinifera* L., cv. Riesling. *Horticultural Science*. 2018. 45(4). pp. 213-218.
  - Rogiers S.Y., Coetzee Z.A., Walker R.R., Deloire A., Tyerman S.D. Potassium in the grape (*Vitis vinifera* L.) berry: Transport and function. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. 2017. pp. 1629.
  - Андреева В.Е., Калмыкова Н.Н., Калмыкова Е.Н., Гапонова Т.В. Сравнительный анализ содержания катионов щелочных металлов сусел и молодых вин, полученных из белых сортов винограда межвидового происхождения // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2018. № 3 (105). С. 67-68.
  - [Andreyeva V.Y., Kalmykova N.N., Kalmykova E.N., Gaponova T.V. Comparative analysis of cation content of alkali metals in must and young wines produced from white grape varieties of inter-specific origin. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie=Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2018. № 3 (105). pp. 67-68 (in Russian)].
  - Ткаченко О.Б., Иукурдзе В.Г. Особенности состава минерального комплекса белых столовых виноматериалов агроклиматической зоны Шабо // *Пищевая наука и технология*. 2014. Т. 29. № 4. С. 55-59.
  - [Tkachenko O.B., Iukuridze V.G. Features of the mineral complex of white table wine materials of the agro-climatic zone of Shabo. *Pishhevaja nauka i tehnologija*. 2014. Vol. 29. №. 4. pp. 55-59 (in Russian)].
  - Макаров А.С., Лутков И.П., Шалимова Т.Р., Бурдинская А.В., Жилиякова Т.А., Аристова Н.И. Исследование катионного состава виноматериалов для игристых вин, выработанных в различных хозяйствах Крыма // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2016. № 39 (3). С. 56-67.
  - [Makarov A., Lutkov I., Shalimova T., Burdinskaia A., Zhilyakova T., Aristova N. Study of cation composition of wine materials for sparkling wines, produced in the various farms of the Crimea. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*. 2016. № 39 (3). pp. 56-67 (in Russian)].
  - Храпов А.А., Агеева Н.М., Мошель Д. Влияние вязкости вина на кристаллообразование при внесении битартрата калия // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2017. № 2-3 (356-357). С. 28-30.
  - [Khrapov A.A., Ageeva N.M., Moschell D. Effect of viscosity of the wine on the crystal formation at addition the bitartrate potassium. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija*. 2017. № 2-3 (356-357). pp. 28-30 (in Russian)].
  - Кузьменко А.С., Кузьменко Е.И., Ткаченко Д.П. Мониторинг содержания калия, кальция, натрия, магния в системе почва-виноград-вино, в контексте формирования типичных вин Северного Причерноморья // *Научные труды ГНУСКЗНИИСИВ*, 2013. Т. 4. С. 47-53.
  - [Kuz'menko A., Kuz'menko E., Tkachenko D. Monitoring of potassium, calcium, sodium, magnesium in the soil-grape-wine in the context of the formation of typical wines of the northern Black Sea. *Nauchnye trudy GNUSKZNIISiV*. 2013. Vol. 4.

- pp. 47-53 (in Russian)].
21. Ширишова А.А., Павлюкова Т.П., Прах А.В., Гугучкина Т.И. Катионный состав белых столовых виноматериалов из сорта Рислинг в зависимости от схемы посадки винограда // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2016. № 39 (3). С. 50-55.
  - [Shirshova A., Pavlyukova T., Prakh A., Guguchkina T. Cation composition of Riesling white table wine depending on use of agric and technical methods. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*. 2016. № 39 (3). pp. 50-55 (in Russian)].
  22. Walker R., Blackmore D. Potassium concentration and pH inter-relationships in grape juice and wine of Chardonnay and Shiraz from a range of rootstocks in different environments. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2012. Vol. 18, Issue 2. pp. 183-193. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2012.00189.x
  - 23 Zamfir C.I., Cotea V.V., Luchian C.E., Niculau M., Odăgeriu G. The influence of different prefermentative maceration processes and tartaric stabilization treatments on the color, cation content and other physico-chemical parameters of 'Băbească neagră' rosé wines // *Vitis - Journal of Grapevine*, 2014. Research 53(1), pp. 45-52.
  24. Шелудько О.Н., Стрижов Н.К. Применение комплексного анализа при оценке качества винодельческой продукции // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5-6 (365-366). С. 116-120.
  - [Sheludko O.N., Strizhov N.K. Application of integrated analysis in the evaluation of the quality of wine products. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija*. 2018. № 5-6 (365-366). pp. 116-120 (in Russian)].
  25. Corti S.V., Paladino, S.C. Tartaric stabilization of wines: Comparison between electrolysis and cold by contact. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 2016(48)(1). pp. 225-238.
  26. Ibeas V., Correia A.C., Jordão A.M. Wine tartrate stabilization by different levels of cation exchange resin treatments: Impact on chemical composition, phenolic profile and organoleptic properties of red wines. *Food Research International*, 2015. 69. pp. 364-372.
  27. Mercurio M., Bish D.L., Cappelletti P., De Gennaro B., De Gennaro M., Grifa C., Izzo F., Mercurio V., Morra V., Langella A. The combined use of steam-treated bentonites and natural zeolites in the oenological refining process. *Mineralogical Magazine*, 2016. 80(2). pp. 347-362.
  28. Longo E., Rossetti F., Merkyte V., Obiedzińska, A., Boselli E. Selective binding of potassium and calcium ions to novel cyclic proanthocyanidins in wine by HPLC-HRMS. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2018. 32(18). pp. 1637-1642 Reads. DOI: 10.1002/rcm.8221.
  29. Коровин Н.В., Масленикова Г.Н., Мингулина Э.И., Филиппов Э.Л. Курс общей химии. М.: Высшая школа, 1990. С. 109-110, 140-141.
  - [Korovin N.V., Maslennikova G.N., Mingulina E.I., Filippov E.L. Kurs obshchey himii [General chemistry course]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. pp. 109-110, 140-141 (in Russian)].
  30. Zoecklein B. A Review of Potassium Bitartrate Stabilization of Wines. Department of Horticulture. Virginia Polytechnic Institute and State University, 1988. URL: <https://www.apps.fst.vt.edu/extension/enology/downloads/PotBitar.pdf> (дата обращения: 22.04.2019).
  31. De Yoreo J.J., Vekilov P.G. Principles of crystal nucleation and growth. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003. Vol. 54 (1). pp. 57-93.
  32. Sturza R., Covaci E. Tartaric stabilization of young wines and thermodynamic indices of stability. *Rev. Roum. Chim.*, 2015, 60(11-12), pp. 1019-1024.
  33. Храпов А.А., Агеева Н.М. Влияние степени дисперсности препаратов битартрата калия на эффективность их использования для стабилизации вин // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2016. № 5-6 (353-354). С. 38-41.
  - [Khrapov A.A., Ageeva N.M. Impact of the degree of dispersion of potassium bitartrate preparations on efficiency of their use for stabilization of wines. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija*. 2016. № 5-6 (353-354). pp. 38-41 (in Russian)].
  34. Риборо-Гайон Ж., Пейно Э., Риборо-Гайон П., Сюдур П. Теория и практика виноделия / Под ред. Г. Г. Валуико. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. Т. 4. 415 с.
  - [Ribereau-Gayon J., Peynaud E., Ribereau-Gayon P., Sudraud P. *Teoriya i praktika vinodeliya*. Т. 2-4 [Theory and practice of winemaking]. Moscow: Legkaya i pishhevaya promyshlennost'. 1981. Vol. 4. 415 p. (in Russian)].
  35. Gerbaud V., Gabas N., Blouin J., Laguerie C. Nucleation studies potassium hydrogen tartrate in model solutions and wines. *Journal of Cristal Growth*. 1996. 199. pp. 172-178.
  36. Gerbaud V., Gabas N., Jacques Blouin, Pellerin P., Moutounet M. Influence of wine polysaccharides and polyphenols on the crystallization of potassium hydrogen tartrate. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 1997. Vol. 31. № 2. pp. 65-83.
  37. Lambri M., Colangelo D., Dordoni R., De Faveri D.M. The effects of different protein:tannin ratios on the tartrate-holding capacity of wine model solutions. *Food research international*. 2014. Vol. 62. pp. 441-447.
  38. Гержикова В.Г., Червяк С.Н., Погорелов Д.Ю., Михеева Л.А., Щербина В.А. Влияние катионов на прогнозирование стабильности белых столовых виноматериалов к кристаллическим помутнениям // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2016. № 3. С. 25-27.
  - [Gerzhikova V., Chervyak S., Pogorelov D., Mikheieva L., Shcherbina V. The Influence of Cations on the Prediction of White Table Base Wine Stability to Crystal Haze. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*=Magarach. Viticulture and Winemaking. 2016. № 3. pp. 25-27 (in Russian)].
  39. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ. М.: Химия, 1971. 456 с.
  - [Kreshkov A.P. *Osnovy analiticheskoy himii. Teoreticheskie osnovy. Kolichestvennyj analiz* [Fundamentals of Analytical Chemistry. Theoretical basis. Quantitative analysis]. Moscow: Himija. 1971. 456 p. (in Russian)].
  40. Ortega-Heras M., González-SanJosé M.L. Mannoproteins and enology: Tartrate and protein stabilization. *Recent advances in wine stabilization and conservation technologies*, 2016. pp. 95-109.
  41. Bajul A., Gerbaud V., Teychene S., Devatine A., Bajul G. Effect of carboxymethylcellulose on potassium bitartrate crystallization on model solution and white wine. *Journal of Cristal Growth*. 2017. Vol. 472. pp. 54-63. doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2017.03.024
  42. Stabilisation des vins. Stabilisation tartrique, protéique, colloïdale et microbiologique. URL: <https://laffort.com/gammes/stabilisation/> (дата обращения: 16.04.2019).
  43. Claus H., Tenzer S., Sobe M., Schlander M., König H., Fröhlich J. Effect of carboxymethyl cellulose on tartrate salt, protein and colour stability of red wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2014. 20. pp.186-193.
  44. Bosso A., Panero L., Petrozziello M., Sollazzo M., Asproudi A., Motta S., Guaita M. Use of polyaspartate as inhibitor of tartaric precipitations in wines. *Food Chemistry*, 2015. 185. 17346. pp. 1-6.
  45. Metatartaric acid: physicochemical characterization and analytical detection in wines and grape juices / Sprenger, S., Hirn, S., Dietrich, H., Will, F. *European Food Research and Technology*, 2015. 241(6). pp. 785-791.
  46. Lankhorst P.P., Voogt B., Tuinier R., Lefol B. Pellerin P., Virone C. Prevention of Tartrate Crystallization in Wine by Hydrocolloids: The Mechanism Studied by Dynamic Light Scattering. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017. Vol. 65, Issue 40. pp. 8923-8929.