

Влияние штамма дрожжей на состав органических кислот вина

Ирина Валериевна Пескова, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории тихих вин, yarinka-73@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5107-518X>;

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

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

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

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

Содержание и состав органических кислот, играющих важную роль в формировании вкуса и аромата вина, во многом зависит от штамма дрожжей. Это позволяет рассматривать микроорганизмы как средство биомодуляции кислотности вин. Целью настоящих исследований являлось изучение комплекса нелетучих органических кислот белых столовых сухих вин из винограда сортов Алиготе, Кокур белый и Мускат белый, полученных с использованием шести штаммов дрожжей рода *Saccharomyces*. Анализ комплекса органических кислот вин осуществляли с использованием ВЭЖХ. Показано, что, несмотря на преобладающую роль сорта винограда в формировании комплекса органических кислот, титруемой и активной кислотности вина, штамм дрожжей также влияет на его формирование. Выявлены особенности комплекса органических кислот вин, полученных на разных штаммах: высокая доля яблочной (33%) и молочной (16%) кислот в винах, полученных соответственно на штаммах Мускат венгерский и Судак; высокая концентрация янтарной кислоты в винах, полученных на штаммах Ленинградская и Мускат венгерский – 1,38 и 1,18 г/дм³ соответственно, и низкая 0,83 г/дм³ – на штамме Судак. Полученные результаты послужат базисом в исследованиях по биомодуляции состава органических кислот путем использования разных штаммов дрожжей, как одного из факторов снижения доз диоксида серы в аспекте производства винопродукции с органическим статусом.

Ключевые слова: *Saccharomyces cerevisiae*; винная кислота; яблочная кислота; янтарная кислота; лимонная кислота; молочная кислота; сорт винограда.

Введение. Кислотность сусла и вина является одним из энологических факторов, играющих важную роль в формировании вкуса вин различных типов. Основными составляющими титруемой кислотности являются винная, яблочная и лимонная кислоты.

Как цитировать эту статью:

Пескова И.В., Остроухова Е.В., Луткова Н.Ю., Зайцева О.В. Влияние штамма дрожжей на состав органических кислот вина // «Магарач». Виноградарство и виноделие, 2020; 22(2): С. 174-178. DOI 10.35547/IM.2020.35.80.017

How to cite this article:

Peskova I.V., Ostroukhova E.V., Lutkova N.Yu., Zaitseva O.V. Yeast strain effect on the composition of organic acids of wines. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2020; 22(2): 174-178. DOI 10.35547/IM.2020.35.80.017

УДК 634.85.076

Поступила 12.05.2020

Принята к публикации 20.05.2020

© Авторы

ORIGINAL RESEARCH

Yeast strain effect on the composition of organic acids of wines

Irina Valerievna Peskova, Elena Viktorovna Ostroukhova, Natalia Yurievna Lutkova, Olga Vladimirovna Zaitseva

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, Russian Federation

The content and composition of organic acids, playing an important role in the formation of wine taste and aroma, largely depend on the yeast strain. It allows us to consider microorganisms as a resource of biomodulation of wine acidity. The purpose of this research was to study the complex of nonvolatile organic acids of white table dry wines made of 'Aligote', 'Kokur Belyi' and 'Muscat Blanc' grape varieties obtained using six strains of the *Saccharomyces* yeast species. The analysis of the complex of organic acid of wines was carried out using HPLC. It was shown that, despite the predominating role of grape varieties in the formation of organic acids complex, titratable and active acidity of wine, the yeast strain was also effecting its formation. The features of the complex of organic acids of wines obtained with different strains were revealed: high proportion of malic (33%) and lactic (16%) acids in wines obtained respectively with strains 'Muscat Vengerskiy' and 'Sudak'; high concentration of succinic acid in wines obtained with strains 'Leningradskaya' and 'Muscat Vengerskiy' - 1.38 and 1.18 g/dm³, respectively, and low 0.83 g/dm³ with the strain 'Sudak'. The results obtained will serve as a basis for research of biomodulation of the composition of organic acids by using different yeast strains as one of the factors of reducing the dosage of sulfur dioxide in the aspect of organic wine production.

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*; tartaric acid; malic acid; succinic acid; citric acid; lactic acid; grape variety.

Величина кислотности виноградного сусла непостоянна и зависит от многих факторов: сорта, почвенно-климатических условий произрастания и, в значительной степени, от метеорологических условий вегетации виноградного растения, которые особенно сказываются на содержании яблочной кислоты в ягоде [1–5].

Органические кислоты играют важную роль не только в сенсорном восприятии вина, отвечая за формирование его свежести и сбалансированности, но и снижают вероятность появления железного касса и ферросфосфатных помутнений, а также помутнений, обусловленных присутствием тяжелых металлов; влияют на микробиальную стабильность вина; определяют интенсивность протекающих химических и биохимических реакций на всех этапах производства вина [6–10]. В формировании вкуса вин важно учесть тот факт, что при одинаковой концентрации разные кислоты дают разное ощущение кислого вкуса. Так, яблочная кислота дает наиболее кислый вкус, затем следуют винная, лимонная и молочная. Поэтому, при вы-

боре способа кислотопонижения сусла и вин предпочитают метод, снижающий в первую очередь яблочную кислоту. В современной технологии виноделия используют разные способы снижения кислотности, в том числе и биологические, что и обуславливает актуальность исследований, направленные на поиск путей регулирования состава органических кислот путем использования винных штаммов дрожжей, в том числе генномодифицированных [11–14]. Регулируемое формирование комплекса органических кислот вина путем подбора штамма дрожжей к определенному сорту и/или терруару может служить одним из факторов снижения доз диоксида серы, жестких стабилизирующих приемов и средств, что является благоприятным моментом в аспекте производства винопродукции с органическим статусом.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния разных штаммов дрожжей на формирование комплекса органических кислот вина.

Объекты исследований – столовые вина, полученные в условиях микровиноделия из белых сортов винограда Алиготе, Кокур белый и Мускат белый, 2019 года урожая, технология производства которых предусматривала дробление винограда с гребнеотделением, прессованием мезги, сульфитацию сусла из расчета 75 мг/дм³ общего диоксида серы, отстаивание сусла при температуре 16°С, декантацию сусла, внесение чистой культуры дрожжей, брожение сусла, снятие с осадка. В исследовании использовали штаммы дрожжей рода *Saccharomyces* из Коллекции микроорганизмов института «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).

Методы исследований. Массовую концентрацию органических кислот в винах определяли методом ВЭЖХ (хроматограф Shimadzu LC20AD Prominence, Япония). Методика анализа предусматривала предварительную градуировку прибора по растворам стандартов чистых веществ на спектрофотометрическом детекторе с учетом времени выхода каждого из них. Рабочая длина волны при определении содержания индивидуальных компонентов профиля органических кислот составляла 210 нм. Разделение пробы осуществляли на колонке Supelcogel C610H, заполненной сорбентом на основе сульфитированного дивинил-полистирола (размер колонки 300×7,8, зернение сорбента не более 10,0 мкм, Supelco®, Sigma-Aldrich), в изократическом режиме подачи элюента (0,1 % водный раствор ортофосфорной кислоты, скорость 0,5 мл/мин). В работе дополнительно проводилась градуировка рефрактометрического детектора системы по растворам стандартов углеводов, имеющих то же время выхода, что и органические кислоты, с учетом их аналитических характеристик в условиях анализа. Массовую концентрацию органических кислот в пробе рассчитывали математически с учётом данных, полученных на УФ- и рефрактометрических детекторах системы. Массовую концентрацию титруемых кислот в винограде/вине определяли в соответствии с ГОСТ 32114; сахаров – ГОСТ 27198; pH – ГОСТ 26188.

Таблица. Технологические характеристики сортов винограда (средние значения)

Table. Technological characteristics of grape varieties (average values)

Сорт винограда	Место произрастания	Массовая концентрация, г/дм ³		pH
		сахаров	титруемых кислот	
Алиготе	с. Вилино	230	5,7	3,37
Кокур белый	пгт. Гурзуф	175	9,8	3,20
Мускат белый	п. Даниловка	210	8,0	3,36

Результаты и их обсуждение. Как видно из данных, представленных в таблице, массовая концентрация титруемых кислот и значения pH в сусле исследуемых сортов винограда соответствовали рекомендациям научно-технической литературы [15]. Процесс спиртового брожения сопровождается изменениями значений рассматриваемых показателей, что связано не только с физико-химическими процессами, имеющими место при формировании вина, но и с трансформацией комплекса органических кислот, связанной с жизнедеятельностью микроорганизмов.

Анализ проведенных исследований показал, что направление изменения концентрации титруемых кислот (ТК) и значений pH в винах определяется в большей степени значениями показателя в исходном сусле, нежели используемым штаммом дрожжей. Так, в винах, полученных на разных штаммах дрожжей из винограда сорта Алиготе (ТК= 5,7 г/дм³, pH=3,37), прослеживалась тенденция к увеличению массовой концентрации титруемых кислот на 2-21% и значений pH на 3-6 % (рис. 1). Исключение составляли вина, полученные на штамме 47 К, использование которого способствовало снижению концентрации титруемых кислот на 7 % и увеличению на 6 % значений активной кислотности вина. В винах, полученных из винограда с массовой концентрацией титруемых кислот ≥ 8,0 г/дм³, независимо от используемого штамма дрожжей, прослеживалась тенденция к снижению значений показателя на 12-13 % (Кокур белый) и 23-30 % (Мускат белый). При этом значения pH в винах из винограда сорта Мускат белый (pH=3,36) снижались на 1,5-3 %, тогда как в винах из Кокура белого увеличивались на 1,3-2 %.

В аспекте формирования качественных характеристик вина необходимо учитывать не только совокупное влияние органических кислот, но и содержание их отдельных представителей, их соотношение. В процессе спиртового брожения в результате жизнедеятельности дрожжей синтезируется ряд органических кислот, играющих важную роль в формировании качества вина – янтарная, молочная, фумаровая и др. [10, 16–18].

Основной кислотой, определяющей pH сусла и вина, является винная кислота. Поскольку она не метаболизируется дрожжами в процессе их жизнедеятельности [10], изменение ее концентрации в системе «виноград-вино» в большей степени обусловлено интенсивностью ряда физико-химических процес-

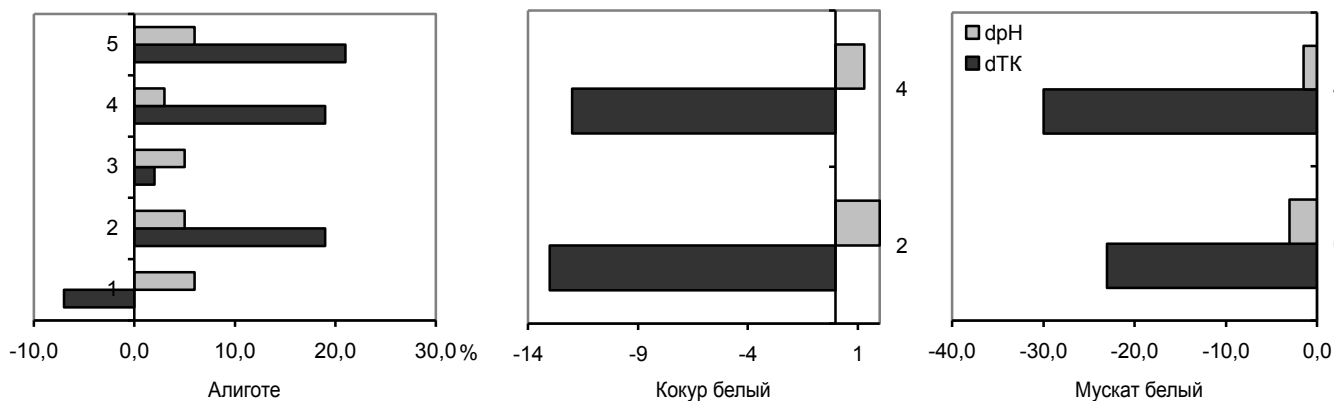


Рис. 1. Изменение (% от значений в сусле) концентрации титруемых кислот и pH в винах из разных сортов винограда, полученных на разных штаммах дрожжей: 1 – 47 К; 2 – Феодосия; 3 – Судак; 4 – Ленинградская; 5 – Мускат венгерский; 6 – Севастопольская 23
Fig. 1. Change (% of the values in the must) of the concentration of titratable acids and pH in wines from different grape varieties obtained with different yeast strains: 1 – ‘47 K’; 2 – ‘Feodosiya’; 3 – ‘Sudak’; 4 – ‘Leningradskaya’; 5 – ‘Muscat Vengerskiy’; 6 – ‘Sevastopol’skaya 23’

сов, в основном, образованием битартрата калия и выпадением его в осадок [19]. В исследуемых винах концентрация винной кислоты варьировала в диапазонах 2,12–3,03 г/дм³ (Алиготе), 3,30–3,50 г/дм³ (Кокур белый) и 2,40–2,41 г/дм³ (Мускат белый). Не подвергается значительным изменениям в ходе брожения и лимонная кислота [10]. Она является промежуточным продуктом цикла трикарбоновых кислот, проходящего в аэробных условиях. Концентрация лимонной кислоты в винах, вероятнее всего, зависит от ее содержания в виноградной ягоде и от интенсивности процесса дыхания дрожжей, в ходе которого она образуется. В винах из винограда сорта Алиготе, полученных на разных штаммах дрожжей, концентрация лимонной кислоты варьировала в широком диапазоне значений – от 0,41 г/дм³ (штамм Судак) до 0,96 г/дм³ (штамм Ленинградская). В винах из винограда сорта Кокур белый концентрация лимонной кислоты в среднем составляла 0,65 г/дм³; Мускат белый – 0,83 г/дм³.

Основным источником яблочной кислоты в вине является виноград. Штаммы вида *Saccharomyces cerevisiae* в процессе брожения способны использовать от 3 до 45% яблочной кислоты, содержащейся в винограде, что обусловлено генетически и зависит от ряда факторов – состава сырья, температуры брожения и т.д. [10, 18]. Выявлено, что высокая доля яблочной кислоты в комплексе идентифицированных органических кислот, в среднем 33%, характерна для вин, полученных из винограда сорта Алиготе на штамме Мускат венгерский (рис. 2). Это в 1,2-1,6 раза выше, чем в винах, полученных на других штаммах. Отмеченное в данном случае снижение массовой концентрации титруемых кислот (в сравнении с сусликом) на 21% и увеличение активной кислотности на 6% скорее всего обусловлено

низкой долей винной кислоты (в среднем 35%). Концентрация яблочной кислоты в винах из сорта Мускат белый, полученных на штамме Севастопольская 23, в среднем составляла 1,79 г/дм³, что в 6 раз выше, чем в винах, полученных на штамме Ленинградская. В винах из Кокура белого штамм дрожжей не оказал значительного влияния на концентрацию яблочной кислоты, которая составляла 2,7–3,0 г/дм³.

Янтарная кислота не оказывает существенного влияния на титруемую кислотность и pH вина, однако, она и ее соли проявляют антиоксидантные свойства, обеспечивая снижение интенсивности окислительных процессов, окислительно-восстановительного потенциала вин; обеспечивают сохранность витаминов соков и вин, что обусловлено их способностью к комплексообразованию с фенольными фрагментами молекул витаминов [20]. Концентрация янтарной кислоты в винограде зависит от места его произрастания, а в вине – от способа переработки винограда, применения вспомогательных материалов, азотистой подкормки, дозы вносимого диоксида серы, штамма дрожжей [10, 20–22]. Янтарная кислота составляет около 90 % нелетучих кислот, синтезируемых дрож-

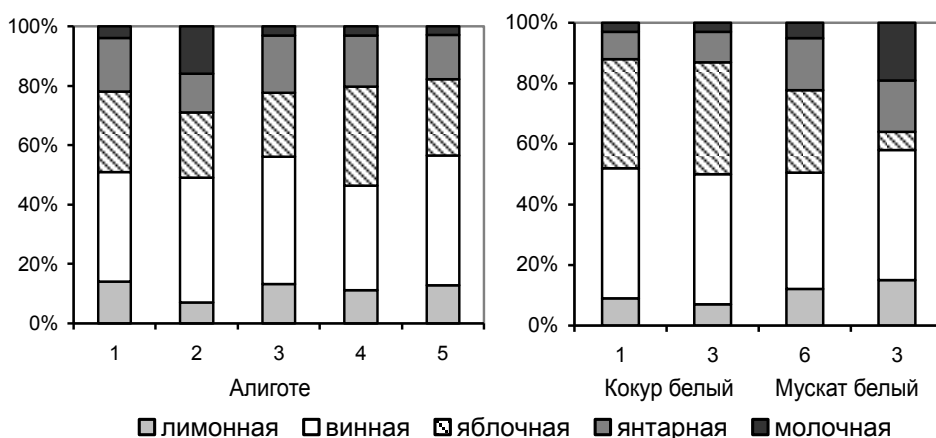


Рис. 2. Состав (%) основных органических кислот вин из разных сортов винограда, полученных на разных штаммах дрожжей: 1 – Феодосия; 2 – Судак; 3 – Ленинградская; 4 – Мускат венгерский; 5 – 47 К; 6 – Севастопольская 23
Fig. 2. Composition (%) of the basic organic acids of wines from different grape varieties obtained with different yeast strains: 1 – ‘Feodosiya’; 2 – ‘Sudak’; 3 – ‘Leningradskaya’; 4 – ‘Muscat Vengerskiy’; 5 – ‘47 K’; 6 – ‘Sevastopol’skaya 23’

жами во время брожения [10]. Большая ее часть образуется на ранних стадиях брожения, когда концентрация этанола составляет 4-5% об. Она является промежуточным звеном, по меньшей мере, четырех метаболических путей в дрожжах, основным из которых является цикл трикарбоновых кислот, а остальные пути представляют его модификацию (аминобутиратный шунт, глиоксилатный шунт и др.) [23]. Как видно из данных, представленных на рис. 2, наибольшей концентрацией янтарной кислоты – 1,38 и 1,18 г/дм³ – отличались вина из винограда сорта Алиготе, полученные на штаммах Ленинградская и Мускат венгерский соответственно, наименьшей – 0,83 г/дм³ – на штамме Судак. В остальных партиях вин концентрация данной кислоты составляла 1,01–1,03 г/дм³.

Значительные количества молочной кислоты синтезируются в процессе яблочно-молочного брожения. Однако, как показывают исследования ряда авторов, дрожжи вида *Saccharomyces cerevisiae* в процессе жизнедеятельности могут синтезировать незначительные количества молочной кислоты как побочный продукт процесса катаболизма глюкозы [24–26]. В ходе настоящих исследований было отмечено, что наибольшая концентрация молочной кислоты (в среднем 1,01 г/дм³) была характерна для вин, полученных из винограда сорта Алиготе с использованием штамма Судак, тогда как при использовании других штаммов значения рассматриваемого показателя составляли 0,20–0,25 г/дм³. В винах из винограда сорта Кокур белый, полученных с использованием штамма Ленинградская, концентрация молочной кислоты была в среднем в 1,5 раза выше, чем при использовании штамма Феодосия. Аналогичные результаты получены при использовании штамма Ленинградская на сорте Мускат белый – концентрация молочной кислоты составляла 1,06 г/дм³, что в 3 раза выше, чем в вине, полученном на штамме Севастопольская 23.

Метаболизм дрожжей во многом определяется условиями, в которых находятся микроорганизмы, в частности, составом исходного сырья – концентрацией сахаров, витаминов, липидов, аминокислотным составом и др. [10, 20-22]. Проведенные исследования показали, что использование разных сортов винограда для производства вин на одном штамме дрожжей влияет на соотношение органических кислот в комплексе. Так, соотношение кислот – винная / яблочная / янтарная / лимонная / молочная в винах из винограда сорта Кокур белый с использованием штаммов Феодосия и Ленинградская имело вид: 14/12/3/3/1 (штамм Феодосия) и 14/12/3/2/1 (штамм Ленинградская); сорта Алиготе – 9/7/5/4/1 (штамм Феодосия) и 14/7/6/4/1 (штамм Ленинградская). Доля яблочной и янтарной кислот в комплексе нелетучих карбоновых кислот вин из винограда сорта Кокур белый и Алиготе, полученных на штамме Феодосия, составляла соответственно 27-36 % и 9-18%. В винах, полученных из разных сортов винограда с использованием штамма Ленинградская, доля яблочной кислоты варьировала в широком диапазоне от 6 до 37%, янтарной – от 10 до 19 %. В целом представленные данные свидетельствуют о преобладающем значении винограда в фор-

мировании комплекса органических кислот вина, что подтверждено результатами статистической обработки. Ошибка дискриминации образцов вин из разных сортов винограда по содержанию органических кислот составляла в условиях опыта 11%, полученных на разных штаммах дрожжей – 22%. Данный факт объясняется тем, что метаболизм органических кислот дрожжами во многом определяется присутствием целого ряда компонентов (сахаров, витаминов, липидов, аминокислот и т.д.), состав и концентрация которых определяется сортом винограда [10, 20-22].

Выводы. Несмотря на преобладающую роль винограда в формировании комплекса органических кислот, титруемой и активной кислотности вина, значительное влияние на содержание яблочной, янтарной, молочной и лимонной кислот оказывает штамм дрожжей. Высокая доля яблочной кислоты (33%) в комплексе органических кислот вин из винограда сорта Алиготе на штамме Мускат венгерский свидетельствует о низкой способности данного штамма метаболизировать яблочную кислоту, что позволяет рассматривать его как перспективный при переработке винограда с невысокой титруемой кислотностью. Комплекс кислот вин из сорта Алиготе, полученных на штамме Судак, отличался высокой долей молочной кислоты 16% (в 5 раз выше, чем в винах, полученных на других штаммах) и наименьшей долей янтарной кислоты 13%, что в 1,3 раза ниже, чем в других винах. Учитывая благоприятное влияние молочной кислоты на вкус вина, данный штамм может быть перспективным в аспекте смягчения вкуса вин. Использование штаммов Ленинградская и Мускат венгерский способствовало формированию комплекса кислот с высокой концентрацией янтарной кислоты – 1,38 и 1,18 г/дм³ соответственно.

Полученные результаты послужат базисом в исследованиях, направленных на поиск путей регулирования состава органических кислот путем использования разных штаммов дрожжей. Исследования в данном направлении будут продолжены.

Источник финансирования

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

Financing source

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

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

1. Conde B.C, Silva P., Fontes N., Dias A.C.P., Tavares R.M., Sousa M.J., Agasse A., Delrot S. and Geros H. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. 2007. Food 1, pp. 1-22.
2. Duchène, E.: How can grapevine genetics contribute to the adaptation to climate change? 2016. Oeno One 50, No. 3.
3. Poni S., Gatti M., Palliotti, A., Dai Z., Duchène E., Truong T. T., Ferrara G., Matarrese A. M. S., Gallotta A., Bellincontro A., Mencarelli F., Tombesi S. Grapevine quality: A multiple choice issue. 2018. Sci. Hortic. 234, pp. 445-462.

4. 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. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-2-56-122-132>.
Ostroukhova E.V., Peskova I.V., Pogorelov D.Yu. The organic acid profile of white grape varieties growing in Crimea. Fruit-Growing and Viticulture of South of Russia. 2019. No. 56 (02). pp. 122-132 (*in Russian*).
5. Остроухова Е.В., Пескова И.В., Пробейголова П.А., Луткова Н.Ю. Разработка системы показателей качества и технологических свойств в цепочке «виноград - сусло - виноматериал - вино», дифференцирующей вина Крыма по географическому происхождению // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2019; 21(3). С. 250 -255. DOI 10.35547/IM.2019.21.3.
Ostroukhova E.V., Peskova I.V., Probeigolova P.A., Lutkova N.Yu. Development of a system of indicators of quality and technological properties in the chain “grapes-must-wine material-wine” that differentiate Crimean wines by geographical origin. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2019. 21(3). pp. 250-255 (*in Russian*).
6. Danilewicz J. C. Role of tartaric and malic acids in wine oxidation. 2014. J. Agric. Food Chem. 62. pp. 5149-5155.
7. Guguchkina T. I., Chemisova L. E., Troshin L. P. The role of organic acids in the formation of the organoleptic properties of the wine grape variety white Sauvignon protoclones. State Scientific Institution. Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking. 2012. No. 5. pp. 1-6.
8. Flamys Lena do Nascimento Silva, Eduardo Morgado Schmidt, Cláudio Luiz Messias, Marcos Nogueira Eberlin and Alexandra Christine Helena Frankland Sawaya. Quantitation of organic acids in wine and grapes by direct infusion electrospray ionization mass spectrometry. Analytical Methods Issue 1, 2015. pp. 53-62: DOI: 10.1039 / C4AY00114A.
9. Kučerová J. and Šíroky J. Study of changes organic acids in red wines during malolactic fermentation. 2014. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun. 59(5). pp. 145-150.
10. B.S. Chidi, F.F. Bauer and D. Rossouw. Organic Acid Metabolism and the Impact of Fermentation Practices on Wine Acidity: A Review. S. Afr. J. Enol. Vitic., Vol. 39, No. 2. 2018. 16 p. : DOI: 10.21548/39-2-3164.
11. Vilela A. Use of nonconventional yeasts for modulating wine acidity. 2019. Fermentation, 5, 27. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010027>.
12. Benito A., Calderón F., Palomero F., Benito S. Combined use of selected Schizosaccharomyces pombe and Lachancea thermotolerans yeast strains as an alternative to the traditional malolactic fermentation in red wine production. 2015. Molecules, 20. pp. 9510-9523. <https://doi.org/10.3390/molecules20069510>.
13. del Mónaco S., Barda N., Rubio N., Caballero A. Selection and characterization of a Patagonian Pichia kudriavzevii for wine deacidification. 2014. J. Appl. Microbiol. 117. pp. 451-464. <https://doi.org/10.1111/jam.12547>.
14. Vilela-Moura A., Schuller D., Mendes-Faia A., Côte-Real M. Reduction of volatile acidity of wines by selected yeast strains. 2008. Appl. Microbiol. Biotechnol., 80. pp. 881-890. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1616-x>
15. Валуйко Г.Г. Технология виноградных вин. Симферополь: Таврида, 2001. 624 с.
Valuiko G.G. Technology of grape wines. Simferopol: Tavrida. 2001. 624 p. (*in Russian*).
16. Yabaya A., Bobai M. and Adebayo L.R. Production of wine from fermentation of Vitis vinifera (grape) juice using Saccharomyces cerevisiae strain isolated from palm wine. 2016. Int. J. Inf. Res. Rev. 3(10). pp. 2834-2840.
17. B.S. Chidi, D. Rossouw, A.S. Buica, F.F. Bauer. Determining the Impact of Industrial Wine Yeast Strains on Organic Acid Production Under White and Red Wine-like Fermentation Conditions. S. Afr. J. Enol. Vitic.. Vol. 36, No. 3. 2015. pp. 316-327.
18. Rintze M. Zelle, Erik de Hulster, Wouter A. van Winden, Pieter de Waard, Cor Dijkema, Aaron A. Winkler, Jan-Maarten A. Geertman, Johannes P. van Dijken, Jack T. Pronk and Antonius J. A. van Maris. Malic Acid Production by Saccharomyces cerevisiae: Engineering of Pyruvate Carboxylation, Oxaloacetate Reduction, and Malate Export. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Vol. 74. No. 9. 2008. pp. 2766-2777: doi:10.1128/AEM.02591-07
19. 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.
Gnilomedova N.V., Anikina N.S., Chervyak S.N. Wine destabilization. Potassium salts crystal formation. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2019; 21(3). pp. 261-266 (*in Russian*).
20. Дымшевский В. В. Совершенствование технологии соков и столовых вин с применением янтарной кислоты и ее солей: дис. канд. техн. наук: 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов (по отраслям). Краснодар, 1999, 188 с.
Dymshevskiy V.V. Improving the technology of juices and table wines using succinic acid and its salts: dis. Cand. Techn. Sci.: 05.18.07. Bio-technology of food products (by branches). Krasnodar. 1999. 188 p. (*in Russian*).
21. Mojmir Baroň, Jaromir Fiala. Chasing after Minerality, Relationship to Yeast Nutritional Stress and Succinic Acid Production. Czech J. Food Sci. Vol. 30. 2012. No. 2. pp. 188-193.
22. Kamzolova S.V., Yusupova A.I., Dedyukhina E.G., Chistyakova T.I., Kozyreva T.M., Morgunov I.G. Succinic acid synthesis by ethanol-grown yeast. 2009. Food technology and Biotechnology, 47. pp. 144-152.
23. Popov E.A., Moskalev E.A., Shevchenko M.U. and Eprintsev A.T. Comparative analysis of glyoxylate Cycle Key Enzyme Isocitrate lyase from organisms of different systematic groups. 2005. J. Evol. Biochem. Phys. 41. pp. 631-639.
24. Martins A.M., Cordeiro C.A., Ponces Freire A.M. In situ analysis of methylglyoxal metabolism in Saccharomyces cerevisiae. FEBS Lett. 2001. 499. pp. 41-44.
25. Martins A.M., Mendes P., Cordeiro C., Freire A.P. In situ kinetic analysis of glyoxalase I and glyoxalase II in Saccharomyces cerevisiae. Eur J Biochem. 2001. 268. pp. 3930-3936.
26. Benjamin J. Stewart, Ali Navid, Kristen S. Kulp, Jennifer L. S. Knaack, and Graham Bench D. Lactate Production as a Function of Glucose Metabolism in Saccharomyces cerevisiae. Yeast. 2013 February. 30(2). pp. 81-91. doi:10.1002/yea.2942.