

УДК 663.125
DOI 10.34919/IM.2024.67.96.012

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Синтез органических кислот *Lachancea thermotolerans* при брожении виноградной мезги

Пескова И.В.[✉], Остроухова Е.В., Сулейманова М.И.

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

[✉]bioxim2012@mail.ru

Аннотация. Изменение климата приводит к нарушению углеводно-кислотного баланса в винограде, достигшем технической зрелости, что нередко проявляется в низком содержании кислот и сказывается на качестве получаемых вин. Биологическое кислотоповышение с использованием дрожжей *Lachancea thermotolerans*, обладающих способностью синтезировать молочную кислоту из сахаров, является актуальным подходом к решению проблемы. Лактатобразующая способность *L. thermotolerans* закреплена генетически, но степень ее проявления зависит от штамма, состава среды, условий проведения брожения и т.д. Цель работы – изучение биосинтетической способности *L. thermotolerans* в отношении органических кислот в зависимости от сорта винограда, места его произрастания, года урожая. Использовали культуры *L. thermotolerans* из рабочей коллекции ВНИИВиВ «Магарач», виноград красных сортов, полученный в 2020-2023 гг. на виноградниках Крыма; брожение мезги осуществляли до момента перехода клеток *L. thermotolerans* в угнетенное состояние (6-8 % об. спирта). Органические кислоты определяли методом ВЭЖХ. Выявлено, что на синтез молочной кислоты культурами *L. thermotolerans* наибольшее влияние оказывал сорт винограда: в сброженном сусле Каберне Совиньон количество образованной молочной кислоты составляло 2,0-8,1 г/дм³; в сброженном сусле Кефесия и Эким кара не превышало 3,0 г/дм³. На синтез янтарной кислоты влияло место произрастания винограда и год урожая: наибольшее ее содержание наблюдалось в сброженном сусле винограда из с. Солнечная долина и с. Вилино (0,1-1,9 г/дм³); наименьшее – в сброженном сусле урожая 2022 г. (в 11-15 раз ниже, чем в другие годы). Значимых различий исследуемых штаммов *L. thermotolerans* по их способности к синтезу кислот не выявлено. Увеличение содержания титруемых кислот в сброженном сусле винограда сорта Каберне Совиньон составляло в зависимости от места его произрастания и года урожая от 2,4 до 6,9 г/дм³, сортов Эким кара и Кефесия – в среднем в 2 раза меньше. Полученные результаты показывают перспективность дальнейших исследований культур *L. thermotolerans* в контексте актуализации технологий вин в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: *Lachancea thermotolerans*; янтарная кислота; молочная кислота; штамм; год урожая; сорт винограда; место произрастания.

Для цитирования: Пескова И.В., Остроухова Е.В., Сулейманова М.И. Синтез органических кислот *Lachancea thermotolerans* при брожении виноградной мезги // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2024;26(1):74-80. DOI 10.34919/IM.2024.67.96.012

ORIGINAL RESEARCH

Synthesis of organic acids using *Lachancea thermotolerans* during fermentation of grape must

Peskova I.V.[✉], Ostroukhova E.V., Suleimanova M. I.

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of the RAS, Yalta, Republic of Crimea, Russian Federation

[✉]bioxim2012@mail.ru

Abstract. Climate change leads to a carbohydrate-acid dis-balance in grapes, reached their technical ripeness, which is often manifested in low acid content, and affects the quality of wines. Biological acid enhancement using the yeast *Lachancea thermotolerans*, which has the ability to synthesize lactic acid from sugars, is a relevant approach to solving the problem. The lactate-forming ability of *L. thermotolerans* is genetically established, but the degree of its manifestation depends on the strain, medium composition, fermentation conditions, etc. The purpose of the work is to study the biosynthetic ability of *L. thermotolerans* in relation to organic acids depending on grape variety, place of growth and crop year. We used cultures of *L. thermotolerans* from the working collection of the FSBSI Institute Magarach, red grape varieties yielded in 2020-2023 in the vineyards of Crimea. Fermentation of the must was carried out until the *L. thermotolerans* cells entered a depressed mode (6-8% vol. alcohol). Organic acids were determined by HPLC. It was revealed that the synthesis of lactic acid by *L. thermotolerans* cultures was influenced the most by the variety: in the fermented 'Cabernet Sauvignon' must the amount of lactic acid received was 2.0-8.1 g/dm³; in the fermented must of 'Kefesiya' and 'Ekim Kara' it did not exceed 3.0 g/dm³. The synthesis of succinic acid was influenced by the place of growth and crop year: its highest content was observed in the fermented must of grapes from Solnechnaya Dolina and Vilino villages (0.1-1.9 g/dm³); the lowest - in the fermented must of 2022 crop year (11-15 times lower than in other years). No significant differences in the studied *L. thermotolerans* strains in their ability to synthesize acids were revealed. The increase in the content of titratable acids in the fermented must of the 'Cabernet Sauvignon' grape variety ranged from 2.4 to 6.9 g/dm³, depending on the place of growth and crop year; for the varieties 'Ekim Kara' and 'Kefesiya' it was on average 2 times less. The results obtained are promising for further research on *L. thermotolerans* cultures in the context of updating wine technologies in a changing climate conditions.

Key words: *Lachancea thermotolerans*; succinic acid; lactic acid; strain; crop year; grape variety; place of growth.

For citation: Peskova I.V., Ostroukhova E.V., Suleimanova M.I. Synthesis of organic acids using *Lachancea thermotolerans* during fermentation of grape must. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2024;26(1):74-80. DOI 10.34919/IM.2024.67.96.012 (in Russian).

Введение

Стремление повышать качество и тем самым обеспечивать конкурентоспособность отечественной ви-

нопродукции с уникальными, узнаваемыми потребителем характеристиками, приводит к необходимости совершенствования технологии ее производства. Немаловажную роль в достижении данной задачи играют микроорганизмы. Правильный выбор биотехнологических решений позволяет получать вина с более

богатым ароматом, вкусом и цветом; способствовать микробальной устойчивости вина на разных этапах его производства; повышать безопасность и снижать себестоимость винопродукции за счет снижения доз используемых вспомогательных материалов [1-9].

Проблемой современного виноделия является связанное с изменениями климата стремительное снижение концентрации титруемых кислот, что приводит к нарушению углеводно-кислотного баланса в винограде, достигшем технической зрелости. На смену традиционно используемым при производстве вина химическим способам повышения кислотности приходят биологические приемы, основанные на особенностях некоторых микроорганизмов синтезировать в процессе своей жизнедеятельности органические кислоты. Способностью изменять кислотность вина обладают многие виды дрожжей – *Schizosaccharomyces pombe*; *Issatchenkia orientalis* (*Pichia kudriavzevii*); *T. delbrueckii*; *Z. florentinus*, *Starmerella bacillaris* [1-4; 6-9]. Однако большинство штаммов микроорганизмов приводят к снижению концентрации титруемых кислот. Особый интерес в сложившейся ситуации вызывают дрожжи, способные повысить кислотность вина, при этом не оказывая негативного влияния на его органолептические характеристики. Хотя исследования в данном направлении в последнее время активизировались, дрожжей, обладающих такими свойствами, не так много. Наиболее популярными в данном контексте являются дрожжи *L. thermotolerans*, которые часть сбраживаемых сахаров трансформируют в молочную кислоту, тем самым снижая содержание этанола и повышая кислотность вина [10-12]. Интересной способностью этих дрожжей является возможность использования в качестве источника углерода уксусную кислоту, что показывает их перспективность в аспекте снижения концентрации уксусной кислоты в винах с высокой летучей кислотностью [13]. Кроме *L. thermotolerans*, повышать кислотность вина способны дрожжи *Candida zemplinina* (*Starmerella bacillaris*) и *Candida stellata* (за счет синтеза пировиноградной и/или янтарной кислоты) [14, 15].

В связи с растущим интересом к дрожжам *L. thermotolerans* многие работы посвящены изучению факторов, влияющих на их способность синтезировать молочную кислоту [16-18]. Несмотря на то, что лактатобразующая способность дрожжей *L. thermotolerans* закреплена генетически, степень ее проявления варьирует в зависимости от штамма [19]. Причиной этого, по мнению Gatto et al. [20], Sgouros et al. [21], может являться наличие трех изоферментов лактатдегидрогеназы (*LDH*), участвующих в синтезе молочной кислоты, один из которых (*LDH2*) имеет повышенный уровень транскрипции у штаммов с высокой лактатобразующей способностью. Физиологическая роль *LDH2* на настоящий момент неясна. Кроме этого, потенциальными факторами, влияющими на способность *L. thermotolerans* синтезировать молочную кислоту, могут быть условия культивирования/брожения. Shekhawat et al. [22] выдвинули гипотезу о том, что в анаэробных условиях

повышение уровня транскрипции *LDH* может привести к более высокому производству молочной кислоты. Исследования по изучению биосинтетической способности разных штаммов *L. thermotolerans*, проводимые Battjes et al. [23], показали, что снижение доступности кислорода сопровождалось увеличением образования этанола у всех исследуемых штаммов, но интенсификация синтеза молочной кислоты была отмечена только для штамма, характеризующегося высокой лактатобразующей способностью. Для этих же штаммов была установлена связь количества синтезируемой молочной кислоты и концентрации азота в среде. Таким образом, несмотря на популярность исследований в данном направлении, знания о влиянии штамма и состава среды на метаболизм молочной кислоты *L. thermotolerans* в настоящий момент остаются ограниченными. В связи с этим разработка технологии производства сухих вин с использованием штамма *L. thermotolerans* требует проведения исследований по влиянию состава используемого сырья на биосинтетическую способность штаммов.

Цель исследования – изучение биосинтетической способности двух штаммов *L. thermotolerans* в отношении органических кислот в зависимости от сорта винограда, места его произрастания и года урожая.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись культуры дрожжей *Lachancea thermotolerans* 84 и 86 из рабочей коллекции микроорганизмов лаборатории микробиологии ФГБУН «ВНИИВиВ «Магарач» РАН» [24].

Биосинтетическую способность штаммов дрожжей оценивали по содержанию органических и титруемых кислот в исходном (C_0) и сброженном (C_6) сусле.

Использовали виноград сорта Каберне Совиньон, произрастающий в Крыму в с. Вилино (крымский западно-приморский предгорный район) и с. Морское, с. Приветное (горно-долинно-приморский район); сортов Эким кара и Кефесия из с. Морское и с. Солнечная долина (горно-долинно-приморский район). Содержание сахаров в винограде составляло 194-266 г/дм³, титруемых кислот – 2,9-5,5 г/дм³. Виноград дробили, полученную мезгу сульфитировали из расчета 75±2 мг общего SO₂/дм³, после чего в мезгу вносили разводку *L. thermotolerans* в количестве 3 % от массы мезги.

Брожение мезги осуществляли при плавающей шапке с перемешиванием 3-4 раза в сутки, при температуре 20±2°C. Контроль брожения осуществляли по накоплению спирта и микробиологическими методами. При наступлении угнетенного состояния клеток *L. thermotolerans* (накопление спирта составляло 6-8 % об.) сброженное сусло отбирали для анализа.

Массовую концентрацию органических кислот в сусле определяли методом ВЭЖХ с использованием гель-эксклюзионного разделения на колонке Supelcogel 610H в системе 0,01 N хлорной кислоты, методами спектрофотометрии (210 нм) и рефрактометрии на хроматографе Shimadzu LC20AD Prominence (Япония).

Массовую концентрацию титруемых кислот в сусле определяли прямым титрованием пробы раствором щелочи до нейтральной реакции рН потенциометрическим методом.

Образцы сброженного сусла готовили в двух-трех повторностях: общее количество образцов составляло 37. Все химические анализы проводили в трех повторностях. Статистическую обработку осуществляли с использованием программы SPSS Statistics 17.0.

Результаты и обсуждение

Сопоставление ранее полученных [12] и новых экспериментальных данных показали, что способ-

ность дрожжей *L. thermotolerans* увеличивать титруемую кислотность (ТК) сусла в ходе брожения значительно варьировала в зависимости от сорта винограда, места его произрастания и года урожая (рис. 1). Отмечено, что при использовании крымских аборигенных сортов винограда, отличающихся невысоким содержанием титруемых кислот, дрожжи *L. thermotolerans* увеличивали содержание титруемых кислот на 1,1-5,1 г/дм³ (Эким кара) и 0,7-2,9 г/дм³ (Кефесия), что в среднем в 1,4-2,5 раза ниже, чем в случае сорта Каберне Совиньон, где увеличение показателя составляло 2,4-6,9 г/дм³. Значительное влияние на

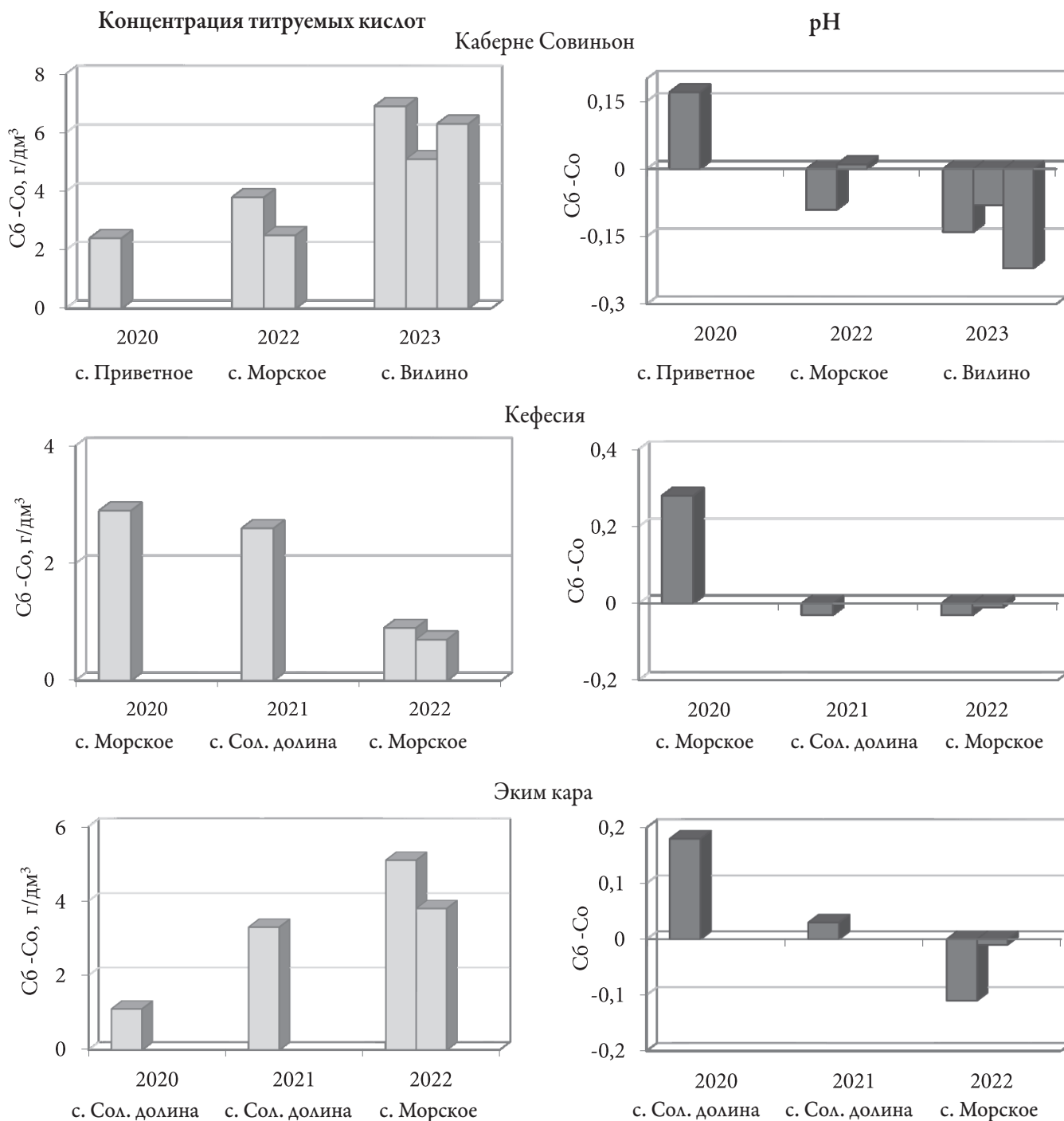


Рис. 1. Изменение концентрации титруемых кислот и рН в сусле в ходе брожения с использованием *L. thermotolerans* в зависимости от года урожая и сорта винограда

Fig. 1. Changes in the concentration of titratable acids and pH in the must during fermentation using *L. thermotolerans* depending on the crop year and grape variety

способность исследуемых штаммов изменять содержание титруемых кислот в сусле в ходе брожения мезги оказывали условия года урожая, обуславливающие формирование химического состава винограда. Об этом свидетельствует сравнение концентрации титруемых кислот в сброженном сусле из винограда аборигенных сортов, полученном с одного участка, но в разные годы. Увеличение содержания титруемых кислот в сброженном сусле из сорта Кефесия 2020 года урожая составляло 2,9 г/дм³, что в среднем в 3,6 раза выше, чем в сброженном сусле из винограда 2022 года урожая. В случае сорта Эким кара, произрастающего в с. Солнечная долина, отмечено, что условия 2021 года в сравнении с 2020 годом способствовали большему (в 3 раза) увеличению концентрации титруемых кислот при брожении.

Как видно из данных, представленных на рис.1, увеличение титруемой кислотности в сусле в ходе брожения не всегда сопровождалось снижением показателя рН. Наибольшее снижение рН наблюдалось в случае винограда сорта Каберне Совиньон урожая 2023 года и составляло 0,1-0,2 ед. В сброженном сусле, полученном из винограда 2020 года урожая, независимо от сорта и места произрастания, увеличение концентрации титруемых кислот на 1,1-2,9 г/дм³ сопровождалось увеличением значений рН на 0,17-0,28 ед.

Основными кислотами виноградного сусла являются винная и яблочная кислота. Доля винной и яблочной кислот в комплексе ТК исходного сусла составляла от 87 до 95 %, что соответствовало содержанию винной кислоты 2,3-5,0 г/дм³, яблочной – 0,1-2,5 г/дм³. Винная кислота не вовлекается в метаболизм дрожжей, изменение ее концентрации на разных этапах производства связано с физико-химическими процессами. Яблочная кислота играет ключевую роль в метаболизме дрожжами соединений С₃ и С₄ в различных субклеточных компартментах дрожжевой клетки. В зависимости от потребностей клеток яблочная кислота может быть окислена, дегидратирована или декарбоксилирована [25]. Количество используемой дрожжами в процессе своей жизнедеятельности яблочной кислоты во многом зависит от рода/вида/штамма дрожжей. *L. thermotolerans* не отличается высокой способностью поглощать и синтезировать яблочную кислоту. На момент отбора проб для анализа доля винной и яблочной кислот составляла от 20 до 79 %, что соответствовало содержанию винной кислоты 1,2-3,7 г/дм³, яблочной – 1,1-4,4 г/дм³ (таб.). Статистически значимой разницы в концентрации кислот в сусле, сброженном на разных штаммах *L. thermotolerans*, не выявлено. На данном этапе исследований также не выявлено взаимосвязи между изменением содержания винной и яблочной кислот и величиной рН в сусле в ходе брожения, что требует дальнейшего изучения.

Лимонная кислота – слабая кислота, концентрация которой в вине обычно колеблется в диапазоне от 0,1 до 0,7 г/дм³ [15]. Физиологическая роль лимонной кислоты заключается в ее участии в цикле трикарбонных кислот. В изученных литературных источниках

Таблица. Диапазоны варьирования и средние значения концентрации органических кислот, синтезируемые разными штаммами *L. thermotolerans*

Table. Ranges of variation and average concentration values of organic acids synthesized by different strains of *L. thermotolerans*

| Массовая концентрация кислот, г/дм ³ | Штамм дрожжей | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | <i>L. thermotolerans</i> 84 | <i>L. thermotolerans</i> 86 |
| лимонной | <u>0,18-0,72</u> 0,48 | <u>0,08-0,66</u> 0,29 |
| винной | <u>1,18-2,20</u> 1,57 | <u>1,34-3,65</u> 2,09 |
| яблочной | <u>1,59-4,37</u> 2,63 | <u>1,07-3,96</u> 2,38 |
| янтарной | <u>0,05-1,26</u> 0,38 | <u>0,09-2,01</u> 1,18 |
| молочной | <u>0,69-8,71</u> 3,18 | <u>0,24-9,33</u> 3,07 |
| уксусной | <u>0,07-0,52</u> 0,28 | <u>0,00-0,59</u> 0,15 |

сведений о влиянии дрожжей *Lachancea* на концентрацию лимонной кислоты в сусле/вине не обнаружено. В настоящих исследованиях выявлено, что концентрация лимонной кислоты в сусле, сброженном на штамме *L. thermotolerans* 84, была в 1,7 раза выше, чем в сусле, сброженном на штамме *L. thermotolerans* 86, и составляла в среднем 0,48 г/дм³ (таб.).

Янтарная кислота – одна из важных органических кислот, как для самих микроорганизмов (является промежуточным продуктом, связывающим цикл трикарбонных кислот и глиоксилатный шунт), так и для качества вина. Она способствует микробиальной устойчивости; улучшает органолептические свойства вина за счет увеличения содержания эфиров, таких как метилсукцинат, этилсукцинат и диэтилсукцинат, обладающих фруктовым ароматом [26, 27] и т.д. Янтарная кислота может действовать как ингибитор яблочно-молочного брожения при концентрации выше 1 г/дм³ (преимущественно подавляет жизнедеятельность штаммов *Oenococcus oeni*). Статистическая обработка данных не выявила значимых отличий сброженного сусла, полученного с использованием дрожжей *L. thermotolerans*, по содержанию янтарной кислоты в зависимости от сорта винограда. Её концентрация в сброженном сусле Каберне Совиньон составляла 0,05-1,35 г/дм³; Эким кара – 0,09-1,91 г/дм³, Кефесия – и 0,11-1,64 г/дм³. Вместе с тем, способность штамма *L. thermotolerans* 86 синтезировать янтарную кислоту значительно варьировала в зависимости от места произрастания винограда и года урожая (рис. 2). Наибольшее содержание янтарной кислоты отмечено в сброженном сусле из винограда, произрастающего в с. Солнечная долина (1,48-1,91 г/дм³) и с. Вилино (0,12-1,35 г/дм³). В случае винограда из с. Морское концентрация янтарной кислоты в сусле на момент отбора проб варьировала в диапазоне 0,05-2,01 г/дм³, что в среднем в 4,5 раза ниже, чем в сброженном сусле из винограда других мест произрастания. Независимо от сорта винограда сброженное сусло, полу-

ченное из урожая 2022 г., отличалось наименьшим содержанием янтарной кислоты – 0,05-0,19 г/дм³, что в среднем в 11-15 раза ниже, чем в другие годы. Отмечено, что концентрация янтарной кислоты в сусле, сброженном на штамме *L. thermotolerans* 84, была в 3,1 раза меньше, чем в сусле, сброженном на штамме *L. thermotolerans* 86 (табл.).

Способность дрожжей *L. thermotolerans* синтезировать молочную кислоту обусловлена генетически и зависит от штамма микроорганизмов. Степень проявления этой способности штамма зависит от ряда факторов: количества присутствующего в среде кислорода, количества и состава аминокислотного комплекса виноградного сусла и т.д. [16-18]. Содержание молочной кислоты в исходном сусле составляло 0,0-0,45 г/дм³, в ходе брожения к моменту отбора проб ее концентрация достигала 0,24-9,33 г/дм³. В настоящих исследованиях не выявлено значимой разницы по синтезу молочной кислоты разными штаммами *L. thermotolerans*, в том числе с учетом варьирования: при использовании *L. thermotolerans* 84 содержание молочной кислоты в сброженном сусле составляло в среднем 3,18 г/дм³, *L. thermotolerans* 86 – 3,07 г/дм³. Способность штамма *L. thermotolerans* 86 к синтезу молочной кислоты наиболее проявилась при использовании сорта Каберне Совиньон – в зависимости от места произрастания винограда концентрация лактата в сброженном сусле в среднем составляла 2,0-8,1 г/дм³. В случае винограда сортов Кефесия и Эким кара концентрация образованной *L. thermotolerans* 86 молочной кислоты в среднем не превышала 3,0 г/дм³. Влияние сорта хорошо прослеживается на примере исследуемых аборигенных сортов и сорта Каберне Совиньон одного года урожая (2022 г.), произрастающих в одинаковых почвенно-климатических условиях в с. Морское: в среднем увеличение содержания лактата за счет использования дрожжей *L. thermotolerans* 86 в виноматериалах из сорта Эким кара составляло 0,67; Кефесия – 3,0 и Каберне Совиньон – 2,0 г/дм³. Не менее важным фактором являются условия года урожая. В случае сорта Эким кара наибольшее количество молочной кислоты было зафиксировано в виноматериалах из винограда 2021 года урожая – 1,6 г/дм³, что в 2,6 раза выше, чем в виноматериалах из винограда 2020 и 2022 года урожая. В случае сорта Кефесия наибольшая концентрация молочной кислоты отмечалась в виноматериалах 2022 года урожая из с. Морское – в среднем 3 г/дм³. Отметим, что в виноматериалах 2020 года урожая, выработанных из винограда, произрастающего в тех же условиях и с использованием штамма *L. thermotolerans* 86, были идентифицированы следовые количества молочной кислоты – не более 0,12 г/дм³. Полученные результаты могут быть объяснены с позиции взаимосвязи способности дрожжей *L. thermotolerans* синтезировать молочную кислоту и концентрацией азота в среде [23], а количество образующихся в винограде аминокислот зависит от условий его произрастания [28-32].

Статистическая обработка результатов исследова-

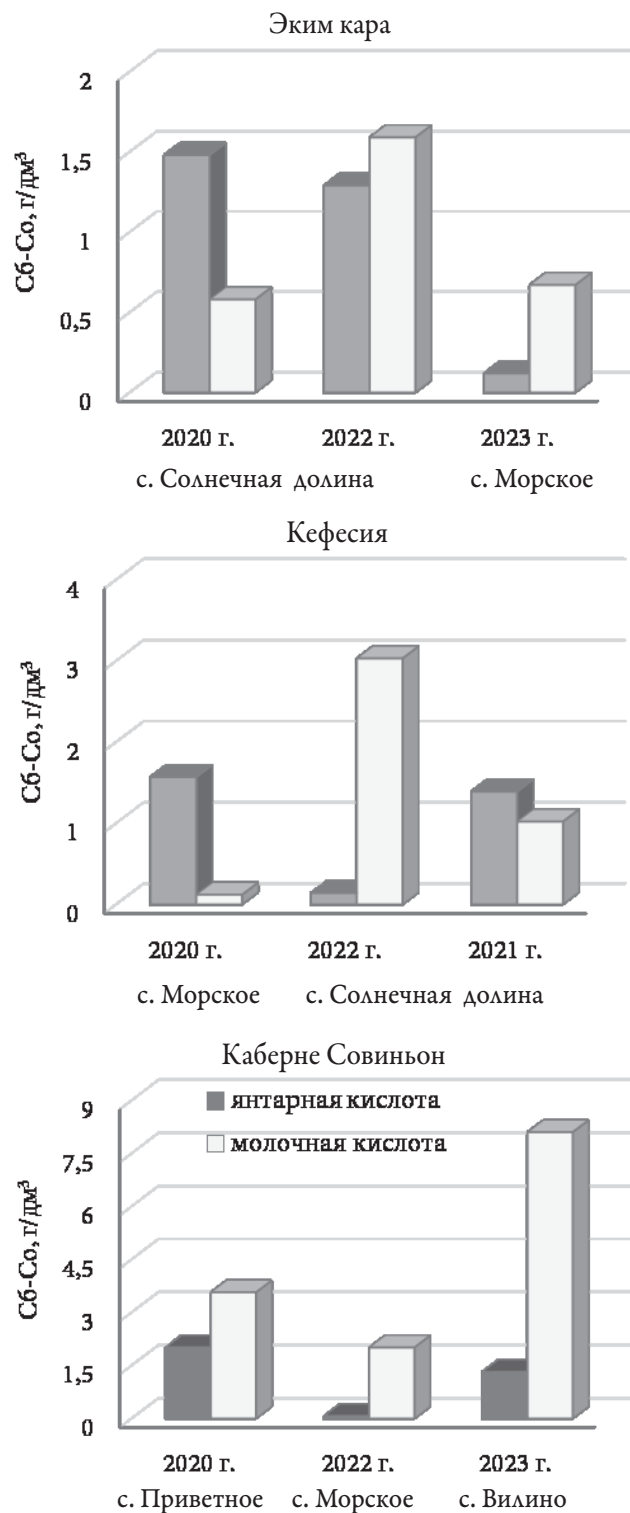


Рис. 2. Увеличение концентрации янтарной и молочной кислот в виноматериалах, полученных с использованием штамма *L. thermotolerans* 86 из разных сортов винограда, мест произрастания и года урожая (средние значения)

Fig. 2. Increase in the concentration of succinic and lactic acids in base wines obtained using *L. thermotolerans* 86 strain from different grape varieties, places of growth and crop years (average values)

ований выявила обратную корреляционную зависимость ($r = -0,619$ при $\alpha \leq 0,05$) изменения в ходе брожения показателя pH и концентрации молочной кислоты. Известно, что молочная кислота является слабой кислотой ($pK_a = 3,86$), тем не менее она раз-

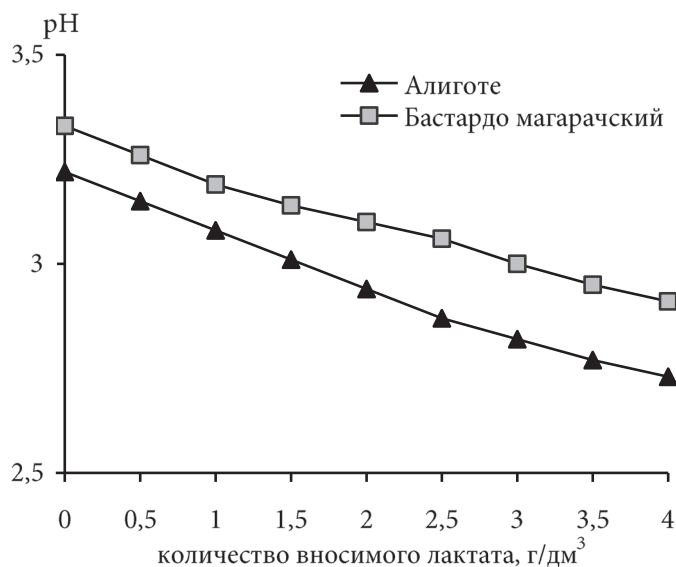


Рис. 3. Влияние дозы вносимой молочной кислоты на изменение pH виноматериалов

Fig. 3. The effect of the dose of added lactic acid on the change in pH of base wines

решена OIV для подкисления вина, ввиду благоприятного действия на вкус, которому придает мягкость и округлость. Поэтому для проверки выявленной корреляции был проведен дополнительный эксперимент: в пробы сухих белых (Алиготе) и красных (Бастардо магарачский) виноматериалов вносили молочную кислоту в количестве от 0,5 до 4,0 г/дм³ (с шагом 0,5 г/дм³) и измеряли pH. Установлено, что на каждые внесенные в вино 0,5 г/дм³ молочной кислоты значения pH снижались на 0,07 ед. (рис. 3). Это подтверждает перспективность использования дрожжей *L. thermotolerans* в условиях изменяющегося климата при производстве вин из красных крымских аборигенных сортов, характеризующихся резким снижением содержания кислот в ягодах в ходе накопления сахаров, а также с целью снижения доз диоксида серы, обеспечивающих асептический эффект (именно за счет снижения величины pH).

Отметим, что количество синтезируемой разными штаммами *L. thermotolerans* уксусной кислоты не превышало 1 г/дм³.

В целом можно заключить, что широкое варьирование профиля органических кислот в сброженном на культурах *L. thermotolerans* сусле является результатом совокупного воздействия всех рассмотренных факторов: штамма дрожжей, сорта винограда, места его произрастания и года урожая, а также неучтенных в настоящей работе.

Выводы

В результате проведенных исследований оценено влияние сорта винограда, места его произрастания и года урожая на способность дрожжей *L. thermotolerans* синтезировать молочную и янтарную кислоту в ходе брожения мезги. Не выявлено значимых различий двух штаммов дрожжей *L. thermotolerans* по их способности к синтезу этих кислот. Полученные результаты обуславливают необходимость продолжения исследований культуры *L. thermotolerans* и факторов,

влияющих на их биосинтетическую активность, с целью разработки технологий вин, направленных на формирование уникальных органолептических характеристик.

Благодарность

Выражаем благодарность сотрудникам лаборатории химии и биохимии вина кандидату биологических наук Сластьеву Е.А., Олейниковой В.А. за помощь в реализации исследований методом ВЭЖХ; сотрудникам лаборатории микробиологии за микробиологическое сопровождение эксперимента.

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания № FNZM-2024-0001.

Financing source

The work was conducted under public assignment No. FNZM-2024-0001.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

- Benito S. The impacts of *Schizosaccharomyces* on winemaking. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2019;103:4291–4312. DOI 10.1007/s00253-019-09827-7.
- Benito A., Jeffares D., Palomero F., Calderon F., Bai F.-Y., Bahler J., Benito S. Selected *Schizosaccharomyces pombe* strains have characteristics that are beneficial for winemaking. *PLoS ONE.* 2016;11(3):e0151102. DOI 10.1371/journal.pone.0151102.
- Zhang W., Weng P., Wu Z. Interaction profile of a mixed-culture fermentation of *Issatchenkia orientalis* and *Saccharomyces cerevisiae* by transcriptome sequencing. *British Food Journal.* 2019;125(6):1985-2001. DOI 10.1108/BFJ-06-2020-0510.
- Seo S.H., Rhee C.H., Park H.D. Degradation of malic acid by *Issatchenkia orientalis* KMBL 5774, an acidophilic yeast strain isolated from Korean grape wine pomace. *J. Microbiol.* 2007;45(6):521-527.
- Morata A., Loira I., Escott C., del Fresno J.M., Bañuelos M.A., Suárez-Lepe J.A. Applications of *Metschnikowia pulcherrima* in wine biotechnology. *Fermentation.* 2019;5(3):63. DOI 10.3390/fermentation5030063.
- Benito S. The impact of *Torulaspora delbrueckii* yeast in winemaking. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2018;102:3081–3094.
- Vilela A. Use of nonconventional yeasts for modulating wine acidity. *Fermentation.* 2019;5(1):27. DOI 10.3390/fermentation5010027.
- Lencioni L., Romani C., Gobbi M., Comitini F., Ciani M., Domizio P. Controlled mixed fermentation at winery scale using *Zygorulaspora florentina* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Int. J. Food Microbiol.* 2016;234:36–44. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.004.
- Lencioni L., Taccari M., Ciani M., Domizio P. *Zygorulaspora florentina* and *Starmerella bacillaris* in multistarter fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* to reduce volatile acidity of high sugar musts. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2018;24:368-372. DOI 10.1111/ajgw.12327.
- Benito A., Calderon F., Palomero F., Benito S. Quality and composition of Airen wines fermented by sequential inoculation of *Lachancea thermotolerans* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Technol Biotechnol.* 2016;54(2):135–144. DOI 10.17113/ftb.54.02.16.4220.
- Gobbi M., Comitini F., Domizio P., Romani C., Lencioni L., Mannazzu I., Ciani M. *Lachancea thermotolerans* and *Saccharomyces cerevisiae* in simultaneous and sequential co-

- fermentation: a strategy to enhance acidity and improve the overall quality of wine. *Food Microbiol.* 2013;33:271–281.
12. Peskova I., Tanashchuk T., Ostroukhova E., Slastya E., Levchenko S., Lutkova N. Prospects of using *Lachancea thermotolerans* yeast in winemaking. *E3S Web of Conferences.* 2021;247:01012. DOI 10.1051/e3sconf/202124701012.
 13. Vilela A. *Lachancea thermotolerans*, the non-*Saccharomyces* yeast that reduces the volatile acidity of wines. *Fermentation.* 2018;4(3),56. DOI 10.3390/fermentation4030056.
 14. Vicente J., Baran Y., Navascués E., et al. Biological management of acidity in wine industry: a review. *International Journal of Food Microbiology.* 2022;375:109726. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109726.
 15. Payan C., Gancel A.-L., Jourdes M., Christmann M., Teissedre P.-L. Wine acidification methods: a review. *OENO One.* 2023;57(3):113-126. DOI 10.20870/oeno-one.2023.57.3.7476.
 16. Valera M.J., Morcillo-Parra M.Á., Zagórska I., Mas A., Beltran G., Torija M.J. Effects of melatonin and tryptophol addition on fermentations carried out by *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* yeast species under different nitrogen conditions. *Int J Food Microbiol.* 2019;289:174-181. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.013.
 17. Su Y., Seguinot P., Sanchez I., Ortiz-Julien A., Heras J.M., Querol A., Camarasa C., Guillamón J.M. Nitrogen sources preferences of non-*Saccharomyces* yeasts to sustain growth and fermentation under winemaking conditions. *Food Microbiol.* 2020;85:103287. DOI 10.1016/j.fm.2019.103287.
 18. Kemsawasd V., Viana T., Ardö Y., Arneborg N. Influence of nitrogen sources on growth and fermentation performance of different wine yeast species during alcoholic fermentation. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2015;99(23):10191-10207. DOI 10.1007/s00253-015-6835-3.
 19. Hranilovic A., Gambetta J.M., Schmidtke L., Boss P.K., Grbin P.R., Masneuf-Pomarede I., Bely M., Albertin W., Jiranek V. Oenological traits of *Lachancea thermotolerans* show signs of domestication and allopatric differentiation. *Sci Rep.* 2018;8:14812. DOI 10.1038/s41598-018-33105-7.
 20. Gatto V., Binati R. L., Lemos J., Wilson J.F., Basile A., Treu L., Otávio G. G. de Almeida, Innocente G., Campanaro S., Torriani S. New insights into the variability of lactic acid production in *Lachancea thermotolerans* at the phenotypic and genomic level. *Microbiol. Res.* 2020;238:126525. DOI 10.1016/j.micres.2020.126525.
 21. Sgouros G., Mallouchos A., Filippousi M.-E., Banilas G., Nisiotou A. Molecular characterization and enological potential of a high lactic acid-producing *Lachancea thermotolerans* vineyard strain. *Foods.* 2020;9(5),595. DOI 10.3390/foods9050595.
 22. Shekhawat K., Bauer F. F., Setati M.E. The transcriptomic response of a wine strain of *Lachancea thermotolerans* to oxygen deprivation. *FEMS Yeast Res.* 2019;20(7):foaa054. DOI 10.1093/femsyr/foaa054.
 23. Battjes J., Melkonian C., Mendoza S.N., Haver A., Al-Nakeeb K., Koza A., Schrubbers L., Wagner M., Zeidan A.A., Molenaar D., Teusink B. Ethanol-lactate transition of *Lachancea thermotolerans* is linked to nitrogen metabolism. *Food Microbiology.* 2023;110:104167. DOI 10.1016/j.fm.2022.104167.
 24. Иванова Е.В., Танащук Т.Н., Шаламитский М.Ю. Паспортизация природных штаммов дрожжей *Lachancea thermotolerans* // Тенденции развития образования: актуальные вопросы современных исследований. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции. Ростов-на-Дону. 2022:120-124. Ivanova E.V., Tanashchuk T.N., Shalamitsky M.Yu. Passportization of natural yeast strains *Lachancea thermotolerans*. Trends in the development of education: current issues of modern research. Materials of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don. 2022:120-124 (in Russian).
 25. Saayman M., Viljoen-Bloom M. The biochemistry of malic acid metabolism by wine yeasts – a review. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 2006;27(2):113-122. DOI 10.21548/27-2-1612.
 26. Torres-Guardado R., Rozès N., Esteve-Zarzoso B., Reguant C., Bordons A. Influence of succinic acid on *Oenococcus oeni* and malolactic fermentation. *OENO One.* 2022;56(3):195–204. DOI 10.20870/oeno-one.2022.56.3.5403.
 27. Jordán M.J., Margaría C.A., Shaw P.E., Goodner K.L. Aroma active components in aqueous kiwi fruit essence and kiwi fruit puree by GC-MS and multidimensional GC/GC-O. *J Agric Food Chem.* 2002;50:5386–5390. DOI 10.1021/jf020297f.
 28. Lecourieux F., Kappel C., Pieri P., Charon J., Pillet J., Hilbert G. et al. Dissecting the biochemical and transcriptomic effects of a locally applied heat treatment on developing Cabernet Sauvignon grape berries. *Front. Plant Sci.* 2017;8(53):1-23. DOI 10.3389/fpls.2017.00053.
 29. Torres N., Hilbert G., Luquin J., Goicoechea N., Antolin M.C. Flavonoid and amino acid profiling on *Vitis vinifera* L. cv Tempranillo subjected to deficit irrigation under elevated temperatures. *J. Food Compos. Anal.* 2017;62:51–62. DOI 10.1016/j.jfca.2017.05.001.
 30. Wu J., Drappier J., Hilbert G., Guillaumie S., Dai Z., Geny L., et al. The effects of a moderate grape temperature increase on berry secondary metabolites. *OENO One.* 2019;53(2):321–333. DOI 10.20870/oeno-one.2019.53.2.2434.
 31. Arrizabalaga-Arriazu M., Gomès E., Morales F., Irigoyen J.J., Pascual I., Hilbert G. High temperature and elevated carbon dioxide modify berry composition of different clones of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Tempranillo. *Front. Plant Sci.* 2020;11:603687. DOI 10.3389/fpls.2020.603687.
 32. Макаров А.С., Шмигельская Н.А., Лутков И.П., Васылык А.В., Максимовская В.А., Яланецкий А.Я., Шалимова Т.Р., Кречетова В.В. Особенности красных игристых вин, выработанных из сорта винограда Каберне-Совиньон // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2019;21(3):256-260. DOI 10.35547/IM.2019.21.3.013. Makarov A.S., Shmigelskaia N.A., Lutkov I.P., Vasylyk A.V., Maksimovskaia V.A., Yalanetski A.Ya, Shalimova T.R., Krechetova V.V. Peculiarities of red sparkling wines produced from 'Cabernet-Sauvignon' grapes. *Magarach. Viticulture and Winemaking.* 2019;21(3):256-260. DOI 10.35547/IM.2019.21.3.013 (in Russian).

Информация об авторах

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

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

Мария Игоревна Сулейманова, вед. инженер лаборатории тихих вин, e-мэйл: suleimanova_mari@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1535-7083>.

Information about authors

Irina V. Peskova, Cand. Techn. Sci., Leading Staff Scientist, Still Wines Laboratory; e-mail: yarinka-73@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5107-518X>;

Elena V. Ostroukhova, Dr. Techn. Sci., Chief Staff Scientist, Still Wines Laboratory; e-mail: elenostroukh@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0638-9187>;

Maria I. Suleimanova, Leading Engineer, Still Wines Laboratory; e-mail: suleimanova_mari@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1535-7083>.

Статья поступила в редакцию 13.02.2024, одобрена после рецензии 15.02.2024, принята к публикации 21.02.2024.