

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2648>
<https://elibrary.ru/YOKKDY>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние дрожжей рода non-*Saccharomyces* на показатели качества сидров



А. А. Ширшова^{1,*}, А. А. Храпов¹,
Н. М. Агеева¹, Е. А. Аль-Накиб¹, Е. В. Глоба¹,
И. В. Сердюков¹, А. Р. Изофатов²

¹ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия^{ROR},
Краснодар, Россия

² Кубанский государственный технологический университет^{ROR}, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 25.03.2026

Принята после рецензирования: 28.04.2026

Принята к публикации: 07.07.2026

*e-mail: anastasiya_1987@inbox.ru

© А. А. Ширшова, А. А. Храпов, Н. М. Агеева, Е. А. Аль-Накиб,
Е. В. Глоба, И. В. Сердюков, А. Р. Изофатов, 2026



Аннотация.

Сидр – слабоалкогольный напиток с уникальным ароматом и вкусом, изготовленный из свежего яблочного сока путем брожения. В последние годы помимо дрожжей рода *Saccharomyces*, все чаще объектом исследований становятся дрожжи non-*Saccharomyces* из-за их положительного влияния на показатели качества сидра. Сорта яблони, произрастающие в Краснодарском крае (Россия) и используемые для производства сидров, характеризуются высоким содержанием сахаров, что обусловлено природно-климатическими условиями региона. Цель исследования – изучить влияние чистых культур дрожжей-несахаромицетов *Lachancea thermotolerans*, *Metschnikowia pulcherrima* и *Torulaspora delbrueckii* на показатели качества сидров из плодов яблони, выращенных в Краснодарском крае.

Объекты исследования – образцы сидров, изготовленные из плодов яблони селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (Краснодар, Россия) с применением чистых культур дрожжей видов *L. thermotolerans*, *T. delbrueckii*, *M. pulcherrima* и *S. cerevisiae*. Физико-химические и органолептические показатели сидров определяли методами по действующим ГОСТ и ГОСТ Р; цветовые характеристики – спектрофотометрическим методом; легколетучие компоненты – методом газовой хроматографии.

Установлено, что процесс брожения под действием ферментных систем монокультур дрожжей рода non-*Saccharomyces* протекает медленнее (в среднем на 5 суток), чем под действием *S. cerevisiae*. В сидрах, изготовленных с применением non-*Saccharomyces*, показатели массовых концентраций титруемых кислот и сахаров ниже на 14–22 и 31–39 % соответственно, а остаточного экстракта – выше на 33–46 % по сравнению с сидром, сброженным *S. cerevisiae*. Последовательная инокуляция non-*Saccharomyces* и *S. cerevisiae* через 72 ч позволила получить сидры с меньшим содержанием спирта (на 2–21 %). В аромате образцов сидров с более высокой концентрацией гексанола присутствовали растительные оттенки.

При проведении совместного брожения и последовательной инокуляции определено рекомендуемое время внесения дрожжей *S. cerevisiae* в яблочное сусло: для брожения с *L. thermotolerans* – не ранее 72 ч; для *M. pulcherrima* – через 24 ч; для *T. delbrueckii* – через 48 ч.

Ключевые слова. Сидр, плоды яблони, яблочное сусло, *Lachancea thermotolerans*, *Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora delbrueckii*, *Saccharomyces cerevisiae*, динамика брожения, цветовые характеристики, органолептические показатели

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-76-10012, <https://rscf.ru/project/25-76-10012/> на базе ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Для цитирования: Ширшова А. А., Храпов А. А., Агеева Н. М., Аль-Накиб Е. А., Глоба Е. В. и др. Влияние дрожжей рода non-*Saccharomyces* на показатели качества сидров. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 3. С. 434–449. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2648>

Effect of Non-*Saccharomyces* Yeasts on Cider Quality



Anastasia A. Shirshova^{1,*}, Anton A. Khrapov¹,
Natalia M. Ageyeva¹, Ekaterina A. Al-Nakib¹, Ekaterina V. Globa¹,
Igor V. Serdyukov¹, Andrey R. Izofatov²

¹ North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making^{ROR}, Krasnodar, Russia

² Kuban State Technological University^{ROR}, Krasnodar, Russia

Received: 25.03.2026

Revised: 28.04.2026

Accepted: 07.07.2026

*e-mail: anastasiya_1987@inbox.ru

© A.A. Shirshova, A.A. Khrapov, N.M. Ageyeva, E.A. Al-Nakib, E.V. Globa,
I.V. Serdyukov, A.R. Izofatov, 2026



Abstract.

Cider is a low-alcohol fermented apple beverage with a unique aroma and flavor. Non-*Saccharomyces* yeasts have a reliable positive impact on the sensory profile of ciders. Cider apple varieties grown in the Krasnodar Region are rich in sugar (≤ 180 g/dm³) due to the local natural and climatic conditions. This study investigates the effect of non-*Saccharomyces* yeasts *Lachancea thermotolerans*, *Metschnikowia pulcherrima*, and *Torulaspora delbrueckii* on the quality of Krasnodar apple cider.

The cider samples were produced from the fresh apple juice obtained by fermenting apple varieties cultivated at the North Caucasus Federal Scientific Center for Cider Production with pure yeast cultures of *L. thermotolerans*, *T. delbrueckii*, *M. pulcherrima*, and *S. cerevisiae*. The physicochemical and sensory properties were determined using the current interstate and state standards. The color profile was described by the spectrophotometric method; the volatile components were identified using gas chromatography. The fermentation process induced by non-*Saccharomyces* enzyme systems proceeded slower (by 5 days on average) than the fermentation triggered by *S. cerevisiae*. The non-*Saccharomyces* ciders demonstrated lower mass concentrations of titrated acids by (14–22%) and sugars (31–39%) while the mass concentration of the residual extract was higher by 33–46. The sequential inoculation of non-*Saccharomyces* and *S. cerevisiae* made it possible to obtain ciders with a lower alcohol content (by 2–21%) after 72 h. The samples with a higher concentration of hexanol demonstrated herbaceous aroma.

Based on the co-fermentation and sequential inoculation, the optimal timing for introducing *S. cerevisiae* yeasts was as follows: after 72 h for *L. thermotolerans*; after 24 h for *M. pulcherrima*; after 48 h for *T. delbrueckii*.

Keywords. Cider, apple fruits, apple must, *Lachancea thermotolerans*, *Metschnikowia pulcherrima*, *Torulaspora delbrueckii*, *Saccharomyces cerevisiae*, fermentation dynamics, color characteristics, sensory profile

Funding. The research was supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 25-76-10012, <https://rscf.ru/project/25-76-10012/>).

For citation: Shirshova AA, Khrapov AA, Ageyeva NM, Al-Nakib EA, Globa EV, *et al.* Effect of Non-*Saccharomyces* Yeasts on Cider Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(3):434–449. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2648>

Введение

Сидр – слабоалкогольный напиток с уникальным ароматом и вкусом, изготовленный из свежего яблочного сока (сусла) путем брожения. Алкогольное брожение сопровождается многочисленными сложными биохимическими процессами, происходящими под действием ферментных систем различных микроорганизмов, главным образом дрожжей [1, 2]. Дрожжи встречаются не только в почве садов или на поверхности спелых, неповрежденных плодов яблони, но и являются частью естественной флоры помещений, в которых перерабатывают плоды яблони, оказывают различное влияние на процессы брожения, особенно на начальном его этапе, а также при спонтанных ферментациях. Помимо дрожжей рода *Saccharomyces*

cerevisiae, составляющих лишь небольшую долю в многообразии естественного микробиома, микрофлора плодов яблони в основном включает несакхаромицеты (non-*Saccharomyces*), в т. ч. дрожжи *Torulaspora delbrueckii*, *Metschnikowia pulcherrima*, *Kluyveromyces marxianus*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Hanseniaspora uvarum*, *H. guilliermondii* и *H. occidentalis*, *Pichia* spp., *Debaryomyces* spp., *Rhodotorula* spp. и *Candida* [3, 4].

Дрожжи *S. cerevisiae* широко применяются для производства алкогольных напитков благодаря способности продуцировать этиловый спирт за счет эффективного потребления сахара и высокой устойчивости к факторам среды [5]. Также этот вид известен способностью образовывать ароматические соединения, такие как высшие спирты, сложные эфиры и терпены [6, 7].

Долгое время считалось, что продукты метаболизма дрожжей *non-Saccharomyces* оказывали негативное влияние на показатели качества напитков брожения, среди которых наиболее распространены вино и сидр, а именно на аромат и вкус, вызывая развитие посторонних тонов и порчу напитков [8, 9]. Поэтому естественную микрофлору было принято подавлять добавлением серосодержащих препаратов и чистых культур дрожжей. В последние два десятилетия *non-Saccharomyces* все чаще становятся объектом исследований из-за их положительного влияния на качество напитков [10]. Продукты метаболизма, продуцируемые этими дрожжами в смешанных ферментациях с *S. cerevisiae*, способствуют формированию различных оттенков аромата и приданию сложности вкусу сидра [11, 12].

Более того, дрожжи *non-Saccharomyces* обладают более высокой ферментативной активностью, чем *S. cerevisiae*, и могут усиливать первичные (характерные сырью) и вторичные (образующиеся во время брожения) ароматы за счет способности к формированию летучих веществ, таких как этилкаприлат (тон яблока), этилгексаноат (тон груши), изоамилацетат (тон банана) и различных терпенов (цветочные и фруктовые тона). Несмотря на наблюдаемые положительные эффекты, большинство дрожжей *non-Saccharomyces* не способны к полному сбраживанию имеющихся сахаров в сусле и завершению спиртового брожения, что объясняется их слабой толерантностью к этиловому спирту (примерно 2–4 % об.) [13, 14]. Совместное брожение с *S. cerevisiae*, включая одновременную или последовательную инокуляцию, является эффективным способом улучшения показателей качества, в т. ч. органолептических характеристик готового напитка [5].

Чистые культуры дрожжей *non-Saccharomyces* различаются по активности ферментативных систем, диапазонам оптимальных температур, интенсивности и скорости сбраживания сахаров, спиртоустойчивости, способности накапливать промежуточные и вторичные продукты брожения, обуславливающие те или иные органолептические характеристики готового сидра.

В последние годы наблюдаются существенные изменения климата, приводящие к возникновению ряда проблем в виноградарстве и виноделии, а именно к повышению уровня сахаров и понижению содержания титруемых кислот в ягодах винограда. В этом контексте дрожжи вида *Lachancea thermotolerans* вызывают интерес у производителей винодельческой продукции. Это связано с тем, что данный вид микроорганизмов обладает высоким потенциалом к производству молочной кислоты (2,0–9,0 г/дм³) из сахаров (глюкозы), содержащихся в виноградном сусле, повышению массовой концентрации титруемых кислот и снижению значения pH. Кроме того, в исследовании [15] показано, что для изготовления напитков при совместном брожении *L. thermotolerans* и *S. cerevisiae* отмечается значительное повышение концентрации таких ароматических летучих веществ, как фенилэтиловый спирт (увеличение

на 4–38 %), фенилэтилацетат (на 7–303 %), этиллактат (в 5 раз) и этилацетат (на 3–84 %), линалоол, а также некоторых терпенов, определяющих присутствие фруктовых и цветочных тонов в аромате готовых напитков [16].

Дрожжи вида *T. delbrueckii* используют для снижения массовой концентрации титруемых кислот и уксусной кислоты. Эти дрожжи способны синтезировать исключительно высокие концентрации полиолов – многоатомных спиртов (арабита, рибита, сорбита, маннита и ксилита) и эфиров. Полиолы обеспечивают дрожжевым клеткам защиту от осмотического стресса, благодаря чему дрожжи вида *T. delbrueckii* подходят для брожения сусла из плодов яблони позднего сбора и производства айс-сидров, а также обладают высокой скоростью седиментации и, как следствие, способствуют обеспечению более высокой интенсивности цвета и более низкой концентрации общих и мономерных антоцианов [1]. Дрожжи вида *T. delbrueckii* синтезируют высшие спирты, эфиры (бутираты, пропионаты и ацетаты), за счет чего в аромате и вкусе сидра формируются сложные фруктовые и цветочные тона; увеличивается концентрация глицерина – проявляется мягкость и округлость во вкусе [17]. Дрожжи вида *T. delbrueckii* синтезируют меньшие концентрации летучих кислот (в пересчете на уксусную кислоту) по сравнению со многими штаммами рода *S. cerevisiae* и проявляют регулярную (равномерную) кинетику брожения, в т. ч. в атмосфере углекислого газа. Благодаря этим свойствам они подходят для изготовления игристых сидров, в частности за счет обеспечения хороших пенных и игристых характеристик напитков при вторичном брожении [18].

Применение дрожжей рода *Metschnikowia* может расширить разнообразие органолептических характеристик сидра. В работе [19] показано, что в микрофлоре сидров встречались следующие виды *Metschnikowia*: *M. koreensis*, *M. reukaufii* и *M. pulcherrima*. Дрожжи вида *M. pulcherrima* проявляют потенциал к производству напитков с более низким содержанием этилового спирта (0,6–1,2 % об.) и применяются для сбраживания сусла с высокой концентрацией сахаров и при необходимости ее понижения [20]. Этот вид дрожжей характеризуется высоким уровнем активности ферментов, участвующих в высвобождении сортовых ароматов – терпенов (линалоол, гераниол, цитраль, цитронелол, нерол и др.), содержащихся в плодах яблони и сусле в виде гликозидов, не имеющих аромата. Под действием ферментов α -арабинофуранозидазы и β -глюкозидазы терпены становятся «ароматически активными» и вносят свой вклад в типичность, аромат и вкус сидров. Кроме того, применение дрожжей вида *M. pulcherrima* способствует накоплению более высоких концентраций глицерина, ацетатных эфиров и высших спиртов, а также более низких концентраций уксусной кислоты в винах и сидрах, что обеспечивает придание сложности аромата (цветочные, растительные тона и оттенки свежих фруктов) и округлости вкуса [21].

Совместная ферментация дрожжами *S. cerevisiae* и *M. pulcherrima* приводит к формированию более сложного и яркого аромата за счет образования наибольшего количества и разнообразия летучих компонентов, таких как фенилэтиловый спирт, 3-метил-1-бутанол, этилуктаноат и декановая кислота [19]. Ароматобразующие легколетучие компоненты сидров, произведенных из различных сортов яблони, также имеют решающее значение для формирования органолептических показателей готового напитка [22].

Сорта яблони, которые произрастают и используются для производства сидров в Краснодарском крае (Россия), характеризуются достаточно высоким содержанием сахаров (до 180 г/дм³), что связано с природно-климатическими условиями региона и делает практически невозможным получение сидра с объемной долей этилового спирта не более 6 %. Изучение влияния дрожжей-несахаромицетов *L. thermotolerans*, *M. pulcherrima* и *T. delbrueckii* на органолептические показатели качества сидра из плодов яблони, выращенных в Краснодарском крае ранее не проводилось. В связи с этим актуальным становится применение коммерческих препаратов чистых культур поп-*Saccharomyces* в технологии изготовления сидров для получения напитков с меньшим содержанием этилового спирта и более высокой концентрацией присущих ароматических веществ.

Цель исследования – изучить влияние чистых культур дрожжей-несахаромицетов *L. thermotolerans*, *M. pulcherrima* и *T. delbrueckii* на показатели качества сидра из плодов яблони, выращенных в Краснодарском крае.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали образцы сидров, изготовленные в результате брожения свежего яблочного сока (сусла) из плодов яблони (сортосмеси) селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (СКФНЦСВВ) (Краснодар, Россия), урожая 2025 г. (Орфей, Марго, Персиковое, Стасовское и Ренет Платона). Отобранные плоды яблони находились в состоянии технологической зрелости: массовая концентрация сахаров в свежем яблочном сусле из смеси сортов – 105 г/дм³; массовая концентрация титруемых кислот – 7,2 г/дм³ в пересчете на яблочную кислоту; pH – 3,61. Опытные образцы сидра готовили в лабораторно-производственном подразделении «Микровиноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ следующим образом: плоды яблони мыли, измельчали с помощью дробилки (мощность двигателя – 1,1 кВт; производительность – 500 кг/ч), мацерацию проводили в течение 12 ч при температуре 5 ± 1 °С, после чего прессовали на гидравлическом прессе с мембраной EPDM давлением 250 кг/см² (ООО «Ректифай», Россия).

Для исключения развития спонтанной микрофлоры в сусло вносили метабисульфит калия в дозировке, соответствующей содержанию диоксида серы в све-

жем яблочном сусле (50 мг/дм³). Полученное свежее яблочное сусло делили на равные части и сбраживали в стеклянных емкостях с гидрозатворами при температуре 17 ± 1 °С, предварительно вносили дрожжи видов *Lachancea thermotolerans*, *Torulaspora delbrueckii*, *Metchnikowia pulcherrima* (LEVEL2 LAKTIA, LEVEL2-FLAVIA, LEVEL2 BIODIVA соответственно; Lallemant, Франция) и дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* (RV 10; Angel Yeast Co., Ltd., Китай). Препараты сухих активных дрожжей активировали в соответствии с рекомендациями производителей. Условия, при которых проводили брожение, были одинаковыми для всех образцов. По окончании активного брожения сброженное яблочное сусло снимали с дрожжевого осадка, осветляли отстаиванием и хранили в условиях, исключающих воздействие кислорода воздуха, при температуре 5 ± 1 °С до проведения исследований.

Схема проведенных опытов:

- контроль – *S. cerevisiae*;
- образец 1 – *L. thermotolerans* + *S. cerevisiae* (внесение через 24 ч);
- образец 2 – *L. thermotolerans* + *S. cerevisiae* (внесение через 48 ч);
- образец 3 – *L. thermotolerans* + *S. cerevisiae* (внесение через 72 ч);
- образец 4 – *L. thermotolerans* (без внесения *S. cerevisiae*);
- образец 5 – *T. delbrueckii* + *S. cerevisiae* (внесение через 24 ч);
- образец 6 – *T. delbrueckii* + *S. cerevisiae* (внесение через 48 ч);
- образец 7 – *T. delbrueckii* + *S. cerevisiae* (внесение через 72 ч);
- образец 8 – *T. delbrueckii* (без внесения *S. cerevisiae*);
- образец 9 – *M. pulcherrima* + *S. cerevisiae* (внесение через 24 ч);
- образец 10 – *M. pulcherrima* + *S. cerevisiae* (внесение через 48 ч);
- образец 11 – *M. pulcherrima* + *S. cerevisiae* (внесение через 72 ч);
- образец 12 – *M. pulcherrima* (без внесения *S. cerevisiae*).

Штамм LEVEL2 LAKTIA *L. thermotolerans* преобразовывает глюкозу в молочную кислоту и продуцирует ее до 9,0 г/дм³ в зависимости от установленных условий брожения, что значительно повышает массовую концентрацию титруемых кислот и снижает pH среды. Данные дрожжи оказывают положительное влияние на органолептические показатели сидра благодаря образованию таких ароматических соединений, как 2-фенилэтанол, линалоол и др., а также глицерина.

Штамм LEVEL2 BIODIVA *T. delbrueckii* способен синтезировать значительные концентрации полиолов – многоатомных спиртов: глицерина, арабита, рибита, сорбита, маннита и ксилита. Полиолы обеспечивают дрожжевым клеткам защиту от осмотического стресса, благодаря чему штамм подходит для брожения сусла

из плодов яблони с повышенным содержанием сахаров. Кроме того, LEVEL2 BIODIVA способствует быстрой седиментации частиц среды и обеспечивает более высокую интенсивность цвета.

Штамм LEVEL2 FLAVIA *M. pulcherrima* обладает высоким уровнем ферментативной активности, способствующей высвобождению сортовых ароматов: терпенов (линалоол, гераниол, нерол и др.), содержащихся в сусле в виде гликозидов и не имеющих аромата; летучих тиолов, присутствующих в сусле в виде цистеин-связанных прекурсоров и высвобождающихся за счет β -лиазной активности дрожжей.

Ферментативная активность LEVEL2 FLAVIA обеспечивает получение интенсивного и сложного аромата сидров. Применение при последовательной инокуляции с *S. cerevisiae* дрожжей *M. pulcherrima* позволяет полностью раскрыть потенциал ароматов используемых в технологии сидров сортов яблони.

Контроль динамики брожения осуществляли ежедневно рефрактометрическим методом. Физико-химические показатели опытных образцов сидров определяли с использованием стандартных методов (ГОСТ и ГОСТ Р): массовой концентрации сахаров – методом прямого титрования растворами Феллинга; титруемых кислот – кислотно-щелочным титрованием в присутствии индикатора бромтимолового синего и с применением потенциометра; объемной доли этилового спирта – ареометрическим методом в дистилляте после предварительной перегонки образца; летучих кислот – титрованием щелочью летучих кислот, выделенных из сидра путем перегонки с водяным паром; остаточного экстракта – пикнометрическим методом по разности относительной плотности продукта и его дистиллята с вычетом значений массовых концентраций сахаров и титруемых кислот; pH – потенциометрическим методом. Массовую концентрацию индивидуальных органических кислот выявляли методом капиллярного электрофореза с помощью Капель-105М (ООО «Люмэкс», Россия) по ГОСТ Р 52841-2007.

Анализ летучих соединений (высших спиртов, сложных эфиров, ацетальдегида, летучих кислот и др.) осуществляли методом газовой хроматографии на хроматографе Кристаллюкс-4000М (ООО «Мета-хром», Россия) с пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Использовали капиллярную колонку HP-FFAP (50 м × 0,32 мм × 0,52 мкм). Газ-носитель – азот. Режим хроматографирования: температурный градиент от 70 °С (выдержка 8,5 мин) до 180 °С со скоростью 5–7 °С/мин; температура испарителя 180–220 °С; детектора 220–240 °С. Пробу разбавляли дистиллированной водой в 2 раза. Объем вводимой пробы – 1 мкл (режим с делением потока). Количественный расчет проводили методом абсолютной калибровки по внешним стандартам.

Цветовые характеристики сидров исследовали по методу OIV-MA-AS2-07B с применением спектрофотометра UV7 УФ-видимого диапазона (Mettler Toledo, Швейцария). Оптическую плотность образцов измеряли

при длинах волн 420, 520 и 620 нм (желтый, красный и синий оттенки соответственно) в кювете с толщиной слоя 2 см. Интенсивность (I) и оттенок цвета (N) рассчитывали по общепринятым формулам.

Органолептические показатели опытных образцов сидров оценивали по 10-бальной шкале (ГОСТ 32051–2013): внешний вид, аромат, вкус и общее впечатление. Дегустацию проводили открыто комиссией научного центра «Виноделие» (СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия) в составе 10 членов. Проходной балл в соответствии с внутренним регламентом дегустационной комиссии составлял 7,30. Исследования выполнены на базе научного центра «Виноделие» и центра коллективного пользования «Приборно-аналитический» (СКФНЦСВВ, Краснодар, Россия).

Статистическую обработку экспериментальных данных, полученных не менее чем в трехкратной повторности, выполняли с использованием программы Microsoft Excel 2021; применяли коэффициенты корреляции Пирсона, множественный регрессионный анализ и рассчитывали стандартное отклонение при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Динамика брожения – важный технологический фактор, позволяющий оценивать физиологическое состояние дрожжевых клеток и скорость сбраживания сахаров. Массовая концентрация сахаров в свежем яблочном сусле составляла 105 г/дм³. Динамика изменения данного показателя в процессе брожения яблочного сусла различными штаммами дрожжей представлена на рисунке 1.

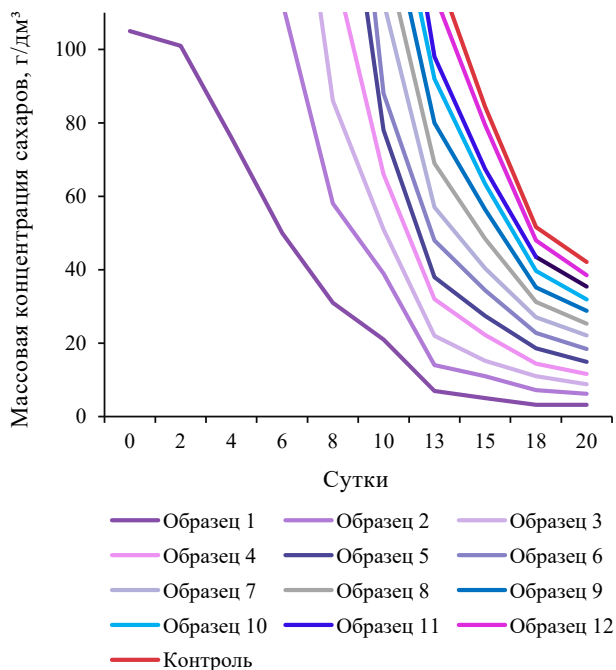


Рисунок 1. Динамика изменения массовой концентрации сахаров в процессе брожения яблочного сусла

Figure 1. Mass concentration of sugars during fermentation

В контрольном образце, изготовленном с применением чистой культуры дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae*, наблюдалось наиболее быстрое снижение массовой концентрации сахаров. К 4-м суткам брожения содержание сахаров снизилось до 65,0 г/дм³, к 8-м суткам – до 25,0 г/дм³. Брожение завершилось на 15-е сутки (3,6 г/дм³).

В образцах бродящего суслу с внесенными чистыми культурами *non-Saccharomyces* отмечена замедленная динамика брожения. Так, в образце сидра, сброженном только *Lachancea thermotolerans* (образец 4), на 8-е сутки массовая концентрация сахаров составляла 38,0 г/дм³. Схожая динамика наблюдалась при использовании *Torulaspora delbrueckii* (образец 8): к 8-м суткам концентрация сахаров снизилась до 38,0 г/дм³, однако активная фаза брожения началась лишь после 13-х суток и завершилась к 20-м суткам с остаточной концентрацией сахаров 3,2 г/дм³. В образце 12, сброженном *Metschnikowia pulcherrima*, к 8-м суткам массовая концентрация сахаров соответствовала 71,0 г/дм³, активная фаза также началась после 13-х суток и завершилась к 20-м суткам при остаточной концентрации сахаров 3,1 г/дм³.

Отмечено, что последовательное введение разводки дрожжей вида *S. cerevisiae* во все опытные образцы сидров (образцы 1–3, 5–7, 9–11) способствовало интенсификации процесса брожения. Однако время внесения дрожжей вида *S. cerevisiae* оказывало значительное влияние на общую продолжительность брожения и конечную массовую концентрацию сахаров.

В образцах сидра, изготовленных с применением *L. thermotolerans*, наиболее активное брожение отмечено в образце 1, в котором дрожжи *S. cerevisiae* внесены через 24 ч. В данном образце суслу к 4-м суткам концентрация сахаров снизилась до 76,0 г/дм³, к 6-м – до 50,0 г/дм³, остаточная массовая концентрация сахаров (3,2 г/дм³) была достигнута к 18-м суткам. Задержка внесения *S. cerevisiae* до 48 и 72 ч (образцы 2 и 3) приводила к пропорциональному замедлению процесса брожения: на 6-е сутки в этих опытных образцах фиксировалась концентрация сахаров 63,0 и 71,0 г/дм³, а брожение завершилось при 3,0 и 2,8 г/дм³ соответственно, что было ниже, чем в контрольном образце (3,6 г/дм³).

В образцах 5–7, которые изготовлены с применением *T. delbrueckii*, наиболее интенсивная динамика брожения наблюдалась в образце 5 (с внесением *S. cerevisiae* через 24 ч): к 8-м суткам концентрация сахаров составила 52 г/дм³, что было выше аналогичного значения в контрольном образце (только *S. cerevisiae*) на те же сутки (25 г/дм³). В образцах 6 и 7 (с внесением *S. cerevisiae* через 48 и 72 ч соответственно) прослеживалась та же закономерность, что и в образцах с *L. thermotolerans*: более позднее внесение *S. cerevisiae* сдвигало активную фазу брожения на 8–10-е сутки. Остаточная массовая концентрация сахаров во всех опытных образцах сидра, полученных с внесением

T. delbrueckii, была в диапазоне 3,3–3,7 г/дм³, что находилось на уровне контрольного образца.

При изучении динамики брожения образцов 9–12, изготовленных с применением *M. pulcherrima*, в образце с внесением *S. cerevisiae* через 24 ч массовая концентрация сахаров на 4-е сутки достигала 89 г/дм³, что было выше, чем в контрольном образце (65 г/дм³). Увеличение времени задержки внесения *S. cerevisiae* до 48 и особенно до 72 ч приводило к замедлению брожения: на 6-е сутки в образце 11 концентрация сахаров составляла 72 г/дм³, тогда как в контрольном образце, сброженном *S. cerevisiae*, к этому моменту было достигнуто значение 45 г/дм³. Несмотря на это, к 20-м суткам во всех образцах с *M. pulcherrima* брожение завершилось полностью, а остаточная массовая концентрация сахаров была на уровне 3,1–3,5 г/дм³.

Таким образом, продолжительность забраживания образцов яблочного суслу с применением чистых культур *non-Saccharomyces* положительно коррелировала с общей длительностью всего процесса брожения. Во всех опытных образцах сидра, полученных с использованием *non-Saccharomyces*, внесение *S. cerevisiae* через 24 ч ускоряло брожение, тогда как задержка его внесения до 72 ч приводила к существенному замедлению. При этом в образцах с *L. thermotolerans* отмечены более низкая остаточная концентрация и объемная доля этилового спирта.

В результате анализа физико-химических показателей установлено, что все образцы сидров соответствовали требованиям ГОСТ 31820-2015. Выявлены значительные различия по показателям массовой концентрации титруемых кислот, остаточного экстракта, объемной доле этилового спирта, обусловленные как родовой принадлежностью дрожжей *non-Saccharomyces*, так и временем внесения дрожжей *S. cerevisiae* в бродящее суслу при совместном брожении. Массовая концентрация сахаров составляла менее 4,0 г/дм³, что соответствовало типу сухих сидров. Полученные данные представлены в таблице 1.

В контрольном образце, сброженном *S. cerevisiae*, отмечены наибольшая массовая концентрации титруемых кислот (6,7 г/дм³) и наименьшие значения pH (3,31), летучих кислот (0,13 г/дм³) и остаточного экстракта (12,7 г/дм³).

В образцах 8 и 12, изготовленных с применением *T. delbrueckii* и *M. pulcherrima*, объемная доля этилового спирта (5,8–6,0 %) была выше, чем в контрольном образце (5,6 %), тогда как в образце 4 (*L. thermotolerans*) этот показатель (5,7 %) находился на уровне контроля. Внесение *S. cerevisiae* через 72 ч в образцы 3, 7 и 11 способствовало формированию наименьшей объемной доли этилового спирта. Вероятно, это связано с тем, что дрожжи *non-Saccharomyces* за 3-е суток потребовали значительную часть сахаров, практически не продуцируя спирта или образуя его в меньшем количестве.

Показатель массовой концентрации остаточного экстракта в образцах сидра, сброженных монокультурами

Таблица 1. Физико-химические показатели экспериментальных образцов сидра ($p < 0,05$)Table 1. Physico-chemical parameters of experimental cider samples ($p < 0.05$)

Вариант опыта	pH	Объемная доля этилового спирта, %	Массовая концентрация, г/дм ³			
			Титруемые кислоты*	Летучие кислоты**	Сахара	Остаточный экстракт
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (контроль)	3,31 ± 0,12	5,6 ± 0,1	6,70 ± 0,10	0,13 ± 0,10	3,60 ± 0,20	12,7 ± 1,0
<i>Lachancea thermotolerans</i>						
Образец 1	3,40 ± 0,14	5,5 ± 0,1	4,60 ± 0,10	0,78 ± 0,06	3,20 ± 0,20	15,4 ± 1,0
Образец 2	3,49 ± 0,15	5,7 ± 0,1	3,80 ± 0,10	0,10 ± 0,06	3,00 ± 0,20	17,2 ± 1,0
Образец 3	3,33 ± 0,14	4,5 ± 0,1	4,30 ± 0,10	0,15 ± 0,06	2,60 ± 0,20	14,9 ± 1,0
Образец 4	3,34 ± 0,14	5,7 ± 0,1	4,10 ± 0,10	0,26 ± 0,06	2,80 ± 0,20	17,4 ± 1,0
<i>Torulaspora delbrueckii</i>						
Образец 5	3,41 ± 0,15	5,6 ± 0,1	4,30 ± 0,10	0,46 ± 0,06	3,30 ± 0,20	14,8 ± 1,0
Образец 6	3,69 ± 0,16	6,0 ± 0,1	3,90 ± 0,10	0,29 ± 0,06	3,50 ± 0,20	18,8 ± 1,0
Образец 7	3,39 ± 0,14	4,4 ± 0,1	5,40 ± 0,10	0,53 ± 0,06	3,70 ± 0,20	17,1 ± 1,0
Образец 8	3,35 ± 0,14	6,0 ± 0,1	4,60 ± 0,10	0,14 ± 0,06	3,20 ± 0,20	16,9 ± 1,0
<i>Metschnikowia pulcherrima</i>						
Образец 9	3,82 ± 0,20	5,9 ± 0,1	4,00 ± 0,10	0,13 ± 0,06	3,50 ± 0,20	15,5 ± 1,0
Образец 10	3,81 ± 0,18	5,8 ± 0,1	4,00 ± 0,10	0,37 ± 0,06	3,10 ± 0,20	16,8 ± 1,0
Образец 11	3,75 ± 0,17	5,5 ± 0,1	3,80 ± 0,10	0,40 ± 0,06	3,50 ± 0,20	17,6 ± 1,0
Образец 12	3,60 ± 0,16	5,8 ± 0,1	4,20 ± 0,10	0,18 ± 0,06	3,10 ± 0,20	18,5 ± 1,0

Примечание: * – в пересчете на яблочную кислоту; ** – в пересчете на уксусную кислоту.

Note: * – in terms of malic acid; ** – in terms of acetic acid.

L. thermotolerans, *T. delbrueckii* и *M. pulcherrima*, достигал наибольших значений по сравнению с контролем (17,4; 16,9 и 18,5 г/дм³ соответственно). Полученные результаты можно объяснить способностью дрожжей *non-Saccharomyces* синтезировать значительные количества вторичных метаболитов (глицерина, полисахаридов, высших спиртов, эфиров и др.), обуславливающих полноту, округлость и экстрактивность вкуса.

Значения массовой концентрации титруемых кислот существенно различались. Наименьшее содержание отмечено в образцах 9–12, изготовленных с применением *M. pulcherrima* (3,8–4,2 г/дм³). В образцах 4 и 8 (монокультуры *L. thermotolerans* и *T. delbrueckii*) значение данного показателя (4,1 и 4,6 г/дм³ соответственно) были значительно ниже контрольного. Это свидетельствует о метаболической трансформации яблочной кислоты в молочную или другие соединения (включая эфиры) и о меньшем ее синтезе данными видами дрожжей.

Массовая концентрация летучих кислот (в пересчете на уксусную кислоту) не превышала допустимых значений по ГОСТ 31820-2015 и находилась в диапазоне 0,13–0,78 г/дм³.

Яблочная кислота является основной органической кислотой свежего яблочного сусла, ее начальная концентрация составляла 6,48 г/дм³. В значительно меньших концентрациях идентифицированы лимонная (0,25 г/дм³), янтарная (0,10 г/дм³) и молочная (0,10 г/дм³) кислоты. В процессе брожения состав органических

кислот изменялся. Выявлены значительные различия качественного и количественного состава органических кислот исследуемых образцов сидра, обусловленные как родовой принадлежностью дрожжей *non-Saccharomyces*, так и временем внесения дрожжей *S. cerevisiae* при комбинированном брожении (рис. 2).

В контрольном образце, полученном путем сбраживания яблочного сусла дрожжами *S. cerevisiae*, массовая концентрация яблочной кислоты составляла 5,10 г/дм³; янтарной – 0,55 г/дм³; лимонной – 0,27 г/дм³; молочной – 0,31 г/дм³.

В образцах 3 (*L. thermotolerans* с внесением *S. cerevisiae* через 72 ч) и 4 (монокультура *L. thermotolerans*) яблочная кислота не обнаружена, что подтверждает способность данного вида к продукции молочной кислоты (3,30 и 3,33 г/дм³ соответственно) из яблочной. Кроме того, в этих образцах содержание янтарной кислоты – мощного антиоксиданта – было наибольшим – 1,08 г/дм³. В образце 1 (с внесением *S. cerevisiae* через 24 ч) концентрация яблочной кислоты сохранилась на уровне 4,49 г/дм³, при этом содержание молочной кислоты было наименьшим в серии образцов с *L. thermotolerans* – 0,28 г/дм³. При увеличении интервала внесения *S. cerevisiae* до 48 ч (образец 2) концентрация яблочной кислоты возрастала до 5,11 г/дм³, молочной – до 0,36 г/дм³. Внесение в яблочное сусло дрожжей *S. cerevisiae* через 24 и 48 ч (образцы 1 и 2) после инокуляции не позволило дрожжам *L. thermotolerans* пол-

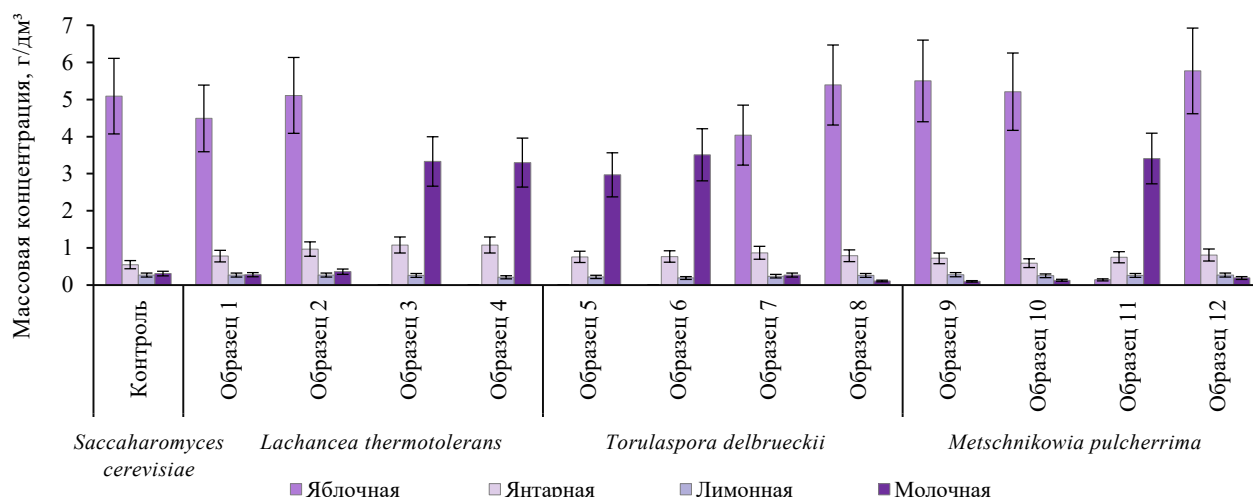


Рисунок 2. Содержание органических кислот в экспериментальных образцах сидра

Figure 2. Organic acid content in experimental cider samples

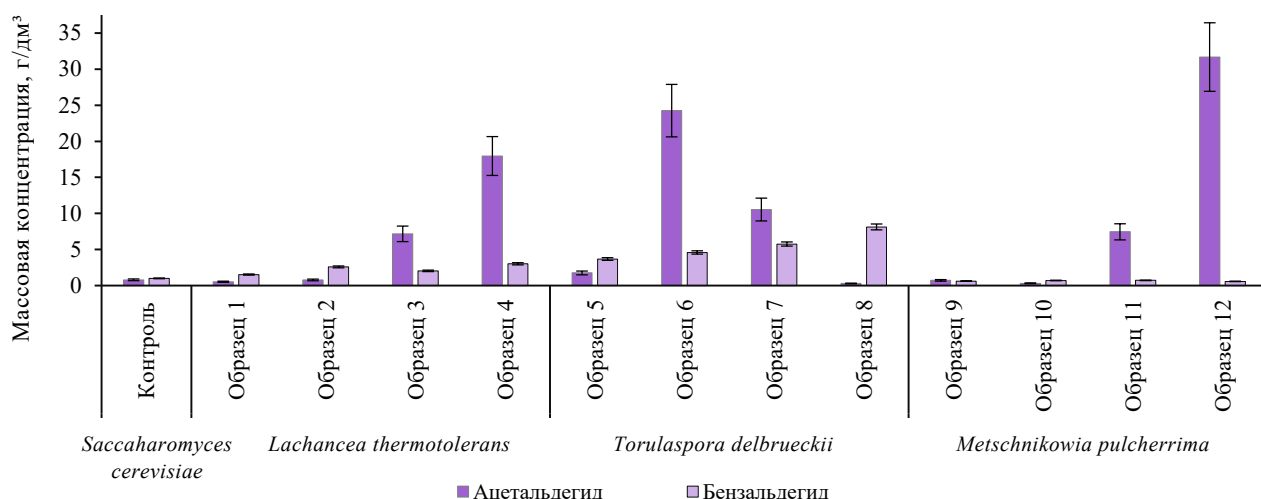


Рисунок 3. Содержание ацетальдегида и бензальдегида в экспериментальных образцах сидра

Figure 3. Mass concentration of acetaldehyde and benzaldehyde in experimental cider samples

ностью трансформировать яблочную кислоту и реализовать свой метаболический потенциал.

В образце 8 (монокультура *T. delbrueckii*) концентрация яблочной кислоты достигла 5,39 г/дм³, молочной – 0,11 г/дм³. В образце 7 (с внесением *S. cerevisiae* через 72 ч) концентрация яблочной кислоты также была достаточно высокой (4,04 г/дм³), а молочной – низкой (0,27 г/дм³). Однако в образцах 5 и 6 (с внесением *S. cerevisiae* через 24 и 48 ч соответственно) яблочная кислота полностью трансформировалась в молочную (до 2,97 и 3,51 г/дм³ соответственно). Поскольку ни *T. delbrueckii*, ни *S. cerevisiae* по отдельности не обладают способностью продуцировать молочную кислоту в значительных количествах, вероятно, полученные результаты обусловлены взаимодействием двух видов дрожжей в условиях последовательной инокуляции, механизм который требует дальнейшего изучения.

В образце 12 (монокультура *M. pulcherrima*) концентрация яблочной кислоты составила 5,77 г/дм³; молочной – 0,19 г/дм³; янтарной – 0,81 г/дм³. В образцах 9 и 10 (с внесением *S. cerevisiae* через 24 и 48 ч соответственно) соотношение органических кислот было аналогичным образцу 12. Однако в образце 11 (с внесением *S. cerevisiae* через 72 ч) концентрация яблочной кислоты была наименьшей (0,14 г/дм³), а молочной – наибольшей (3,41 г/дм³). Очевидно, монокультура *M. pulcherrima* способна потребить часть яблочной кислоты в течение 72 ч.

Стоит отметить, что на концентрацию лимонной кислоты не оказывали влияния ни род дрожжей *Saccharomyces*, ни время внесения *S. cerevisiae*. Ее содержание варьировалось в диапазоне 0,19–0,27 г/дм³.

В результате анализа легколетучих компонентов в образцах сидра обнаружено 28 соединений (рис. 3).

Эти компоненты в большей степени образуются в процессе брожения и являются основными веществами, обуславливающими ароматические характеристики сидра. Основные группы – сложные эфиры, высшие спирты, летучие кислоты, альдегиды и кетоны. Суммарное содержание легколетучих компонентов в образцах варьировалось в пределах от 500 до 2500 мг/дм³.

Результаты исследования летучих веществ исследуемых образцов сидров представлены в таблице 2.

Высшие спирты образуются по пути Эрлиха из аминокислот и являются важными компонентами аромата, придающими сидру фруктовые, цветочные и растительные тона в небольших концентрациях, в высоких – сивушные и спиртовые запахи.

Основным компонентом в группе высших спиртов, идентифицированным во всех образцах сидра, был изоамилол (3-метилбутан-1-ол). Его концентрация варьировала в диапазоне от 128 до 252 мг/дм³: наибольшее содержание отмечено в образце 8 (монокультура *T. delbrueckii* – 252 мг/дм³), наименьшее – в образце 3 (*L. thermotolerans* с внесением *S. cerevisiae* через 72 ч – 128 мг/дм³). Выявлена отрицательная корреляционная связь между массовой концентрацией изоамилола и дегустационной оценкой образцов сидра. Коэффициент корреляции Пирсона составил $r = -0,32$, что по шкале Чеддока соответствует умеренной тесноте связи. Так, дегустационная оценка образца 8 составила 7,3 балла, образца 3 – 7,7 баллов. Следует отметить, что массовая концентрация изобутанола в контрольном образце была на уровне 218 мг/дм³. Изобутанол также присутствовал во всех образцах сидра, его концентрация составила от 29 до 65 мг/дм³, причем наибольшее содержание отмечено в образцах 5–12, изготовленных с применением дрожжей *T. delbrueckii* и *M. pulcherrima*. В контрольном образце массовая концентрация 1-пропанола достигала наибольшего значения (67 мг/дм³), тогда

как в опытных образцах его содержание было ниже (24–50 мг/дм³). Гексанол, обуславливающий растительные оттенки в аромате, максимально накапливался в образцах 1 и 2 (*L. thermotolerans* – 48 и 24 мг/дм³ соответственно) и в образцах 9 и 10 (*M. pulcherrima* – 19 и 15 мг/дм³ соответственно), тогда как в контрольном образце его содержание составляло всего 2 мг/дм³. В аромате данных образцов отмечены растительные тона.

Летучие жирные кислоты приносят в аромат сидров сливочные, маслянистые и другие тона. Основной в группе летучих кислот была уксусная, в меньших концентрациях обнаружена пропионовая. Содержание изомасляной, масляной, изовалериановой и валериановой кислот было примерно на одном уровне и не зависело ни от рода дрожжей non-*Saccharomyces*, ни от времени внесения *S. cerevisiae* при комбинированном брожении.

Ацетальдегид – ключевой промежуточный метаболит спиртового брожения, в концентрации до 100 мг/дм³ он придает аромату сидра фруктовые (зеленого яблока) тона. Кроме того, ацетальдегид служит маркером окисленности. Наибольшее содержание ацетальдегида отмечено в образце 12 (монокультура *M. pulcherrima*) – 32 мг/дм³, что значительно превышало значение в контрольном образце (0,8 мг/дм³). В аромате образца 12 отмечены оттенки свежего яблока и белых ягод. В серии образцов, изготовленных с применением *L. thermotolerans*, в образце 4 (монокультура *L. thermotolerans*) концентрация ацетальдегида – 18 мг/дм³, в то время как в образцах 1–3 его содержание находилось на уровне 0,5–7,0 мг/дм³. В серии образцов сидра, изготовленных с применением *T. delbrueckii*, выделился образец 6 (с внесением *S. cerevisiae* через 48 ч), в котором концентрация ацетальдегида достигла 44 мг/дм³ (рис. 4).

Наибольшие концентрации бензальдегида, определяющего ореховые тона в аромате сидра, отмечены

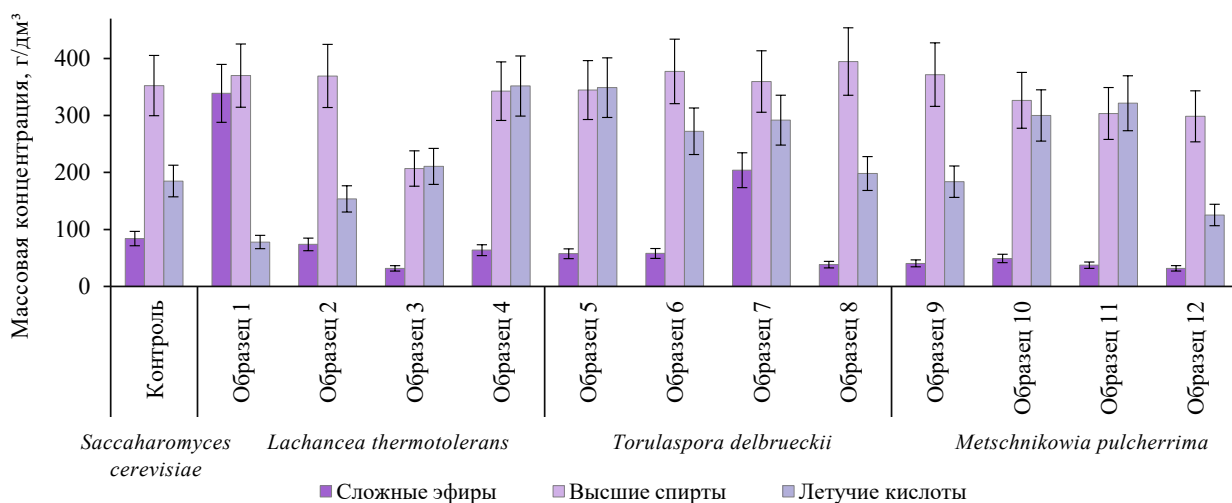


Рисунок 4. Содержание сложных эфиров, высших спиртов и летучих кислот в экспериментальных образцах сидра

Figure 4. Esters, higher alcohols, and volatile acids in experimental cider samples

Таблица 2. Содержание основных групп летучих компонентов в экспериментальных образцах сидра, мг/дм³ ($p < 0,05$)
Table 2. Volatile components in experimental cider samples, mg/dm³ ($p < 0,05$)

Компонент / Группа	Saccharomyces cerevisiae (контроль)	Образцы сидра, сброженные штаммами дрожжей											
		Lachancea thermotolerans				Torulaspora delbrueckii				Metschnikowia pulcherrima			
		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10	Образец 11	Образец 12
Сложные эфиры													
Этилформиат	менее 0,5	3,0 ± 1,0	1,0 ± 0,2	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	1,0 ± 0,2	0,6 ± 0,1	1,0 ± 0,2	0,5 ± 0,1	менее 0,5	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2
Метилацетат	1,0 ± 0,2	4,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	менее 0,5	менее 0,5	9,0 ± 1,0	12,0 ± 2,0	0,7 ± 0,1	1,0 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,1	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0
Этилацетат	55,0 ± 7,0	307,0 ± 46,0	43,0 ± 6,0	13,0 ± 2,0	36,0 ± 5,0	23,0 ± 14,0	20,0 ± 3,0	183,0 ± 27,0	29,0 ± 4,0	18,0 ± 3,0	15,0 ± 2,0	20,0 ± 3,0	20,0 ± 3,0
Этиллактат	28,0 ± 3,0	19,0 ± 3,0	23,0 ± 3,0	14,0 ± 2,0	22,0 ± 3,0	20,0 ± 13,0	21,0 ± 3,0	15,0 ± 2,0	6,0 ± 1,0	13,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	17,0 ± 3,0	6,0 ± 1,0
Этилоктаноат	менее 0,5	менее 0,5	1,0 ± 0,2	2,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	1,0 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	2,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	менее 0,5	4,0 ± 1,0
Этилдеcanoат	менее 0,5	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	менее 0,5	менее 0,5	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	менее 0,5	менее 0,5
Этиллаурат	менее 0,5	4,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	5,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	менее 0,5
Высшие спирты													
2-пропанол	менее 0,5	4,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	9,0 ± 1,0	1,0 ± 0,2	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0
1-пропанол	67,0 ± 8,0	42,0 ± 6,0	36,0 ± 5,0	24,0 ± 4,0	40,0 ± 16,0	50,0 ± 7,0	49,0 ± 7,0	35,0 ± 5,0	50,0 ± 7,0	44,0 ± 7,0	30,0 ± 4,0	33,0 ± 5,0	35,0 ± 5,0
Изобутанол	43,0 ± 5,0	37,0 ± 6,0	46,0 ± 7,0	29,0 ± 4,0	49,0 ± 7,0	45,0 ± 7,0	57,0 ± 9,0	65,0 ± 10,0	61,0 ± 9,0	50,0 ± 7,0	58,0 ± 9,0	60,0 ± 9,0	63,0 ± 10,0
1-бутанол	22,0 ± 3,0	20,0 ± 3,0	22,0 ± 3,0	15,0 ± 2,0	23,0 ± 3,0	23,0 ± 4,0	23,0 ± 3,0	19,0 ± 3,0	23,0 ± 3,0	24,0 ± 4,0	21,0 ± 3,0	23,0 ± 3,0	21,0 ± 3,0
Изоамилол	218,0 ± 26,0	219,0 ± 33,0	238,0 ± 36,0	128,0 ± 19,0	216,0 ± 32,0	212,0 ± 32,0	241,0 ± 36,0	237,0 ± 36,0	252,0 ± 38,0	231,0 ± 35,0	200,0 ± 30,0	178,0 ± 27,0	174,0 ± 26,0
1-пентанол	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	менее 0,5	0,5 ± 0,1	менее 0,5	0,5 ± 0,1	менее 0,5	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,4 ± 0,1
Гексанол	2,0 ± 1,0	48,0 ± 7,0	24,0 ± 4,0	9,0 ± 1,0	10,0 ± 2,0	6,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0	19,0 ± 3,0	15,0 ± 2,0	7,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0
Ароматические спирты													
Фенилэтанол	12,0 ± 2,0	16,0 ± 3,0	23,0 ± 3,0	18,0 ± 3,0	21,0 ± 3,0	16,0 ± 3,0	20,0 ± 3,0	31,0 ± 5,0	20,0 ± 3,0	16,0 ± 3,0	14,0 ± 3,0	14,0 ± 3,0	14,0 ± 3,0
Летучие кислоты													
Уксусная кислота	120,0 ± 16,0	218,0 ± 33,0	92,0 ± 14,0	136,0 ± 20,0	239,0 ± 36,0	224,0 ± 34,0	204,0 ± 31,0	224,0 ± 34,0	129,0 ± 19,0	117,0 ± 18,0	236,0 ± 35,0	252,0 ± 38,0	81,0 ± 12,0
Пропионовая кислота	45,0 ± 5,0	44,0 ± 7,0	47,0 ± 7,0	57,0 ± 9,0	89,0 ± 13,0	104,0 ± 16,0	45,0 ± 7,0	34,0 ± 5,0	37,0 ± 6,0	51,0 ± 8,0	54,0 ± 8,0	58,0 ± 9,0	34,0 ± 5,0
Изомасляная кислота	7,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0	5,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0	9,0 ± 1,0	11,0 ± 2,0	13,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	1,0 ± 0,2	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	1,0 ± 0,2
Масляная кислота	5,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0	9,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	8,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0
Изовалериановая кислота	6,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	9,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0	1,0 ± 1,0
Валериановая кислота	2,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	5,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0	6,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	4,0 ± 1,0	2,0 ± 1,0
Альдегиды													
Фурфурол	3,0 ± 1,0	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	2,0 ± 1,0	3,0 ± 1,0	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	3,0 ± 1,0	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1

в образцах 5–8, изготовленных с применением *T. delbrueckii* (4–8 мг/дм³), тогда как в сериях образцов с *L. thermotolerans* и *M. pulcherrima* его содержание было значительно ниже.

Эфиры представляют собой важнейшую группу ароматообразующих соединений, ответственную за фруктовые, цветочные и ягодные тона в сидре. Наиболее значимые различия выявлены в концентрациях этилацетата, который при высоком содержании вносит в аромат сидра тона растворителя и клея, а в умеренных – фруктовые оттенки. В образце 4 (монокультура *L. thermotolerans*) его содержание составило 36 мг/дм³, что ниже, чем в контрольном образце (55 мг/дм³). Однако в образце 1 (с внесением *S. cerevisiae* через 24 ч) и образце 7 (*T. delbrueckii* с внесением *S. cerevisiae* через 72 ч) содержание этилацетата было более чем в 4 раза выше контроля. Выявлена умеренная положительная корреляция между содержанием этилацетата и уксусной кислоты ($r = 0,34$ по Пирсону, шкала Чеддока), что указывает на активацию метаболического пути ацетил-КоА.

Этиллактат, образующийся при взаимодействии этанола с молочной кислотой и определяющий присутствие сливочных и карамельных тонов в аромате, идентифицирован во всех образцах на уровне 6–28 мг/дм³, причем максимальные значения отмечены в контроле и в образцах 1–4 (с *L. thermotolerans*), что коррелирует с массовой концентрацией молочной кислоты в этих образцах. Этиловые эфиры жирных кислот (этилоктаноат, этилдеcanoат, этиллаурат), также определяющие присутствие фруктовых и мыльных (в высоких концентрациях) тонов, обнаружены в следовых количествах.

Наибольшие концентрации фенилэтанола, придающего цветочные ароматы, идентифицированы в образ-

цах 1–4 (*L. thermotolerans* – 16–23 мг/дм³) и образцах 5–8 (*T. delbrueckii* – 16–31 мг/дм³), что превышало его содержание в контрольном образце (12 мг/дм³).

Органолептическая оценка является важным критерием качества готовой продукции. При анализе внешнего вида потребитель в первую очередь обращает внимание на цвет напитка и формирует первое впечатление о нем. Кроме того, цвет сидра может служить показателем степени протекания окислительных процессов (рис. 5). Проведена оценка цветовых характеристик готовых образцов сидров по оптической плотности при длинах волн 420 (желтый), 520 (красный) и 620 (синий) нм, а также по оптической плотности при длинах волн 450, 570 и 630 нм. На основании полученных значений рассчитаны интегральные показатели: интенсивность цвета (I), выраженная как сумма поглощений длин волн ($I = D_{420} + D_{520} + D_{620}$), и оттенок цвета (N), рассчитанный как соотношение поглощения при длинах волн 420 и 520 нм ($N = D_{420} : D_{520}$). Полученные данные представлены в таблице 3.

Контрольный образец (К), сброженный *S. cerevisiae*, характеризовался умеренной интенсивностью цвета ($I = 0,765$) и выраженным преобладанием желтых тонов ($N = 2,93$), что значительно выше порогового значения 2,50, указывающего на доминирование желто-золотистой гаммы.

В образцах 4, 8, 12, изготовленных с применением монокультур дрожжей *non-Saccharomyces*, выявлены различия в цветовых характеристиках в зависимости от вида дрожжей (рис. 5)

Наиболее интенсивным цветом обладал образец 9 (*M. pulcherrima* с внесением *S. cerevisiae* через 24 ч) – $I = 1,202$, что в 1,6 раз выше аналогичного значения контроля, при тоне оттенка 2,60 – в пределах желтой

Таблица 3. Оптическая плотность и интегральные цветовые показатели в экспериментальных образцах сидра ($p < 0,05$)

Table 3. Optical density and integral color parameters in experimental cider samples ($p < 0.05$)

Вариант опыта	Оптическая плотность при длине волны, нм			Интегральные цветовые показатели	
	D420	D520	D620	I	N
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (контроль)	0,489	0,167	0,109	0,765	2,930
<i>Lachancea thermotolerans</i>					
Образец 1	0,223	0,072	0,045	0,340	3,100
Образец 2	0,367	0,114	0,073	0,554	3,220
Образец 3	0,502	0,216	0,158	0,876	2,320
Образец 4	0,433	0,145	0,087	0,665	2,990
<i>Torulaspora delbrueckii</i>					
Образец 5	0,574	0,245	0,163	0,982	2,340
Образец 6	0,987	0,470	0,305	1,762	2,100
Образец 7	0,531	0,198	0,127	0,856	2,680
Образец 8	0,629	0,209	0,130	0,968	3,010
<i>Metschnikowia pulcherrima</i>					
Образец 9	0,747	0,287	0,168	1,202	2,600
Образец 10	0,660	0,261	0,164	1,085	2,530
Образец 11	0,600	0,254	0,170	1,024	2,360
Образец 12	0,623	0,241	0,153	1,017	2,580

доминанты, но с заметным сдвигом в сторону красной компоненты по сравнению с контролем. Образец, изготовленный с применением монокультуры *T. delbrueckii*, имел более высокое значение интенсивности ($I = 0,968$), чем контрольный, при тоне 3,01 – наибольшем значении среди образцов с монокультурами дрожжей *pop-Saccharomyces*, что указывает на чисто желтый оттенок. Образец 4 (монокультура *L. thermotolerans*), напротив, характеризовался наименьшей интенсивностью цвета ($I = 0,665$, ниже контроля) с наибольшим значением тона – 2,99.

В результате изучения цветовых характеристик опытных образцов 1–3, изготовленных с применением *L. thermotolerans* и *S. cerevisiae*, установлена зависимость интенсивности цвета от времени внесения *S. cerevisiae* в бродящее яблочное сусло при комбинированном брожении.

Наименьшее значение интенсивности цвета отмечено в образце 1 ($I = 0,340$) – более чем вдвое ниже контрольного. Оттенок цвета (3,10) указывает на чистый желтый цвет без красноватых оттенков. Оптическая плотность достигала наименьших значений (0,489; 0,167; 0,109) при разных длинах волны, что свидетельствует об исключительно светлом (телесном) цвете данного образца сидра. С увеличением времени внесения *S. cerevisiae* до 48 ч (образец 2) интенсивность цвета возрастала ($I = 0,554$), значение оттенка цвета оставалось высоким (3,22 – максимальное значение в выборке). В образце 3 (внесение *S. cerevisiae* через 72 ч) значение интенсивности цвета было выше ($I = 0,876$), чем в образце 4 (монокультура *L. thermotolerans*, $I = 0,665$), приближаясь к контрольному уровню, однако оттенок цвета снижался до 2,32 – впервые в этой серии опускался ниже 2,50, что указывает на появление выраженной красной компоненты.

Таким образом, внесение дрожжей *S. cerevisiae* через 24 ч приводит к формированию более светлого напитка, который характеризуется чистым желтым тоном, тогда как увеличение интервала внесения

в образцы до 72 ч способствует проявлению красноватого оттенка готового напитка.

Среди образцов 5–7, изготовленных с применением *T. delbrueckii*, отмечен образец 6 (с внесением в бродящее яблочное сусло *S. cerevisiae* через 48 ч). Значение интенсивности цвета ($I = 1,762$) в 2,3 раза превышало значения контроля и в 1,8 раза – образца с монокультурой *T. delbrueckii*, при этом значение оттенка цвета (2,10) было наименьшим в данной группе, что указывает на доминирование красной компоненты в оттенке. Цвет данного образца характеризовался темно-янтарным или коричневато-красным оттенком, что, вероятно, связано с метаболическим взаимодействием двух видов дрожжей, которое способствовало накоплению продуктов конденсации полифенолов.

Образцы 9–11 (изготовленные с *M. pulcherrima*) имели интенсивность цвета несколько ниже (1,017–1,085), чем образец с монокультурой *M. pulcherrima* (1,202), но существенно выше контроля (0,765). Наименьшее значение интенсивности цвета в серии зафиксировано в образце 11 (с внесением *S. cerevisiae* через 72 ч; 1,017), наибольшее – в образце 9 (с внесением *S. cerevisiae* через 24 ч; 1,085). Оттенок цвета варьировал в диапазоне от 2,36 до 2,58, причем наименьшее значение (наибольший вклад красной компоненты) отмечено в образце 10 (внесение через 48 ч; 2,36).

Время внесения дрожжей *S. cerevisiae* в бродящее сусло при смешанном брожении при последовательной инокуляции влияет как на интенсивность, так и на оттенок цвета готового сидра.

Результаты органолептического анализа, проведенного дегустационной комиссией по 10-балльной шкале с оценкой внешнего вида, аромата и вкуса, представлены в таблице 4. Дегустационная оценка контрольного образца, полученного с применением дрожжей *S. cerevisiae*, составила 7,6 баллов.

Наивысшую оценку дегустаторов – 7,7 балла – получил образец 10 (*M. pulcherrima* с внесением *S. cerevisiae* через 48 ч). Данный образец характеризовался



Рисунок 5. Внешний вид экспериментальных образцов сидра: 1 – образец 1; 2 – образец 2; 3 – образец 3; 4 – образец 4; 5 – образец 5; 6 – образец 6; 7 – образец 7; 8 – образец 8; 9 – образец 9; 10 – образец 10; 11 – образец 11; 12 – образец 12; К – контрольный образец

Figure 5. Appearance of experimental cider samples: 1 – sample 1; 2 – sample 2; 3 – sample 3; 4 – sample 4; 5 – sample 5; 6 – sample 6; 7 – sample 7; 8 – sample 8; 9 – sample 9; 10 – sample 10; 11 – sample 11; 12 – sample 12; and K – control

Таблица 4. Органолептическая оценка готовых сидров ($p < 0,05$)Table 4. Sensory profiles of finished ciders ($p < 0.05$)

Вариант опыта	Внешний вид	Аромат	Вкус	Дегустационный балл
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (контроль)	Прозрачный, светло-соломенный цвет с золотистым оттенком	Фруктовый с оттенками яблока и груши	Чистый, с продолжительным послевкусием	7,6
<i>Lachancea thermotolerans</i>				
Образец 1	Прозрачный, светло-соломенный цвет с зеленым оттенком	Фруктовый с растительными тонами	Округлый, гармоничный, экстрактивный	7,5
Образец 2	Прозрачный, светло-соломенный цвет с зеленым оттенком	Чистый, тонкий с фруктовыми и растительными оттенками, тонами подлеска	Чистый, гармоничный, умеренно свежий	7,5
Образец 3	Прозрачный, светло-соломенный цвет с зеленым оттенком	Чистый, сложный с фруктовыми и сливочными тонами, оттенками свежего и печеного яблока	Чистый, гармоничный с легкой горчинкой	7,6
Образец 4	Непрозрачный с легкой опалесценцией, соломенный цвет с зеленым оттенком	Фруктовый с растительными тонами	Чистый, простой, экстрактивный	7,4
<i>Torulaspora delbrueckii</i>				
Образец 5	Прозрачный, светло-соломенный цвет с зеленым оттенком	Фруктовый с растительными тонами, оттенками алычи и скотного двора	Экстрактивный, свежий с растительными тонами, оттенками кожи	7,3
Образец 6	Прозрачный, соломенный цвет с янтарным оттенком	Чистый, сложный, фруктовый с цветочными и сливочными тонами, оттенками подлеска и сухофруктов	Чистый, округлый, простой	7,5
Образец 7	Прозрачный, соломенный цвет с зеленым оттенком	Фруктовый с тонами моченых фруктов	Чистый, резкий	7,3
Образец 8	Непрозрачный с легкой опалесценцией, соломенный цвет с зеленым оттенком	Чистый, тонкий, фруктовый с оттенками цветущих деревьев и душистого перца	Чистый, умеренно свежий, простой с легкой горчинкой	7,5
<i>Metschnikowia pulcherrima</i>				
Образец 9	Прозрачный, соломенный цвет с зеленым оттенком	Чистый, фруктовый с растительными оттенками, легкими тонами печеного яблока и грибов	Чистый, округлый, фруктовый	7,6
Образец 10	Прозрачный, соломенный цвет с зеленым оттенком	Чистый, сложный, фруктовый с растительными, сливочными, пряными и сухофруктовыми оттенками	Чистый, полный, округлый, гармоничный, глицеринистый	7,7
Образец 11	Прозрачный, соломенный цвет с зеленым оттенком	Чистый, фруктовый с легкими сливочными и йогуртовыми оттенками	Чистый, простой	7,4
Образец 12	Прозрачный, лимонный цвет	Чистый, фруктовый с растительными оттенками, тонами свежего яблока и белых ягод	Чистый, полный, гармоничный, умеренно свежий	7,6

сложным ярким ароматом с фруктовыми, растительными, сливочными, пряными и сухофруктовыми оттенками, а также гармоничным, полным и округлым вкусом, что обусловлено присутствием сложных эфиров (этилацетата, метилацетата, этиллактата, этилоктаноата, этилдеcanoата и этиллаурата), оптимальным содержанием высших спиртов и молочной кислоты. Чуть ниже (7,6 балла) оценены образцы 9 и 12 (также с *M. pulcherrima*) и образец 3 (с *L. thermotolerans*).

В группе образцов, полученных с применением *L. thermotolerans* (1–3), дегустационная оценка повышалась с увеличением времени внесения в яблочное сусло *S. cerevisiae*. В аромате данных образцов присутствовали фруктовые, растительные тона, оттенки поддеска, свежего и печеного яблока, а также чистый гармоничный вкус. Наличие сливочных оттенков в аромате образца 3 коррелирует с накоплением молочной кислоты и, возможно, масляной и изовалериановой летучих кислот. Образец, изготовленный с применением монокультуры *L. thermotolerans*, получил более низкую оценку в данной группе (7,4 балла) и характеризовался простым, но экстрактивным вкусом.

В группе образцов с *T. delbrueckii* отмечены образцы 6 и 8 (по 7,5 балла). Образец 6 (смешанное брожение с внесением *S. cerevisiae* через 48 ч) обладал чистым сложным ароматом с фруктовыми, цветочными и сливочными тонами, оттенками поддеска и сухофруктов, а также чистым округлым вкусом. Содержание метилацетата, этилацетата и этиллактата в данном образце составляло 12; 20 и 21 мг/дм³ соответственно, установлено наибольшее значение интенсивности цвета ($I = 1,762$). Образец 8 (монокультура *T. delbrueckii*) характеризовался чистым тонким ароматом с оттенками цветущих деревьев и душистого перца, умеренно свежим вкусом с легкой приятной горчинкой.

Выводы

В результате изучения динамики брожения яблочного сусла, сбраживаемого монокультурами дрожжей non-*Saccharomyces*, установлено, что процесс брожения под действием их ферментных систем протекает медленнее (в среднем на 5 суток), чем под действием *Saccharomyces cerevisiae*. В сидрах, изготовленных с применением non-*Saccharomyces*, массовая концентрация титруемых кислот и сахаров была ниже на 14–22

и 31–39 % соответственно, а остаточного экстракта – выше на 33–46 % по сравнению с сидром, изготовленным с применением *S. cerevisiae*. Последовательная инокуляция non-*Saccharomyces* и *S. cerevisiae* через 72 ч позволила получить сидры с меньшим содержанием спирта (на 2–21 % в зависимости от рода дрожжей). Время внесения дрожжей *S. cerevisiae* в бродающее сусло при смешанном брожении и последовательной инокуляции влияет как на интенсивность, так и на оттенок цвета готового сидра. На основании совокупности изученных показателей определены оптимальные сроки внесения *S. cerevisiae*: для *Lachancea thermotolerans* – не ранее 3-х суток (для реализации метаболического потенциала, который направлен на преобразование яблочной кислоты в молочную); для *Metschnikowia pulcherrima* – через 24 ч; для *Torulaspora delbrueckii* – через 48 ч.

Критерии авторства

А. А. Ширшова – написание и редактирование статьи, подготовка статьи к публикации. А. А. Храпов, Н. М. Агеева – разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация литературных данных. Е. А. Аль-Накиб, Е. В. Глоба, И. В. Сердюков, А. Р. Изофатов – проведение аналитических испытаний, сбор и анализ экспериментальных данных. И. В. Сердюков, А. Р. Изофатов – обработка рисунков и таблиц.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.A. Shirshova wrote and proofread the article. A.A. Khrapov and N.M. Ageyeva developed the concept, designed the research, and wrote the review. E.A. Al-Nakib, E.V. Globa, I.V. Serdyukov, and A.R. Izofatov conducted the analytical tests and analyzed the experimental data. I.V. Serdyukov and A.R. Izofatov illustrated the obtained results.

Conflict of interest

The authors reported no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Kovács M, Pomázi A, Taczman-Brückner A, Kiskó G, Dobó V, *et al.* Detection and identification of food-borne yeasts: An overview of the relevant methods and their evolution. *Microorganisms*. 2025;13:981. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13050981>
2. Агеева Н. М., Ширшова А. А., Ульяновская Е. В., Щеглов С. Н., Храпов А. А. и др. Сравнительный анализ биогенных аминов в винах и сидрах. *Техника и технология пищевых производств*. 2025. Т. 55. № 2. С. 284–299. [Ageyeva NM, Shirshova AA, Ulyanovskaya EV, Shcheglov SN, Khrapov AA, *et al.* Comparative analysis of biogenic amines in wines and ciders. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025;55(2):284–299. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2569>

3. Han Y, Du J. A comparative study of the effect of bacteria and yeasts communities on inoculated and spontaneously fermented apple cider. *Food Microbiology*. 2023;111:104195. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104195>
4. Wang N, Zhu Y, Zhu R, Xiao Y, Qiu J, et al. Revealing the co-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* on the quality of cider based on the metabolomic and transcriptomic analysis. *LWT*. 2022;168:113943. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113943>
5. Chen Y, Lei X, Sun L, Gao B, An P, et al. Exploring the potentials of indigenous *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kudriavzevii* for enhancing flavour and aromatic characteristics in apricot wines. *Food Chemistry: X*. 2025;25:102178. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102178>
6. Пермякова Л. В., Рябоконева Л. А., Сергеева И. Ю., Лашицкий С. С., Ли Я. и др. Продукты углекислотной экстракции как биоактиваторы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 3. С. 607–623. [Permyakova LV, Ryabokoneva LA, Sergeeva IYu, Lashitskiy SS, Li Y, et al. Carbon dioxide extraction products as biostimulators for yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025;55(3): 607–623. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2592>
7. Li W, Zhao Y, Liu C, Li S, Yue T, et al. Effects of secondary fermentation of four in-bottle *Saccharomyces cerevisiae* strains on sparkling cider sensory quality. *Food Bioscience*. 2022;48:101731. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101731>
8. Sonets IV, Solovyev MA, Ivanova VA, Vasiluev PA, Kachalkin AV, et al. Hi-C metagenomics facilitate comparative genome analysis of bacteria and yeast from spontaneous beer and cider. *Food Microbiology*. 2024;121:104520. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104520>
9. Zhou J, Wang X, Cao Y, Cheng Y, Li W, et al. Diversity and dynamics of microbial communities during spontaneous fermentation of different cultivars of apples from China and their relationship with the volatile components in the cider. *Food Research International*. 2025;206:116029. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116029>
10. Yuan X, Wang T, Sun L, Qiao Z, Pan H, et al. Recent advances of fermented fruits: A review on strains, fermentation strategies, and functional activities. *Food Chemistry: X*. 2024;22:101482. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101482>
11. Hou C-Y, Huang P-H, Lai Y-T, Lin S-P, Liou B-K, et al. Screening and identification of yeasts from fruits and their coculture for cider production. *Fermentation*. 2022;8(1):1. <https://doi.org/10.3390/fermentation8010001>
12. Серба Е. М., Юраскина Т. В., Римарева Л. В., Таджибова П. Ю., Соколова Е. Н. и др. Микробная биомасса – биоресурс для получения функциональных пищевых ингредиентов (обзор). Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 426–444. [Serba EM, Yuraskina TV, Rimareva LV, Tadzibova PYu, Sokolova EN, et al. Microbial biomass as a bioresource of functional food ingredients: A review. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(3):426–444. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2446>
13. Liu L, Gong T, Hu CY, Deng H, Meng YH. ZNF1 up-regulation improves aroma profile by activating carbohydrate metabolism-associated pathways in *Saccharomyces cerevisiae* WFC-SC-071. *Food Bioscience*. 2023;56:103337. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103337>
14. Zhang Y, Zhang L, Fan W, Wang F, Shen Y, et al. Machine learning-assisted unveiling of aroma modulation by inorganic nitrogen during cider fermentation by *Pichia kluyveri*. *Food Research International*. 2026;227:118255. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.118255>
15. Lei X, Chen Y, Gao B, Zhang T, Dang G, et al. Fermentative performance of indigenous *Lachancea thermotolerans* in high-sugar and low-acid wine production: Insights from volatomes and metabolomics. *Food Research International*. 2025;211:116411. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116411>
16. Fejzullahu F. Controlled fermentation strategies to enhance the aroma profile of fruit spirits. PhD diss. Magyar: Agrár- és Élettudományi Egyetem. 2024. <https://doi.org/10.54598/005180>
17. Renault P, Coulon J, Revel G, Barbe J-Ch, Bely M. Increase of fruity aroma during mixed *T. delbrueckii*/*S. cerevisiae* wine fermentation is linked to specific esters enhancement. *International Journal of Food Microbiology*. 2015;207:40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.037>
18. Zeng C, Mu Y, Yuan J, Zhang H, Song J, et al. Effects of *Torulaspora delbrueckii* and *Saccharomyces cerevisiae* co-fermentation on the physicochemical and flavor compounds of Huanian apple cider. *Molecules*. 2024;29(8):1750. <https://doi.org/10.3390/molecules29081750>
19. Wu Y, Li Y, Liang H, Zhang S, Lin X, et al. Enhancing cider quality through co-fermentation with acid protease and esterase-producing *Metschnikowia* species and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2024;105(2):1003–1011. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13891>
20. Hranilovic A, Gambetta JM, Jeffery DW, Grbin PR, Jiranek V. Lower-alcohol wines produced by *Metschnikowia pulcherrima* and *Saccharomyces cerevisiae* co-fermentations: The effect of sequential inoculation timing. *International Journal of Food Microbiology*. 2020;329:108651. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108651>
21. Moran D, Fleming M, Daly E, Gaughan N, Zabetakis I, et al. Anti-Platelet properties of apple must/skin yeasts and of their fermented apple cider products. *Beverages*. 2021;7(3):54. <https://doi.org/10.3390/beverages7030054>
22. Агеева Н. М., Ширшова А. А., Храпов А. А., Ульяновская Е. В., Чернуцкая Е. А. и др. Ароматобразующие компоненты сидров, произведенных из различных сортов яблони. Хранение и переработка сельхозсырья. 2024. Т. 32.

№ 2. С. 67–78. [Ageyeva NM, Shirshova AA, Khrapov AA, Ulyanovskaya EV, Chernutskaya EA, *et al.* Aroma-forming components of ciders produced from different apple varieties. Storage and Processing of Farm Products. 2024;32(2):67–78. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.514>

Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Ширшова Анастасия Александровна / Anastasia A. Shirshova ORCID 0000-0003-1428-5935; eLIBRARY SPIN 6175-5869

Храпов Антон Александрович / Anton A. Khrapov ORCID 0000-0001-6436-1970; eLIBRARY SPIN 6182-5762

Агеева Наталья Михайловна / Natalia M. Ageyeva ORCID 0000-0002-9165-6763; eLIBRARY SPIN 3807-3865

Аль-Накиб Екатерина Аделевна / Ekaterina A. Al-Nakib ORCID 0000-0003-0855-1176; eLIBRARY SPIN 7630-6098

Глоба Екатерина Владимировна / Ekaterina V. Globa ORCID 0000-0002-6890-3076; eLIBRARY SPIN 8576-4008

Сердюков Игорь Валерьевич / Igor V. Serdyukov ORCID 0009-0002-8956-2431

Изофатов Андрей Романович / Andrey R. Izofatov ORCID 0009-0003-3966-1834