

Ароматобразующие компоненты сидров, произведенных из различных сортов яблони

Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия,
г. Краснодар, Российская Федерация

Н. М. Агеева, А. А. Ширшова, А. А. Храпов, Е. В. Ульяновская,
Е. А. Чернуцкая, Ю. Ф. Якуба

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Агеева Наталья Михайловна
E-mail: ageyeva@inbox.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Агеева, Н. М., Ширшова, А. А.,
Храпов, А. А., Ульяновская, Е. В.,
Чернуцкая, Е. А., & Якуба, Ю. Ф. (2024).
Ароматобразующие компоненты
сидров, произведенных из различных
сортов яблони. *Хранение и переработ-
ка сельхозсырья*, 32(2), 67–78.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.514>

ПОСТУПИЛА: 06.09.2023

ДОРАБОТАНА: 10.06.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено при
финансовой поддержке Кубанского
научного фонда в рамках научного
проекта № МФИ-20.1/100.

АННОТАЦИЯ

Введение: Аромат напитков, полученных путем спиртового брожения, обуславливается наличием ароматобразующих компонентов, присутствие которых способствует появлению тех или иных тонов и оттенков в аромате. В некоторых странах, например Испании, отдельные ароматобразующие компоненты используют для сортовой и географической принадлежности напитков, в том числе из специальных сидровых сортов яблони. Влияние генетических особенностей сортов яблони, произрастающих в Краснодарском крае, на ароматический профиль сидра ранее не изучалось.

Материалы и методы: Изучен ароматический профиль 30 образцов сидров, в том числе приготовленных в лабораторных условиях из плодов яблони российской и зарубежной селекции. Исследование летучих компонентов сидров проводили методом газовой хроматографии. Органолептические показатели сидров оценивала дегустационная комиссия НЦ «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ по показателям внешний вид, цвет, аромат и вкус.

Результаты: Состав ароматобразующих компонентов сидров представлен летучими кислотами, высшими спиртами, сложными эфирами, альдегидами, а также ацетальдами, гликолями, метанолом, глицерином и др. Установлены диапазоны варьирования основных групп ароматобразующих компонентов сидров, произведенных из различных сортов яблони, а также производственных образцов, в том числе изготовленных из восстановленного яблочного сока. По всем изученным группам летучих веществ сортовые сидры, приготовленные в лабораторных условиях, имели более высокие концентрации ароматических компонентов и глицерина, чем производственные образцы.

Выводы: Показано, что сортовые особенности плодов яблони оказали значительное влияние на компонентный состав ароматических веществ и в последующем на органолептические характеристики яблочного сидра. Выделились сорта яблони различного генетического, эколого-географического происхождения (Багрянец Кубани, Прикубанское, Ренет Платона, Персиковое, Орфей, Марго, Флорина, Интерпрайс, Амулет), перспективные для производства сидров в Краснодарском крае.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сорта яблони, сидры, ароматобразующие компоненты, глицерин, органолептические показатели



Aroma-Forming Components of Ciders Produced from Different Apple Varieties

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russian Federation

Natalia M. Ageyeva, Anastasia A. Shirshova, Anton A. Khrapov, Elena V. Ulyanovskaya, Evgenia A. Chernutskaya, Yury F. Yakuba

CORRESPONDENCE:

Ageyeva Natalia Mikhailovna
E-mail: ageyeva@inbox.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Ageyeva, N. M., Shirshova, A. A., Khrapov, A. A., Ulyanovskaya, E. V., Chernutskaya, E. A., & Yakuba, Yu. F. (2024). Aroma-forming components of ciders produced from different apple varieties. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 67–78. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.514>

RECEIVED: 06.09.2023

REVISED: 10.06.2024

ACCEPTED: 15.06.2024

PUBLISHED: 30.06.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING:

The research is carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation in the framework of the scientific project № MFI-20.1/100.

ABSTRACT

Introduction: The aroma of drinks obtained by alcoholic fermentation is determined by the presence of aroma-forming components, the presence of which contributes to the appearance of certain tones and hints of aroma. In some countries, individual aroma-forming components are used to determine the varietal and geographical origin of drinks. The influence of apple varieties growing in the Krasnodar region on the aroma profile of cider has not been studied.

Materials and Methods: The aroma profile of 30 ciders was studied, including those prepared in the laboratory from apples of Russian and foreign selection. The volatile components of the samples were studied using gas chromatography. The organoleptic characteristics of the ciders were assessed by the tasting commission of the Scientific Center «Winemaking» at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking in terms of appearance, color, aroma and taste.

Results: The composition of the aroma-forming components of ciders is represented by volatile acids, higher alcohols, esters, aldehydes, as well as acetals, glycols, methanol and glycerol. Variation ranges for the main groups of aroma-forming components in ciders produced from various apple varieties, as well as production samples, including those made from reconstituted apple juice, have been established. For all groups of volatile compounds studied, varietal ciders prepared in laboratory conditions had higher concentrations of aromatic components and glycerol than production samples.

Conclusion: The varietal characteristics of apple fruits had a significant impact on the composition of aromatic substances and subsequently on the organoleptic characteristics of apple cider. The apple varieties of different genetic and ecological-geographical origin (Bagryanets Kubani, Prikubanskoe, Renet Platona, Persikovoe, Orfey, Margo, Florina, Enterprise, Amulet) were identified. They are considered as promising for cider production in Krasnodar Krai.

KEYWORDS

apple varieties; ciders; aroma-forming components; glycerin; organoleptic characteristics



ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших органолептических показателей любого напитка является его аромат (He, 2023) формируемый совокупностью различных ароматобразующих компонентов — сложных эфиров, альдегидов, высших спиртов, летучих кислот, терпеновых соединений и др. (Liu, 2023). Как и в случае с виноградными винами, аромат сидров может быть первичным, т.е. характерным для аромата определенного сорта яблони — исходного сырья, так и вторичным, обуславливаемым компонентами, образующимися при спиртовом брожении сахаров яблочного сока под действием ферментов различных штаммов дрожжей (Zhang, 2022; Егорова, 2023). В процессе брожения дрожжи производят два основных типа ароматических соединений, которые оказывают значительное влияние на ароматический профиль всех напитков: ацетатные эфиры и этиловые эфиры.

Среди ацетатных эфиров, наиболее известными и распространенными являются этилацетат (тона абрикоса, груши, яблока) и изоамилацетат (тона банана, сухофруктов, карамели) (Liu, 2022; Guichard, 2019). Что же касается этиловых эфиров, наиболее распространенными среди них являются этиловые эфиры с линейной цепью от 4 до 10 атомов углерода (C4-бутаноат, C6-гексаноат, C8-октаноат и C10-деcanoат), то они придают напиткам брожения более дискретные, но более сложные цветочные и фруктовые оттенки, а пропионовые эфиры (пропилпропионат) участвуют в формировании тона зеленого яблока. Огромные различия в концентрации этих соединений могут кардинально повлиять на восприятие аромата и вкуса напитков, в том числе и сидров (Han, 2023; He, 2022; Riekstina-Dolge, 2012).

Высшие спирты оказывают различное влияние на органолептические характеристики готовых напитков. Их образование происходит в процессе спиртового брожения яблочного сусла из соответствующих аминокислот и зависит в основном от условий брожения, а также биохимического состава сусла (He, 2023). Так присутствие пропанола и гептанола обуславливает цитрусовые тона; изобутанола — цитронные и цветочные оттенки; бутанола и октанола — цитрусовые, ореховые, жженные; гексанола — цветочно-фруктовые; изоамилового спирта в высокой концентрации — сивушные и синтетические тона. Перечисленные высшие спирты

образуются при сбраживании сусла через α -кетопрооновую кислоту из лейцина под действием ферментов.

Рядом авторов показана существенная зависимость качественного и количественного состава ароматобразующего комплекса яблочных сидров от сортовых особенностей яблок (Ruppert, 2021; Spaho, 2021; Ширшова, 2020). По данным Почицкая (2019) и Nikfardjam (2011) основную часть летучих соединений свежих яблок составляют сложные эфиры и альдегиды (гексилгексаноат, бутилбутаноат, бутилгексаноат, гексилбутаноат, гексилацетат, 2-метилгексилбутаноат, изо-амилбутаноат, этилбутаноат и изоамилацетат (в порядке убывания)). Показана зависимость относительного содержания этих компонентов от сорта яблони. Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Комарова Н.В. указывают, что в ряде одних сортов яблони, произрастающих в Республике Беларусь, превалирует гексилацетат, в других — бутилбутаноат, гексилбутаноат, придавая свежим плодам различные оттенки аромата. Ji (2023) и Antón (2014) обосновали, что такие компоненты, как амиловые спирты, 2-фенилэтанол, этиловые эфиры, 2-метилбутират, гексаноат и октаноат, гексановая и октановая кислоты, 2-фенилэтилацетат, 4-этилгваякол и 4-этилфенол, можно рассматривать как часть структуры аромата сидра, связанную с первичными ароматами яблок (Xu, 2007). Medina (2020) идентифицировал в сидрах 142 летучих компонента, формирующих аромат яблок и сидров, кроме того, были выделены вещества, свойственные только яблокам определенных сортов. При этом доказано, что часть компонентов может быть использована для сортовой принадлежности и даже географической идентификации сидра (Sousa, 2020).

Краснодарский край является одним из ведущих садоводческих регионов юга России, в котором осуществляется не только выращивание яблок, но и их переработка. В 3–5 лет активно развивается производство традиционных сидров (из свежих яблок), поиск новых сортов яблок, позволяющих производить сидры, отличающиеся органолептическими показателями. В связи с этим, исследование ароматобразующих компонентов сидров, формирующих сенсорный профиль напитка, является актуальным и имеет большое прикладное значение для выбора и обоснования сортового состава купажей сидров из яблок, произрастающих на территории Краснодарского края.

Цель текущего исследования — установить компонентный состав (ароматический профиль) и концентрации ароматобразующих веществ сортов сидров, произведенных из 30 различных сортов яблок российской и зарубежной селекции, выращенных в условиях Краснодарского края для выявления перспективных сортов для производства высококачественных сидров с оригинальными органолептическими характеристиками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в НЦ «Виноделие» и центре коллективного пользования технологичным оборудованием ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Материалы

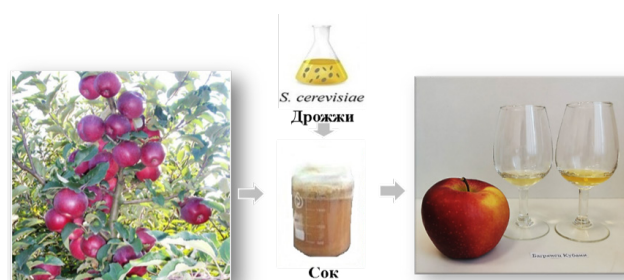
Исследованы 30 образцов сортов сидров, приготовленных из плодов яблони (далее яблок) отечественной и зарубежной селекции, в том числе из сортов и форм селекции ФГБНУ СКФНЦСВВ (Амулет, Багрянец Кубани, Василиса, Вирджиния, Джин, Золотое летнее, Имрус, Интерпрайс, Кармен, Кетни, Либерти, Лигол, Марго, Орфей, Персиковое, Прикубанское, Ренет Платона, Союз, Флорина, Чемпион, Любимое Дутовой, Экзотика, 12/1–20–16, 12/2–21–15, 12/2–21–36, 12/3–21–6, различных сроков созревания, произрастающих в ЦКП «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур», расположенном в АО ОПХ «Центральное», г. Краснодар. Плоидность большинства сортов составляла $2n = 2x$; для сортов Союз, Экзотика и Джин — $2n = 3x$. Отбор плодов яблони, типичных по форме, окраске и степени зрелости с 3–5 деревьев каждого сорта, проводили согласно общепринятой методике сортоизучения (Программа... 1999 г.)¹ в оптимальной зрелости с разных сторон кроны дерева по отношению к сторонам света.

Для изготовления сортов сидров плоды яблони (по отдельности каждый сорт) мыли, измельчали с помощью дробилки, затем прессовали, отделяя сок (сусло свежее яблочное) от мезги с применением гидравлического пресса. Сусло свежее яблочное сбраживали в лабораторных условиях расой дрож-

жей *Fruit* (род *Saccharomyces cerevisiae*, Германия, «Ербсле Гайзенхайм») при температуре $18 \pm 1^\circ\text{C}$. Осветление сброженного яблочного сусла (сидра) происходило посредством его отстаивания с последующим отделением осадка и дальнейшей фильтрацией. Затем напитки отправляли на отдых и выдержку несколько месяцев, после чего проводили исследование ароматобразующих компонентов.

Рисунок 1

Трансформация плодов яблони в сидр



Оборудование

Дробилка-измельчитель и гидравлический пресс (ООО «Ректифай», Россия). Газовый хроматограф КристалЮкс 4000М (2023 г., Россия) с пламенно-ионизационным детектором, с уровнем флуктуационных шумов нулевого сигнала не более $2 \cdot 10^{-12}$ А, с дрейфом нулевого сигнала детектора не более $2 \cdot 10^{-12}$ А/ч, с пределом детектирования не более $2 \cdot 10^{-12}$ г*С/с.

Методы и процедура исследования

Качественный и количественный состав летучих компонентов и глицерина определяли методом газовой хроматографии путем прямого ввода пробы сидра в разделительную колонку.

Были выбраны следующие условия газохроматографического анализа: кварцевая капиллярная колонка, длиной 50 метров, внутренний диаметр 0,32 мм; неподвижная жидкая фаза — FFAP; температура инжектора хроматографа — 150°C ; температура подогрева детектора ДИП — 170°C ; входное давление на колонке 60 кПа; температура термостата колонок 50°C , изотерма 7 минут, затем программирование температуры со скоростью

¹ Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999.

5 °С/мин до 140 °С и выдержка до конца анализа; испаритель с делением потока — коэффициент деления потока — 1:33; поток газа-носителя через колонку 1,21 см³/мин; объем пробы — 1 мм³; газ-носитель — азот; расход водорода — 25 см³/мин; расход воздуха — 250 см³/мин; время анализа — 60 мин. Для количественных расчетов содержания компонентов в пробе применяли метод абсолютной калибровки.

Органолептические показатели опытных образцов сортов сидров оценивала дегустационная комиссия НЦ «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ согласно требований ГОСТ 32051–2013² по показателям внешний вид, цвет, аромат и вкус по 100 бальной шкале.

Анализ данных

Испытания образцов сидров по показателям массовой концентрации ароматобразующих компонентов осуществляли в трехкратной повторности с оценкой приемлемости результатов. Результаты выражали в виде среднеарифметических значений с абсолютной погрешностью измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием «Пакета анализа» для корреляционного анализа (CORREL) в программе Microsoft Excel 365.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в состав ароматобразующих компонентов сидров входят летучие кислоты, высшие спирты, сложные эфиры, альдегиды, а также ацетали, гликоли, метанол и глицерин (Таблица 1). По всем изученным группам ароматобразующих компонентов сорта сидры, приготовленные в лабораторных условиях, имели более высокие их концентрации и глицерина, чем производственные образцы, что можно объяснить отсутствием дополнительных технологических обработок при изготовлении лабораторных образцов сидров.

Исследование альдегидов опытных образцов сидров

Основным альдегидом в исследуемых сидрах был ацетальдегид, который является вторичным продуктом брожения. Его образование связано с интенсивностью глицеропировиноградного брожения, в результате которого происходит декарбоксилирование пировиноградной кислоты под действием пируватдекарбоксилазы или дезаминирование соответствующих аминокислот. При этом основными факторами, от которых зависит содержание ацетальдегида в готовом напитке, являются исходная концентрация сахаров, раса дрожжей, присутствие диоксида серы (Liu, 2001; Garcia, 2020). Во время брожения диоксид серы не использовали, а брожение сусле проводили одной расой дрожжей при одинаковых условиях. Это позволяет считать, что на концентрацию ацетальдегида существенное влияние оказывают сахара и аминокислоты яблок, компонентный состав которых обусловлен сортовыми факторами, в том числе генетическими особенностями (Han, 2022; Won, 2015). Кроме того, на основании проведенных исследований можно считать, что сидры, изготовленные из сортов яблоны Амулет, Орфей, Золотое летнее, Чемпион более устойчивы к окислению в сравнении с другими образцами, так как в них обнаружено наименьшее содержание ацетальдегида (Рисунок 2). Массовая концентрация ацетальдегида в промышленных образцах имела аналогичные значения.

Согласно Yang (2023), присутствие фурфурола и его производных в напитках брожения может способствовать образованию дымных и пригорелых тонов в аромате. В исследуемых образцах сидров концентрация фурфурола составила от 0 (Вирджиния, Кетни) до 28,47 мг/дм³ (Любимое Дутовой). Однако дымные оттенки и тона термической обработки в аромате сидров не идентифицированы.

Особую роль в сложении ароматов напитков брожения играет кетон ацетоин, предшественником которого является пировиноградная кислота. С его наличием связывают проявление различных ароматов — от сливочных оттенков, свежего масла, зеленого перца, до прогорклых тонов в зависимости от концентрации (Wang, 2022; Picinelli Lobo, 2016; Палагина, 2011). В анализируемых образцах сидров

² ГОСТ 32051- 2013 Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. М.: Стандартинформ, 2013.

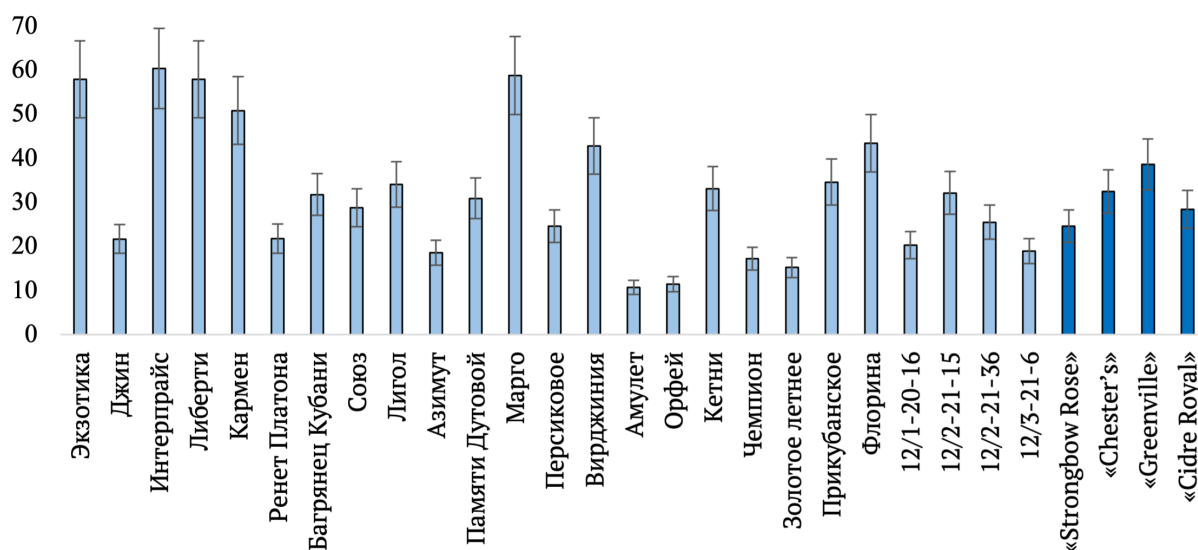
Таблица 1
Содержание основных групп ароматобразующих компонентов и глицерина в исследуемых сортовых и промышленных образцах сидров

Наименование сортового сидра	Массовая концентрация			
	глицерина, г/дм ³	суммы, мг/дм ³		
		сложных эфиров	высших спиртов	летучих кислот
сортовые сухие сидры, приготовленный в лабораторных условиях				
Экзотика	3,8 ± 0,6	136,84 ± 20,53	191,48 ± 28,72	472,2 ± 70,83
Джин	3,7 ± 0,6	94,48 ± 14,17	123,27 ± 18,49	266,79 ± 40,02
Интерпрайс	2,9 ± 0,4	77,51 ± 11,63	161,21 ± 24,18	462,45 ± 69,37
Либерти	3,7 ± 0,6	70,02 ± 10,50	165,86 ± 24,88	569,20 ± 85,39
Кармен	2,5 ± 0,4	44,60 ± 6,69	148,94 ± 22,34	370,03 ± 55,50
Ренет Платона	4,6 ± 0,7	89,27 ± 13,39	147,48 ± 22,12	486,79 ± 73,02
Багрянец Кубани	2,7 ± 0,4	65,71 ± 9,86	130,40 ± 19,56	392,60 ± 58,89
Любимое Дутовой	2,1 ± 0,3	74,81 ± 11,22	183,46 ± 27,52	250,79 ± 37,62
Союз	3,1 ± 0,5	77,16 ± 11,57	156,82 ± 23,52	392,60 ± 58,89
Лигол	2,4 ± 0,4	50,59 ± 7,59	145,84 ± 21,88	555,55 ± 83,33
Марго	4,1 ± 0,6	82,00 ± 12,30	217,28 ± 32,59	523,50 ± 78,53
Персиковое	4,1 ± 0,6	84,68 ± 12,70	124,87 ± 18,73	242,91 ± 36,44
Вирджиния	3,1 ± 0,5	94,08 ± 14,11	116,06 ± 17,41	279,13 ± 41,87
Амулет	1,9 ± 0,3	41,67 ± 6,25	151,84 ± 22,78	381,56 ± 57,23
Азимут	3,3 ± 0,5	40,04 ± 6,01	164,08 ± 24,61	343,22 ± 51,48
Орфей	3,7 ± 0,6	44,95 ± 6,74	130,56 ± 19,58	298,41 ± 44,76
Кетни	3,6 ± 0,5	141,02 ± 21,15	102,72 ± 15,41	157,71 ± 23,66
Чемпион	2,5 ± 0,4	76,58 ± 11,49	147,96 ± 22,19	438,12 ± 65,72
Золотое летнее	1,8 ± 0,3	43,77 ± 6,57	143,73 ± 21,56	467,04 ± 70,06
Прикубанское	3,9 ± 0,6	38,96 ± 5,84	138,39 ± 20,76	251,50 ± 37,73
Флорина	2,1 ± 0,3	56,82 ± 8,52	129,79 ± 19,47	271,28 ± 40,69
12/1 – 20-16*	2,8 ± 0,4	42,75 ± 6,41	158,48 ± 23,77	349,52 ± 52,43
12/2 – 21-15*	2,4 ± 0,4	84,31 ± 12,65	159,12 ± 23,87	187,35 ± 28,10
12/2 – 21-36*	1,4 ± 0,2	69,32 ± 10,40	212,05 ± 31,81	164,60 ± 24,69
12/3 – 21-6*	2,8 ± 0,4	76,91 ± 11,54	203,43 ± 30,51	129,81 ± 19,47
минимум	1,4	38,96	102,72	129,81
максимум	4,6	141,02	217,28	569,20
производственные сидры, приобретенные в розничной сети				
Сидр полусладкий газированный «Стронгбоу Розе»	1,1 ± 0,2	38,63 ± 5,79	62,74 ± 9,41	118,46 ± 17,77
Сидр сладкий газированный «CHESTER'S»	1,9 ± 0,3	76,25 ± 11,44	143,56 ± 21,53	156,17 ± 23,43
Сидр полусладкий «Greenvill Natural SEMI SWEET ROSE»	1,7 ± 0,3	73,44 ± 11,02	157,35 ± 23,60	152,48 ± 22,87
Сидр полусладкий «Cidre Royal»	1,9 ± 0,3	78,27 ± 11,74	158,26 ± 23,74	164,23 ± 24,63
минимум	1,1	38,63	62,74	118,46
максимум	1,9	78,27	158,26	164,23

Примечание. * – сидры, изготовленные из элитных форм яблоны селекции ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Рисунок 2

Массовая концентрация ацетальдегида в сидрах (мг/дм³)



концентрация ацетона изменялась в диапазоне от 0 (Марго) до 48,27 мг/дм³ (Чемпион).

Ацетали, участвующие в формировании вкуса и аромата сидров, представлены этилацеталем (фруктовые тона), присутствующим в образцах сидров из сортов яблок Союз, Лигол, Персиковое, Джин, Амулет, Орфей, Прикубанское, Чемпион, Флорина, элитные формы в концентрации до 18 мг/дм³. В промышленных образцах сидров концентрация этилацетала не превышала 3,6 мг/дм³.

Исследование летучих кислот опытных образцов сидров

Летучие кислоты изученных образцов сидров были представлены уксусной (наибольшая концентрация), масляной, изомасляной, изовалериановой кислотами, в отдельных вариантах идентифицирована пропионовая кислота. Большая часть этих кислот оказывает негативное влияние на качество сидров, вызывая формирование неприятных и даже посторонних тонов. Однако все перечисленные кислоты являются вторичными или побочными продуктами спиртового брожения и активно участвуют в реакциях этерификации со спиртами, формируя новые ароматы. Наибольшее содержание летучих кислот выявлено в сидрах из сортов яблок Либерти, Лигол, Марго, Багрянец Кубани, Ренет Платона, Интерпрайс. Согласно Won (2015), Beauvoit (2018), Ronald (2020),

концентрация органических кислот в продуктах брожения обуславливается условиями брожения — температурой, расой дрожжей, наличием аэрации и т.п. В проведенных исследованиях условия брожения всех яблочных соков были идентичны. Это позволяет считать, что выявленные различия обуславливаются спецификой ароматобразующих компонентов конкретного сорта яблони.

Исследование высших спиртов опытных образцов сидров

Как показали проведенные исследования, концентрация как суммы, так и отдельных высших спиртов, зависела от сорта яблок при одинаковых условиях брожения. Наибольшие суммарные концентрации высших спиртов (до 217,28 мг/дм³), обусловленные, главным образом, изоамиловым спиртом (до 119,51 мг/дм³), выявлены в сидрах из сортов яблок Марго, Экзотика, Интерпрайс, Либерти. Среди высших спиртов исследуемых сидров в небольших количествах (до 1,82 мг/дм³) идентифицирован 1-амилол. Следует отметить, что в промышленных образцах концентрация высших спиртов была значительно ниже, особенно в образце, произведенном из концентрированного сока. Этилацеталь, наличие которого обуславливает фруктовые тона в аромате напитков, присутствовал в образцах сидров из сортов яблок Союз, Лигол, Персиковое, Джин, Амулет, Орфей, Прикубанское, Чемпион, Флорина и элитных форм в концентрации

до 18,0 мг/дм³. Следует отметить, что в промышленных образцах концентрация высших спиртов была значительно ниже, особенно в образце, произведенном из концентрированного сока.

Исследование сложных эфиров опытных образцов сидров

Сложные эфиры образуются путем этерификации спиртов и органических кислот, протекающей под действием ферментов дрожжей. Сложные эфиры исследуемых сидров представлены этилацетатом (основной эфир), метилацетатом, этиллактатом, этилвалериатом, этилкапроатом, этилкапринатом, этилкаприлатом, этиллауратом в различных концентрациях. Установлено, что в сидрах из яблок сортов Марго, Экзотика, Интерпрайс, Либерти, Любимое Дутовой и форм 12/2–21-36, 12/3–21-6, накопилось наибольшее количество эфиров. В отдельных образцах сидров (Персиковое, Ренет Платона, Вирджиния, Джин, Экзотика, Марго) идентифицирован изоамилацетат в концентрации от 0,34 до 1,25 мг/дм³. Ее присутствие привнесло в напитки фруктовые тона, преимущественно грушевые и сухофруктовые, что согласуется с органолептической оценкой (Рисунок 3).

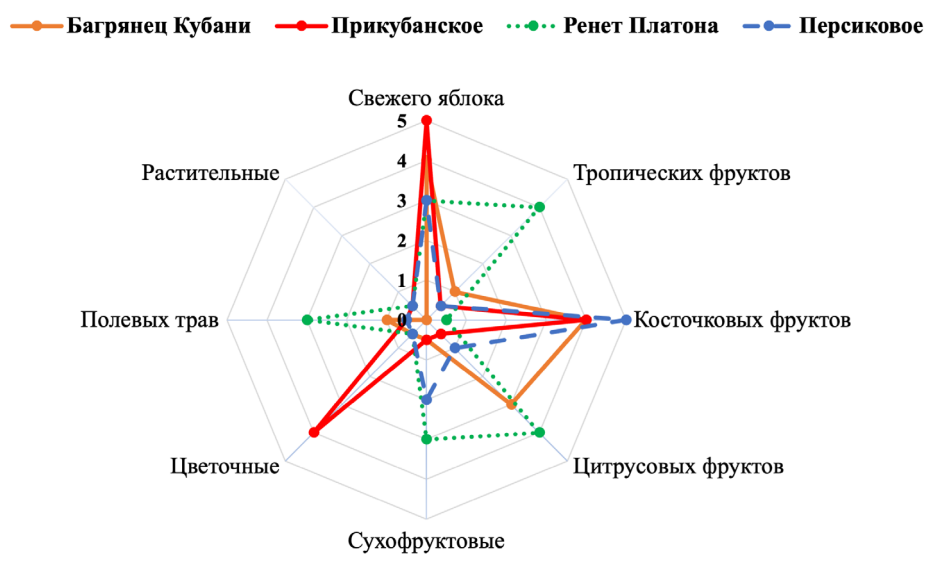
Однако при исследовании ароматобразующих компонентов сидров из вышеперечисленных сортов корреляции между концентрацией изоами-

лацетата и концентрациями изоамилового спирта и уксусной кислоты не установлено, что позволяет считать что в свежем яблочном сусле присутствуют не идентифицированные нами соединения, в результате трансформации которых и образуется изоамилацетат. Так по данным ученых (Bernardi, 2023, Januszek, 2020) механизм образования изоамилацетата связан с активностью фермента эстеразы, синтезированного дрожжевыми клетками определенных штаммов дрожжей из соответствующих субстратов срежаиваемой среды.

В ряде образцов идентифицированы следующие эфиры: бутилацетат (Джин, Орфей, Ренет Платона, Азимут), бутилбутаноат (Экзотика, Вирджиния, Кетни, Багрянец Кубани, Ренет Платона), гексилацетат (Чемпион, Вирджиния, Персиковое), этилоктаноат (Экзотика, Либерти, Багрянец Кубани, Союз, Ренет Платона), участвующие в формировании фруктово-ягодных тонов или усиливающие их проявление (Wei, 2020). В отдельных образцах идентифицированы следующие соединения на уровне предпороговых концентраций: геранилацетат (Экзотика, Джин, Вирджиния), обладающий цветочным запахом; терпеновые соединения (гераниол, лимонен, цитранелол), имеющие цитрусовые оттенки (Xiao, 2019) (Либерти, Кетни, Прикубанское, формы 12/2–21-15 и 12/3–21-6). При этом следует учитывать, что предпороговые концентрации этих соединений способны влиять на восприятие аромата за счет аддитивного воздействия соединений

Рисунок 3

Профилограмма оттенков аромата сидров из сортов Багрянец Кубани, Прикубанское, Ренет Платона, Персиковое



с аналогичной структурой или запахом (Крикунова, 2022; Yu, 2022).

Эфиры жирных кислот представлены этиллауратом, концентрация которого варьировала в диапазоне от 0 (Вирджиния, Амулет, Кетни, Золотое летнее, Флорина) до 6,85–10,46 мг/дм³ (Джин, Персиковое, Багрянец Кубани, Интерпрайс), а в сидре из сорта яблок Экзотика концентрация этиллаурата превысила 60 мг/дм³. Полученные результаты позволяют сделать вывод о зависимости концентрации эфиров от содержания органических кислот в яблоках. В промышленных образцах сидров минимальное содержание сложных эфиров было в 2,5 раза меньше в сравнении с экспериментальными вариантами.

Исследование многоатомных летучих соединений опытных образцов сидров

К многоатомным летучим соединениям сидров относятся также гликоли — меза и рацемическая формы 2,3-бутиленгликоля, являющиеся продуктом спиртовой ферментации яблочного сока и оказывающие влияние на вкус напитка. Концентрация 2,3-бутиленгликоля варьировала в очень широком диапазоне и существенно зависела от сортовых особенностей яблок. Наиболее высокие концентрации этого компонента (до 400 мг/дм³) выявлены в сидрах из сортов яблок Багрянец Кубани, Прикубанское, Любимое Дутовой.

Фенилэтанол обладает тонким ароматом чайной розы, который даже при очень низкой концентрации (на уровне 10 мкг/дм³) может заметно украсить аромат сидра. Проведенные исследования показали, что концентрация фенилэтанола варьировала от 0 (Союз, Интерпрайс) до 25 мг/дм³ (Лигол, Персиковое, Чемпион, Золотое летнее, Любимое Дутовой).

Бензиловый спирт (Марго, Интерпрайс, Либерти, Флорина, Орфей, Кетни, Кармен, Ренет Платона, Багрянец Кубани, Лигол, Джин, Вирджиния, Персиковое) способен придать напитку легкие тона миндаля и тропических фруктов даже в минимальных концентрациях (0,2–1,0 мг/дм³). Кроме того, бензиловый спирт в кислой среде способен образовывать этиловые эфиры, способствуя проявлению ореховых тонов во вкусе и аромате сидров (Yu, 2022). Это позволяет считать бензиловый спирт

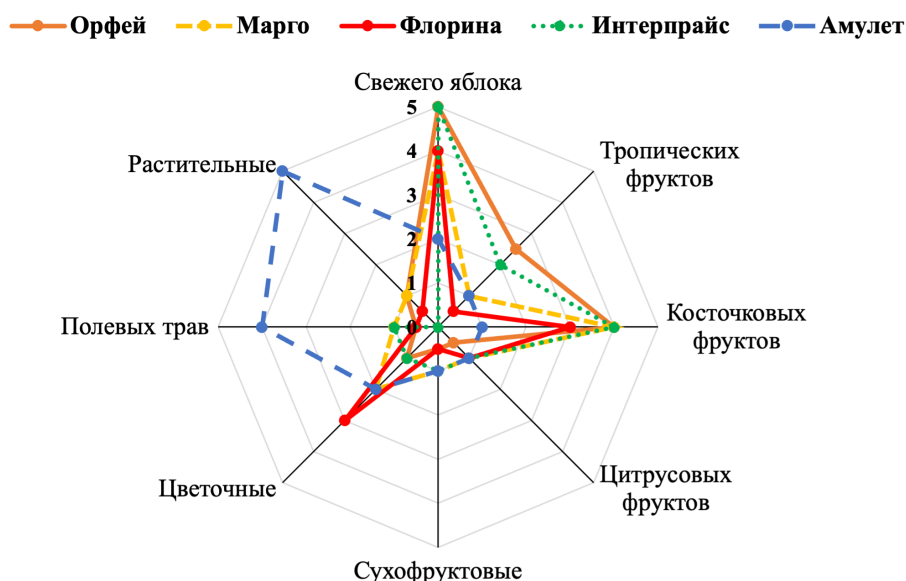
одним из компонентов, способных оказывать заметное влияние на формирование сенсорных характеристик сидров. В анализируемых образцах концентрация бензилового спирта была на уровне 1,03–1,85 мг/дм³ (Экзотика, Орфей, Интерпрайс, Флорина (Рисунок 4), форма 12/1–20-16). Именно эти сорта при дегустации сидров характеризовались многообразием ароматических оттенков.

Метанол в минимальных концентрациях всегда присутствует в продуктах брожения, особенно фруктовых соков. При брожении яблочного сока протекает реакция деметоксилирования пектиновых веществ, содержащихся в плодах яблони, под действием фермента пектинэтилэстеразы. Поэтому массовая концентрация метанола зависит от исходной концентрации пектиновых соединений в яблоках конкретного сорта. В готовых сортовых сидрах концентрация метанола составила от 2–93 мг/дм³ в зависимости от сорта яблок. Наибольшее количество метанола выявлено в образцах сидров из яблок сортов Амулет, Кетни, Вирджиния, Золотое летнее и формы 12/2–21-36.

Из многоатомных спиртов во всех опытных образцах сидров идентифицирован глицерин, который является важнейшим дескриптором полноты и мягкости вкуса напитков, полученных путем брожения. Кроме того, значение массовой концентрации глицерина является нормируемым (не менее 1,0 г/дм³) и рекомендуется в качестве дополнительного показателя для идентификации сидров традиционных согласно ГОСТ Р 58011–2017 Сидры традиционные. Технические условия. Массовая концентрация глицерина в исследуемых образцах варьировала в широком диапазоне и зависела от исходного содержания сахаров в яблочном соке и активности соответствующих ферментов конкретного сорта (формы) яблони. Концентрация глицерина в лабораторных образцах варьировала от 1,4 до 4,6 г/дм³ в зависимости от сорта (формы) яблони. Выделились сидры, изготовленные из сортов Ренет Платона, Марго, Персиковое, Орфей, Прикубанское (см. таблицу). Следует отметить, что в промышленных образцах, особенно приготовленных из концентрированного яблочного сока, концентрация глицерина уступала лабораторным образцам и составляла 1,1–1,9 г/дм³.

Рисунок 4

Профилограмма оттенков аромата сидров из сортов Орфей, Марго, Флорина, Интерпрайс, Амулет



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований изучен компонентный состав (ароматический профиль) сортов сидров, приготовленных из различных сортов яблони, произрастающих в условиях Краснодарского края. Было установлено, что летучие компоненты сидров представлены следующими группами веществ (в порядке убывания): летучие кислоты, высшие спирты, сложные эфиры, альдегиды, ацетали, гликоли, метанол. Установлены диапазоны варьирования основных групп ароматобразующих компонентов сидров, произведенных из различных сортов яблони отечественной и зарубежной селекции.

По всем изученным группам ароматобразующих компонентов сортовые сидры, приготовленные в лабораторных условиях, имели более высокие их концентрации и глицерина, чем производственные образцы. Данные можно объяснить отсутствием дополнительных технологических обработок при изготовлении опытных образцов. Так как лабораторные образцы сидров были приготовлены из плодов яблони различных сортов, выращенных в одинаковых агроклиматических и агротехнических условиях, и переработаны по одной технологии в идентичных условиях, можно сделать вывод о том, что сортовые особенности яблони оказали значительное влияние на компонентный состав ароматических веществ и в последующем на органолептические характеристики яблочного сидра.

В результате изучения ароматического профиля и органолептических показателей приготовленных сидров выделились сорта и формы яблони различного эколого-географического происхождения, произрастающие в Краснодарском крае (Багрянец Кубани, Прикубанское, Ренет Платона, Персиковое, Орфей, Марго, Флорина, Интерпрайс, Амулет), перспективные для производства сидров. Результаты исследования могут быть применены при выборе сортов яблони для закладки садов с целью переработки плодов яблони на сидры.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение ароматического профиля сидров, приготовленных из различных сортов яблони, в том числе произрастающих в условиях других регионов Российской Федерации, для возможного установления сортовой принадлежности и даже географической идентификации сидров.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Агеева Наталья Михайловна: руководство исследованием; концептуализация; анализ данных; создание рукописи.

Ширшова Анастасия Александровна: сбор и переработка плодов яблони в сидр; проведение исследований; визуализация данных; создание рукописи и ее редактирование.

Храпов Антон Александрович: приготовление опытных образцов сидров; проведение исследований.

Ульяновская Елена Владимировна: концептуализация; подбор сортов яблони; анализ данных-создание рукописи.

Чернуцкая Евгения Анатольевна: подбор и сбор плодов яблони; приготовление опытных образцов сидров; проведение исследований.

Якуба Юрий Федорович: проведение исследований; анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Егорова, О. С., Акбулатова, Д. Р., & Шилкин, А. А. (2023). Факторы, влияющие на качество и сроки годности напитков брожения из плодового сырья: Обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 14–32. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>
- Egorova, O. S., Akbulatova, D. R., & Shilkin, A. A. (2023). Factors affecting the quality and shelf life of fermented beverages from fruit raw materials: A Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 14–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>
- Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Ульянова, Е. В., Моисеева, А. А., & Томгорова, С. М. (2022). Научно-практические аспекты оценки биохимического состава сырья для производства фруктовых дистиллятов. *Пищевые системы*, 5(2), 121–131. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>
- Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Ulyanova, E. V., Moiseeva, A. A., & Tomgorova, S. M. (2022). Scientific and practical aspects of assessing the biochemical composition of raw materials for the production of fruit distillate. *Food Systems*, 5(2), 121–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>
- Палагина, М. В., Горбачева, А. А., Захаренко, Е. М., & Тельтевская, О. П. (2011). Новые виноматериалы из дальневосточного ягодного сырья для вин специальной технологии. *Виноделие и виноградарство*, 5, 12–13.
- Palagina, M. V., Gorbacheva, A. A., Zakharenko, E. M., & Teltevskaia, O. P. (2011). New wine materials from Far Eastern berry raw materials for special technology wines. *Vinogradarstvi i Vinodelie*, 5, 12–13. (In Russ.)
- Почицкая, И. М., Росляков, Ю. Ф., Комарова, Н. В., & Рослик, В. Л. (2019). Исследование компонентов, формирующих органолептические характеристики плодов и ягод. *Техника и технология пищевых производств*, 49(1), 50–61. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-50-61>
- Pochitskaya, I. M., Roslyakov, Yu. F., Komarova, N. V., & Roslic, V. I. (2019). Sensory components of fruits and berries. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(1), 50–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-50-61>
- Ширшова, А. А., Агеева, Н. М., Прах, А. В., & Шелудько, О. Н. (2020). Влияние сорта яблок на концентрацию аминокислот в свежих и сброженных яблочных соках и концентрацию ароматобразующих компонентов сидров. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 66(6), 369–380. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-369-381>
- Shirshova, A. A., Ageeva, N. M., Prakh, A. V., & Sheludko, O. N. (2020). Influence of chemical composition of varieties of apples on the physico-chemical characteristics of fermented juice for the production of fruit wines. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*, 66(6), 369–380. (In Russ.) <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-369-381>
- Antón, M. J., Valles, B. S., Hevia A. G., & Lobo A. P. (2014). Aromatic profile of ciders by chemical quantitative, gas chromatography-olfactometry, and sensory analysis. *Journal of Food Science*, 79(1), 92–99. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12323>
- Beauvoit, B., Belouah, I., & Bertin, N. (2018). Putting primary metabolism into perspective to obtain better fruits. *Annals of Botany*, 122(4), 1–21. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy057>
- Bernardi, B., Michling, F., Fröhlich, J., & Wendland, J. (2023). Mosaic genome of a British cider yeast. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 11232. <https://doi.org/10.3390/ijms241311232>
- Garcia, L., Perrin, C., Farines, V., Garcia, F., Caillé, S., & Saucier, C. (2022). Impact of acetaldehyde addition on the sensory perception of Syrah red wines. *Foods*, 11(12), 1693. <https://doi.org/10.3390/foods11121693>
- Guichard, H., Poupard, P., Legoahec, L., Millet, M., & Bauduin, R. (2019). Brettanomyces anomalus, a double drawback for cider aroma. *LWT*, 102, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.033>
- Han, Y., Su, Z., & Du, J. (2023). Effects of apple storage period on the organic acids and volatiles in apple wine. *LWT*, 173, 114389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114389>
- Han, Y., & Du J. (2022). Relationship of the methanol production, pectin and pectinase activity during apple wine fermentation and aging. *Food Research International*, 159, 111645. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111645>
- He, Y., Wang, X., Li, P., Lv, Y., Nan, H., Wen, L., & Wang Z. (2023). Research progress of wine aroma components: A critical review. *Food Chemistry*, 402, 134491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134491>
- He, W. J., Laaksonen, O., Tian, Y., Heinonen, M., Bitz, L., & Yang, B. (2022). Phenolic compound profiles in Finnish apple (*Malus × domestica* Borkh.) juices and ciders fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* strains. *Food Chemistry*, 373, 131437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131437>

- Jackson, R. S. (2020). Wine science. Principles and applications, food science and technology. In *Chemical constituents of grapes and wine* (pp. 375–459). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816118-0.00006-4>
- Januszek, M., Satora, P., Wajda, L., & Tarko, T. (2020). *Saccharomyces bayanus* enhances volatile profile of apple brandies. *Molecules*, 25(14), 3127. <https://doi.org/10.3390/molecules25143127>
- Ji, G., Liu, G., Li, B., Tan, H., Zheng, R., Sun, X., & He, F. (2023). Influence on the aroma substances and functional ingredients of apple juice by lactic acid bacteria fermentation. *Food Bioscience*, 51, 102337. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102337>
- Liu, C., Li, M., & Tao, R. (2022). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* strains on alcoholic fermentation behavior and aroma profile of yellow-fleshed peach wine. *LWT*, 155, 112993. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112993>
- Liu, S. Q., Lou, Y., & Li, Y. (2023). Aroma characteristics of volatile compounds brought by variations in microbes in winemaking. *Food Chemistry*, 420, 136075. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136075>
- Liu, S. Q., & Pilone, G. J. (2001). An overview of formation and roles of acetaldehyde in winemaking with emphasis on microbiological implications. *International Journal of Food Science & Technology*, 35(1), 49–61. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00341.x>
- Medina, S., Perestrelo, R., Pereira, R., & Câmara, J. S. (2020). Evaluation of volatilomic fingerprint from apple fruits to ciders: a useful tool to find putative biomarkers for each apple variety. *Foods*, 9(12), 1830. <https://doi.org/10.3390/foods9121830>
- Nikfardjam, M. P., & Maier, D. (2011). Development of a headspace trap HRGC/MS method for the assessment of the relevance of certain aroma compounds on the sensorial characteristics of commercial apple juice. *Food Chemistry*, 126(4), 1926–1933. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.021>
- Picinelli Lobo, A., Antón-Díaz, M. J., Mangas Alonso, J. J., & Suárez Valles, B. (2016). Characterization of Spanish ciders by means of chemical and olfactometric profiles and chemometrics. *Food Chemistry*, 213, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.063>
- Riekstina-Dolge, R., Kruma, Z., & Karklina, D. (2012). Sensory properties and chemical composition of cider depending on apple variety. *Research for Rural Development*, 4, 102–108.
- Ruppert, V., Innerhofer, G., Voit, J., Hiden, P., & Siegmund, B. (2021). The impact of the fermentation strategy on the flavour formation of Ilzer Rose (*Malus domestica* Borkh.) Apple wine. *Foods*, 10(10), 2348. <https://doi.org/10.3390/foods10102348>
- Spaho, N., Gaši, F., Leitner, E., Blesić, M., Akagić, A., & Žuljević, S. O. (2021). Characterization of volatile compounds and flavor in spirits of old apple and pear cultivars from the Balkan region. *Foods*, 10(6), 1258. <https://doi.org/10.3390/foods10061258>
- Wang, N., Zhu, Y., Zhu R., Xiao Y., & Qiu, J. (2022). Revealing the co-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* on the quality of cider based on the metabolomic and transcriptomic analysis. *LWT*, 168, 113943. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113943>
- Wei, J., Zhang, Y., Qiu, Y., Guo, H., Ju, H., & Wang, Y. (2020). Chemical composition, sensorial properties, and aroma-active compounds of ciders fermented with *Hanseniaspora osmophila* and *Torulaspora quercuum* in co- and sequential fermentations. *Food Chemistry*, 306, 125623. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125623>
- Won, S. Y., Seo, J. S., Kwak, H. S., Lee, Y., Kim, M., Shim, H. S., & Jeong, Y. (2015). Quality characteristics and quantification of acetaldehyde and methanol in apple wine fermentation by various pre-treatments of mash. *Preventive Nutrition and Food Science*, 20(4), 292–297. <https://doi.org/10.3746/pnf.2015.20.4.292>
- Xiao, Z., Luo, J., Niu, Y., Wang, P., Wang, R., & Sun X. (2019). Impact of esters on rose essential oil floral alcohol aroma expression in model solution. *Food Research International*, 116, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.015>
- Xu, Y., Fan, W., & Qian, M. C. (2007). Characterization of aroma compounds in apple cider using solvent-assisted flavor evaporation and headspace solid-phase microextraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 3051–7. <https://doi.org/10.1021/jf0631732>
- Yang, W., You, Y., Ling, M., Ye, D., Shi, Y., Duan, C., & Lan, Y. (2023). Identification of the key odor-active compounds responsible for varietal smoky aroma in wines made from the East Asian species. *Food Research International*, 171, 113052. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113052>
- Yu, W., Zhu, R., Zhu, R., Bai, J., Qiu, J., Wu, Y., Zhong, K., & Gao, H. (2022). Insight into the characteristics of cider fermented by single and co-culture with *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* based on metabolomic and transcriptomic approaches. *LWT*, 163, 113538. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113538>
- Zhang, Z., Lan, Q., Yu, Y., Zhou, J., & Lu, H. (2022). Comparative metabolome and transcriptome analyses of the properties of *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces* yeasts in apple cider fermentation. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100095. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100095>