

Изучение элементного профиля вин Крыма и изотопных характеристик их водной компоненты

Оганесянц Л.А.¹, Панасюк А.Л.^{1✉}, Свиридов Д.А.¹, Ильин А.А.¹, Лиховской В.В.², Загоруйко В.А.², Шмигельская Н.А.², Яланецкий А.Я.³

¹ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, г. Москва, Россия;

²Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, г. Ялта, Республика Крым, Россия;

³Союз виноделов Крыма, г. Ялта, Республика Крым, Россия.

✉Labvin@yandex.ru

Аннотация. В связи с повышением интереса потребителя к винам с контролируемым местом происхождения – зарегистрированным географическим указанием (ЗГУ) и зарегистрированным наименованием места происхождения (ЗНМП), особенно остро встает вопрос о способе их идентификации. Наиболее эффективными способами подтверждения места происхождения вина в мировой практике является комплексное исследование элементного профиля и изотопных характеристик водной компоненты. При этом ограничены сведения об отличительных показателях элементного профиля и изотопных характеристик водной компоненты вин Крыма. В связи с этим в период 2017-2023 гг. изучены данные показатели в 248 образцах винограда, выращиваемого в разных почвенно-климатических зонах Крыма, и выработанных из него винах. Содержание элементного профиля определяли с использованием метода масс-спектрального анализа (X-7, Thermo Elemental, США); отношения изотопов кислорода водной компоненты получали с использованием изотопного масс-спектрометра Delta V Advantage (Thermo Fisher Scientific, США – Германия). Установлены диапазоны значений показателей элементного профиля и изотопных характеристик водной компоненты для вин из разных климатических зон Крыма. Приведены различия в элементном составе и показателе $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты, отражающиеся в большем содержании элементов Ba, Be, Mn в Степной зоне Крыма по сравнению с образцами из Южнобережной зоны; а также более высокими значениями изотопных характеристик кислорода водной компоненты в образцах из Южнобережной зоны по сравнению с другими зонами. В образцах из Предгорной зоны зафиксированы наименьшие значения данного показателя. Полученные результаты позволяют сформировать базу данных, на основе которой возможно подтверждение места географического происхождения вин Крыма.

Ключевые слова: идентификация; географическое происхождение; элементный профиль; ИСП-МС; изотопная масс-спектрометрия.

Для цитирования: Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Свиридов Д.А., Ильин А.А., Лиховской В.В., Загоруйко В.А., Шмигельская Н.А., Яланецкий А.Я. Изучение элементного профиля вин Крыма и изотопных характеристик их водной компоненты // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2024;26(3):289-295. EDN QLOXAG.

Study of the elemental profile and isotopic characteristics of water component in Crimean wines

Oganesyants L.A.¹, Panasyuk A.L.^{1✉}, Sviridov D.A.¹, Ilyin A.A.¹, Likhovskoi V.V.², Zagorouiko V.A.², Shmigelskaia N.A.², Yalanetsky A.Ya.³

¹All-Russian Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Winemaking Industry - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Moscow, Russia;

²All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of the RAS, Yalta, Republic of Crimea, Russia;

³Union of Winemakers of Crimea, Yalta, Republic of Crimea, Russia.

✉Labvin@yandex.ru

Abstract. In connection with the increasing consumer interest in wines with a controlled place of origin – protected geographical indication (PGI) and protected designation of origin (PDO), the question of how to identify them is especially acute. The most effective way to confirm the place of origin of wine in world practice is a comprehensive study of the elemental profile and isotopic characteristics of water component. At the same time, information on the distinctive indicators of the elemental profile and isotopic characteristics of water component in Crimean wines is limited. In this regard, in the period from 2017 to 2023, 248 samples of grapes grown in different soil and climatic zones of Crimea, and the wines produced from them, were studied. The content of elemental profile was determined using the mass spectral analysis method (X-7, Thermo Elemental, USA); the ratios of oxygen isotopes of water component were obtained using a Delta V Advantage isotope mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA - Germany). The ranges of values of the elemental profile indicators and isotopic characteristics of water component for wines from different climatic zones of Crimea were established. Differences in the elemental composition and $\delta^{18}\text{O}$ indicator of water component are presented, reflected in a higher content of Ba, Be, Mn elements in the Steppe zone of Crimea compared to samples from the South Coast zone; as well as higher values of isotopic characteristics of the oxygen of water component in samples from the South Coast zone compared to other zones. The lowest values of this indicator were recorded in samples from the Piedmont zone. The results obtained allow creating a database on the basis of which it is possible to confirm the place of geographical origin of Crimean wines.

Key words: identification; geographical origin; elemental profile; ICP-MS; isotope mass spectrometry.

For citation: Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Sviridov D.A., Ilyin A.A., Likhovskoi V.V., Zagorouiko V.A., Shmigelskaia N.A., Yalanetsky A.Ya. Study of the elemental profile and isotopic characteristics of water component in Crimean wines. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2024;26(3):289-295. EDN QLOXAG (in Russian).

Введение

Исторически производство многих пищевых продуктов было неразрывно связано с определенным географическим регионом. Продукты питания производились из местного сырья по традиционным технологиям и реализовывались на местном рынке. Такая продукция являлась неотъемлемой частью культуры и быта людей. Сегодня при всей доступности и разнообразии товаров пищевая отрасль испытывает кризис доверия. Потребитель хочет быть уверен в безопасности приобретаемой продукции, ее высоком качестве и экологичности производства. Вина с контролируемым местом происхождения ЗГУ и ЗНМП пользуются широким спросом среди потребителей благодаря их высокому качеству, обусловленному особенностями почв и климатическими условиями выращивания винограда, а также строго регламентированной технологией производства.

При производстве высококачественной продукции, в том числе с географическим статусом, необходимо тщательно подходить к выбору условий произрастания винограда, обуславливающих формирование технологических характеристик сырья [1, 2]. Крымский полуостров уникален по своим почвенно-климатическим условиям и для культивирования виноградного растения определены основные три природно-климатические зоны, обладающие уникальными почвенно-климатическими факторами: Степная, Предгорная и Южнобережная [3], которые включают в себя 12 виноградо-винодельческих районов [4], что дает возможность производить широкий ассортимент винодельческой продукции. Типы почв Крыма преимущественно горные, коричневые, некарбонатные. Совокупность географических и почвенно-климатических особенностей черноморского побережья обеспечивает необходимые условия для культивирования винограда и производства вин высокого качества.

В связи с участвовавшими случаями подмены аутентичной продукции винами, произведенными из винограда других винодельческих районов, контроль подлинности географического места происхождения вин является важным и приоритетным направлением, способствующим защите производителей высококачественной продукции. Как правило, методы подтверждения географического места происхождения вина включают в себя выявление «отпечатков пальцев» с использованием инструментальных и статистических методов анализа. На сегодняшний день широкое распространение получили исследования, направленные на изучение элементного профиля вина. Большинство минеральных элементов, обнаруженных в вине, проходят путь через поглощение их виноградным растением из почв, которые формируют «минералогическую подпись», связанную с терруаром вина [5-8].

Другим важным показателем при идентификации места географического происхождения вина является показатель $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты вина. Изотопный состав водной компоненты растения в значи-

тельной мере зависит от соответствующих характеристик используемой воды, которые формируются в результате фракционирования изотопов кислорода метеорных и грунтовых вод в конкретном географическом регионе [9, 10]. Помимо различий значений $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты вин, связанных с геоклиматическими особенностями региона, существенное влияние на их изменение могут оказывать как ежегодный дрейф метеорологических характеристик, так и глобальные климатические изменения, в частности, повышение температуры мирового океана. Таким образом, ежегодный мониторинг значений $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты вина является важным этапом оценки подлинности его географического места происхождения [11-14].

Выявление критериев подлинности географической принадлежности вин основано на получении массива данных различных показателей и их аналитической обработке при помощи различных статистических методов. Наиболее распространенными методами анализа данных являются дисперсионный анализ (ANOVA), метод главных компонент (PCA), линейный дискриминантный анализ (LDA), метод формального независимого моделирования аналогов классов (SIMCA), метод опорных векторов (SVM), кластерный анализ (CA), классификация и регрессия с помощью деревьев (CARTs), метод k-ближайших соседей (kNN), метод частных наименьших квадратов (PLS), искусственные нейронные сети (ANN) [15-17].

В связи с этим целью исследований было выявление значимых показателей-маркеров элементного профиля и изотопных характеристик водной компоненты крымских вин, позволяющих классифицировать образцы по месту их географического происхождения.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования являлись 248 образцов винограда, отобранного с различных винодельческих хозяйств Крыма в период с 2017 по 2023 год, а также полученные из них виноматериалы, которые выработывались в условиях микровиноделия по-белому и по-красному способом при температуре $20\pm 2^\circ\text{C}$ с использованием штаммов дрожжей из коллекции микроорганизмов виноделия «Магарач» [18].

Содержание Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U измеряли с использованием метода ИСП-МС (ICP-MS) (X-7, Thermo Elemental, США). Режим работы детектора двойной (счет импульсов и аналоговый); режим сканирования Survey Scan и Peak Jumping; распылитель концентрический – Poly Con; распылительная камера – кварцевая, охлаждаемая (3°C). Расход плазмообразующего потока Ar – 13 л/мин; расход вспомогательного потока Ar – 0,9 л/мин.; расход потока Ag в распылителе – 0,89 л/мин.; разрешение – 0,8 М. Определение элементов в образцах проводили количественным методом с использованием эталонных

растворов, содержащих от 1 до 500 мкг/л определяемых элементов.

Измерение отношений изотопов кислорода водной компоненты полученных вин проводили с использованием изотопного масс-спектрометра Delta V Advantage (Thermo Fisher Scientific, США – Германия), совмещенного с модулем GasBench II. Метод основан на изотопном уравнивании молекул кислорода водной компоненты анализируемого образца и кислорода молекул CO₂ в смеси CO₂-He. Изотопное уравнивание происходило в закрытых крышками и предварительно продутых смесью CO₂-He пробирках в течение 20 часов в термостате при температуре 24°C. Газовую смесь с измененным изотопным составом анализировали в масс-спектрометре изотопных отношений. Калибровку масс-спектрометра проводили с использованием стандартов VSMOW2, SLAP2, USGS47. Значения показателя δ¹⁸O водной компоненты вин рассчитывали с помощью программного комплекса ISODAT.

Для визуализации данных использовали Principle Component Analysis (PCA) с предварительным шкалированием данных. Метод PCA позволяет отобразить многомерный массив данных на плоскости, сохранив распределение наблюдений частично отражающее исходное многомерное распределение. Для проверки на нормальность распределения использовался тест Шапиро-Уилка (критический уровень значимости был принят как 0,05). В связи с ненормальным распределением данных для сравнения концентраций элементов между группами применялся тест Манна-Уитни (критический уровень значимости принят как 0,05). Коррекция на множественное сравнение проводилась при помощи поправки Бенджамини-Хохберга (FDR - 5%). При сравнении более чем двух групп использовался критерий Краскелла-Уоллиса с апостериорным сравнением при помощи теста Данна.

Результаты и их обсуждение

В период с 2020 г. по 2023 г. в сезон сбора и переработки винограда специально для исследования элементного профиля было отобрано 105 образцов свежего винограда из различных хозяйств Крыма. В образцах определяли элементный профиль, который включал в себя 71 показатель массовой концентрации элементов. Было проведено ранжирование элементов по их средней концентрации:

– менее 0,1 мкг/л:

Rh < Se < Os < Ge < Te < Ru < Ir < Tm < Lu < Tb < Ho < Hg < Eu < Ga < Er < Pd < Re < Th < Yb < Nb < Dy < Pt < Sm < Pr < Gd < Ta < Sc < Be < U < Bi < Au < Nd;

– от 0,1 до 1 мкг/л:

Y < Tl < La < Hf < Sb < Cd < As < Co < Ag;

– более 1 мкг/л:

Ce < Sn < V < Mo < W < Cr < Ti < Cs < Pb < Ni <

Li < Zr < Br < Ba < Cu < Al < Sr < Fe < Mn < Zn < Rb < B < Si < Na < S < Ca < Mg < P < K.

Такое распределение элементов является типичным для вин и согласуется с литературными данными [19]. При этом, как правило, только часть из указанных элементов используется в мировой практике для классификации вин для места их происхождения. В зависимости от почвенных условий конкретных регионов композиции элементов могут меняться.

В таблице 1 указаны статистические расчеты данных, сделанные для наиболее важных показателей в рамках подтверждения места географического происхождения.

Стоит отметить, что массовая концентрация некоторых элементов может претерпевать существенные изменения в результате проведения различных

Таблица 1. Статистические данные концентраций наиболее важных элементов в образцах вин, мкг/дм³

Table 1. Statistical data on concentrations of the most important elements in wine samples, µg/dm³

Элемент	Среднее	СКО	Медиана	Минимум	Максимум
K	857904,04	401870,41	763887,06	288984,79	2355219,75
P	95803,04	66620,09	87590,48	5433,16	376670,72
Mg	79748,31	18087,63	78749,81	44815,61	136143,48
Ca	70297,72	21682,20	70016,81	28763,55	154356,60
Na	11632,16	6522,86	11222,02	1775,20	38506,10
Si	9835,56	3621,53	9405,00	3042,29	22879,32
B	9150,24	5783,37	7528,50	2899,71	34148,37
Rb	1163,78	606,64	992,86	359,29	3683,03
Zn	784,40	567,19	667,80	219,52	5210,99
Mn	684,11	361,23	581,51	157,63	2198,14
Fe	501,03	702,20	251,75	2,10	4972,83
Sr	536,70	352,38	407,21	105,83	1945,06
Al	207,31	215,62	173,42	50,02	2545,04
Cu	128,06	202,34	80,38	1,74	1742,52
Ba	87,56	60,76	71,89	15,84	425,70
Ni	10,77	11,29	8,03	0,10	107,38
Pb	4,91	4,81	3,87	1,34	52,15
Cs	4,66	4,55	3,36	0,24	27,92
Ti	6,35	6,19	5,55	0,09	53,53
Cr	10,71	9,28	8,32	0,34	49,18
Mo	2,31	3,40	1,43	0,20	36,61
Sn	1,93	3,68	0,83	0,01	18,02
Ag	0,85	3,54	0,05	0,00	29,00
Co	1,19	0,95	0,96	0,01	3,84
As	0,97	0,96	0,69	0,00	5,06
Tl	0,18	0,17	0,12	0,02	1,07
U	0,02	0,01	0,02	0,00	0,07
Re	0,02	0,02	0,01	0,00	0,12
Ga	0,30	0,18	0,31	0,00	0,67

технологических операций. Переход Са, Мп, Ni, Си из ягоды в вино сопровождается снижением концентраций, так как наибольшие концентрации этих элементов выявлены в косточках и кожице винограда, которые удаляются при отделении сусла. Уменьшение содержания таких элементов, как Са и Си, в винах обусловлено выпадением осадка в виде тартратов и оксалатов. Си, при взаимодействии с фенольными веществами и белками образуют труднорастворимые танаты или танино-белковые соединения, также выпадая в осадок. Часть минеральных веществ, используется дрожжами в процессе жизнедеятельности и удаляются вместе с дрожжевым осадком [19, 20].

Как было указано ранее, винодельческие районы Крыма находятся в границах трех различных климатических зон с уникальными почвенными условиями (Южнобережная, Предгорная и Степная). В связи с этим представляло интерес провести сравнение элементного состава вин из различных зон Крыма.

Для выявления статистически значимых различий в значениях между выборками были использованы тест Краскелла-Уоллиса с апостериорным сравнением при помощи теста Данна с поправкой Бонферрони на множественное сравнение. Было выявлено, что у образцов из предгорной зоны отсутствуют статистически значимые различия в значениях исследуемых показателей с образцами из других климатических зон. При этом у образцов из степной и южнобережной зон выявлены статистически значимые различия концентраций элементов Ва, Ве, Мп. Результаты представлены в виде BoxPlot-диаграммы (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что образцы вин из Степной зоны Крыма обладают большим содержанием элементов Ва, Ве, Мп по сравнению с образцами из Южнобережной зоны. Несмотря на различные почвенные и климатические условия исследуемых зон, элементный профиль трех выборок образцов вин имеет схожий между собой характер распределения элементов. С одной стороны, такое распределение элементов существенно затруднит возможность классификации вин из разных районов Крыма. С другой стороны – способствует идентификации вин Крыма относительно других виноградо-винодельческих зон России с использованием метода «отпечатков пальцев».

Как известно, виноградное растение в первую очередь извлекает из почвы подвижные формы эле-

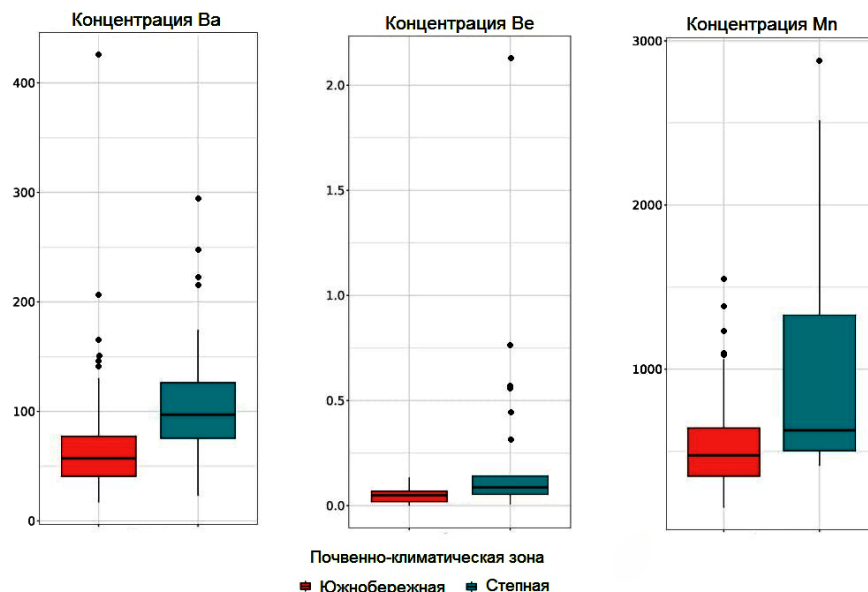


Рис. 1. Массовая концентрация статистически значимых элементов в образцах вин, мкг/дм³

Fig. 1. Mass concentration of statistically significant elements in wine samples, $\mu\text{g}/\text{dm}^3$

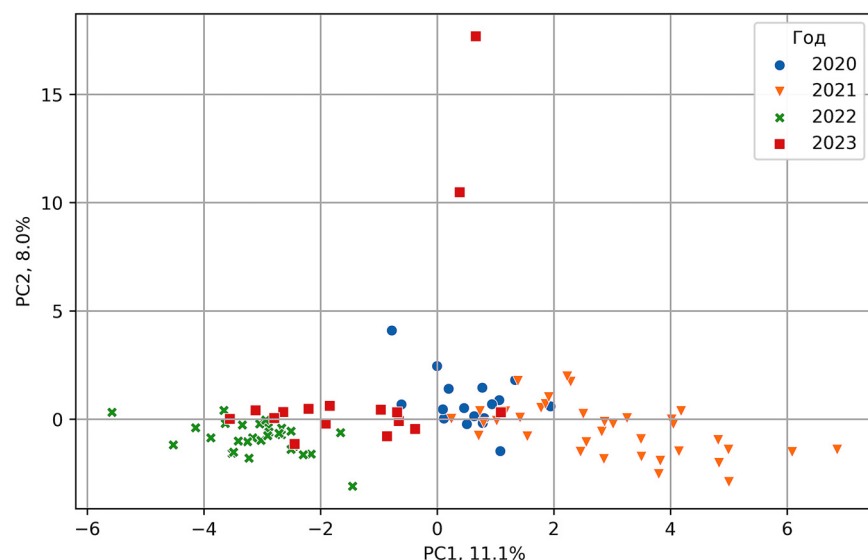


Рис. 2. PCA-диаграмма распределения образцов вин из винограда разного года урожая

Fig. 2. PCA-diagram of distribution of wine samples from grapes of different vintages

ментов, которые в среднем составляют около половины от их общего содержания. Однако для некоторых элементов это соотношение может значительно отличаться. Кроме того, диффузионное движение в почве происходит очень медленно, в результате чего вокруг корней могут образовываться зоны истощения. Таким образом, качественный и количественный состав микроэлементов и редкоземельных металлов в виноградной ягоде, а впоследствии и в вине может с течением времени приобрести тенденцию к определенным изменениям. В связи с этим представляло интерес изучить изменение элементного профиля вин, произведенных из винограда разного года урожая.

Было проведено сравнительное исследование элементного профиля вин из винограда разных годов урожая с использованием метода PCA (рис. 2).

Из диаграммы, представленной на рис. 3, видно, что данные, полученные для вин из винограда урожая 2021-го года, лежат обособлено в пространстве признаков от остальных образцов, что говорит о различиях в структуре данных. Такое распределение значений может быть связано с аномально сильными и продолжительными дождями на побережье Черного моря в сезон 2021 г. Образцы, произведенные в 2020 г., распределены отдельно с образцами 2022 г. При этом образцы 2023 г. локализованы преимущественно совместно с образцами 2020 и 2022 гг. Также отмечены два образца-выброса в выборке 2023 года. В 2020 году элементы В, Сu, Re и Sn имели самые большие медианные показатели за весь временной интервал 2020-2023 гг. включительно. В 2021 г. элементы Са, Na, Si имели самые большие медианные показатели за весь временной интервал. Таким образом, мониторинг ежегодных изменений элементного профиля вин из различных регионов является важным этапом при определении места их происхождения.

В 2017-2021 гг. в сезоны сбора винограда было отобрано и переработано в условиях микровиноделия 143 образца винограда из разных почвенно-климатических зонах Крыма. В полученных образцах вин определяли значение показателя $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты. На рис. 3 представлены средние значения исследуемых образцов в зависимости от года урожая винограда и географического места его произрастания.

Значения показателя $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты различаются для вин, произведенных из винограда одного года урожая, но выращенного в разных климатических зонах Крыма. Изотопный состав водной компоненты виноградного растения, а впоследствии и вина, в значительной мере зависит от соответствующих характеристик местных метеорологических и грунтовых вод. С поверхности акватории непрерывно испаряется вода. При конденсации паров воды снова происходит разделение изотопов, и первые капли дождя содержат более «тяжелую» воду, чем последующие, а водяной пар, насыщенный «легкими» изотопами ^{16}O , уходит в более высокие слои атмосферы. Таким образом, по мере удаления от береговой линии и по мере увеличения высоты местности над уровнем моря, атмосферные осадки в большей степени обогащаются «легкими» изотопами ^{16}O [22-24]. Представленные данные на рис. 3 наглядно показывают эту закономерность.

Так, образцы вин из Южнобережной зоны характеризуются наиболее высокими значениями изотопных характеристик кислорода водной компоненты

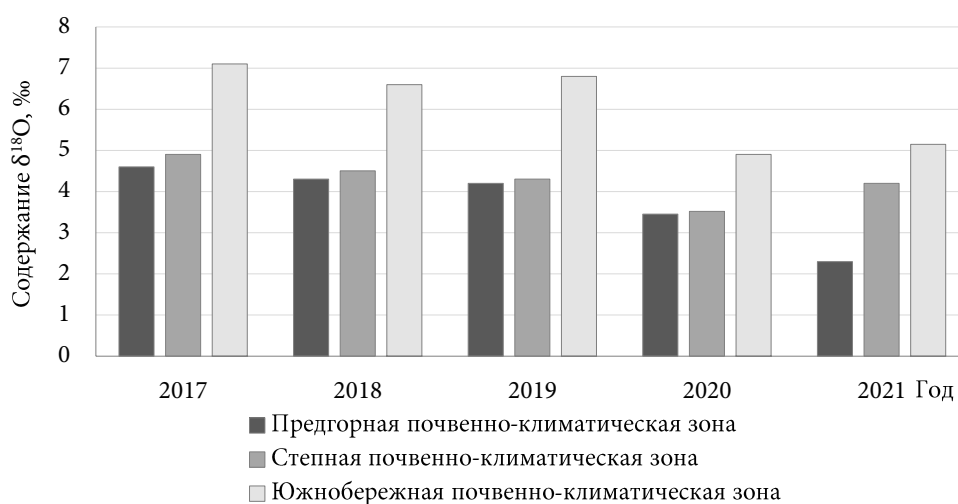


Рис. 3. Распределение значений изотопных отношений $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты полученных вин

Fig. 3. Distribution of $\delta^{18}\text{O}$ isotope ratios of water component in the resulting wines

по сравнению с другими зонами, а образцы из Предгорной зоны – наименьшими. Также необходимо отметить общую тенденцию к ежегодному снижению содержания изотопа ^{18}O в водной компоненте вин. Это может быть связано как с глобальными климатическими изменениями, так и с ежегодным дрейфом метеорологических характеристик.

Выводы

Исследования показали возможность использования показателей элементного профиля и изотопных характеристик водной компоненты вин для их классификации по географическому месту происхождения. Установлено, что образцы вин из Степной зоны Крыма обладают большим содержанием элементов Ва, Ве, Мп по сравнению с образцами из Южнобережной зоны, при этом для Предгорной зоны отсутствуют статистически значимые различия в значениях концентраций исследуемых элементов с образцами из других климатических зон. Образцы вин из Южнобережной зоны характеризуются наиболее высокими значениями изотопных характеристик кислорода водной компоненты по сравнению с другими зонами, а образцы из Предгорной зоны – наименьшими. Диапазон значений вин Крыма за период наблюдений составил от 1,7% до 8,7%. Выявлены различия, в некоторых случаях значительные, как в содержании элементов, так и в значениях $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты вин, произведенных в разные годы.

Таким образом, совокупный учет показателей элементного профиля и изотопных характеристик водной компоненты вин дают возможность использовать их для контроля категории вин, имеющих географический статус. В данном направлении исследования будут продолжены.

Благодарность

Авторский коллектив выражает признательность за помощь и предоставление опытных образцов винограда предприятиям виноградо-винодельческой отрасли Республики Крым – АО «Солнечная До-

лина» (с. Солнечная Долина, г. Судак); «Коктебель» (пос. Коктебель, г. Феодосия); ЧП «Акчурин» (с. Хмельницкое, г. Балаклава); ЧП «Грамотенко» (п. Васильевка, Ялта); ООО «Крымские виноградники» (с. Ромашкино, Сакский район); ООО «Крымские виноградники» (с. Медведево, Черноморский район); «Золотая Балка» (г. Балаклава); ЧП «Донцов» (с. Крайнее, Сакский район).

Источник финансирования

Не указан.

Financing source

Not specified.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

1. Ferrer-Gallego R., Hernández-Hierro J.M., Rivas-Gonzalo J.C., Escribano-Bailón M.T. Influence of climatic conditions on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Graciano. *Analytica Chimica Acta*. 2012;732(2):73–77. DOI 10.1016/j.aca.2011.12.072.
2. Rybalko E., Ostroukhova E., Levchenko S. Spatial distribution of Crimean agroecological resources as a factor of variability of the main and secondary metabolites of grapes. *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences. 2021;39:01001. DOI 10.1051/bioconf/20213901001.
3. Иванченко В.И., Баранова Н.В., Корсакова С.П., Рыбалко Е.А. Оптимизация размещения столовых сортов винограда в зависимости от агроэкологических ресурсов АР Крым: Тематический сборник. Ялта: НИ-ВиВ «Магарач». 2010:1-60.
Ivanchenko V.I., Baranova N.V., Korsakova S.P., Rybalko E.A. Optimization of the placement of table grape varieties depending on the agroecological resources of the Autonomous Republic of Crimea: Thematic collection. Yalta: Research Institute of Vine and Wine Magarach; 2010:1-60 (*in Russian*).
4. Территориальное деление виноградопригодных земель Российской Федерации, утвержденных ФСРО «Ассоциация виноградарей и виноделов России». rvwa.ru/20220608/59872.html (дата обращения: 20.07.2024). Territorial division of grape-suitable lands of the Russian Federation, approved by the FSRO Association of Winegrowers and Winemakers of Russia. <https://rvwa.ru/20220608/59872.html>. (date of access: 20.07.2024) (*in Russian*).
5. Rao C.R.M., Sahuquillo A., Lopez Sanchez J.F. A review of the different methods applied in environmental geochemistry for single and sequential extraction of trace elements in soils and related materials. *Water Air Soil Pollutions*. 2008;189:291–333. DOI 10.1007/s11270-007-9564-0.
6. Bertin C., Yang X., Weston L.A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant and Soil*. 2003;256:67–83. DOI 10.1023/A:1026290508166.
7. Абакумов А.Г., Титаренко В.О., Халафян А.А., Темердашев З.А., Каунова А.А. Установление сортовой принадлежности винограда по выявленным элементам-маркерам в ягоде и различных её составляющих частях // Аналитика и контроль. 2019;23(1):61-70. DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.002.
Abakumov A.G., Titarenko V.O., Khalafyan A.A., Temerdashev Z.A., Kaunova A.A. Grape cultivar assignments using the identified elements-markers of grape berry and its different constituent parts *Analytics and Control*. 2019;23(1):61-70. DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.002 (*in Russian*).
8. Redan B.W. Processing aids in food and beverage manufacturing: potential source of elemental and trace metal contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(46):13001–13007. DOI 10.1021/acs.jafc.9b08066.
9. Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Sviridov D.A. Modern analysis methods use in order to establish the geographic origin of food products. *Food systems*. 2020;3(1):4–9. DOI 10.21323/2618-9771-2020-3-1-4-9.
10. Camin F., Dordevic N., Wehrens R., Neteler M., Delucchi L., Postma G., Buydens L. Climatic and geographical dependence of the H, C and O stable isotope ratios of Italian wine. *Analytica Chimica Acta*. 2015;853:384-390. DOI 10.1016/j.aca.2014.09.049.
11. Hermann A., Voerkelius S. Meteorological impact on oxygen isotope ratios of German wines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2008;59:194–199. DOI. 10.5344/ajev.2008.59.2.194
12. Orellana S., Johansen A.M., Gazis C. Geographic classification of U.S. Washington State wines using elemental and water isotope composition. *Food Chemistry: X*. 2019;1:100007. DOI 10.1016/j.fochx.2019.100007.
13. Niculaua M., Coşofret S., Cotea V.V., Nechita C.B., Odăgeriu G. Consideration on stable isotopic determination in Romanian wines. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2006;128(4):25-31.
14. Adami L., Dutra S.V., Marcon A.R., Carnieli G.J., Roani C.A., Vanderlinde R. Geographic origin of Southern Brazilian wines by carbon and oxygen isotope analyses. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2010;24(20):2943-2948. DOI 10.1002/rcm.4726.
15. Drivelos S.A., Georgiou C.A. Multi-element and multi-isotope-ratio analysis to determine the geographical origin of foods in the European Union. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2012;40:38-51. DOI 10.1016/j.trac.2012.08.003.
16. Paleologos E.K., Kontominas M.G. Effect of processing and storage conditions on the generation of acrylamide in precooked breaded chicken products. *Journal of Food Protection*. 2007;70(2):466-470. DOI 10.4315/0362-028X-70.2.466.
17. Parati K., Bongioni G., Aleandri R., Galli A. Sex ratio determination in bovine semen: a new approach by quantitative real time PCR. *Theriogenology*. 2006;66(9):2202-2209. DOI 10.1016/j.theriogenology.2006.07.007.
18. Танашук Т.Н., Иванова Е.В., Кишковская С.А и др. Каталог промышленных штаммов дрожжей для виноделия. Симферополь: ИП Корниенко А.А., 2024:1-52.
Tanashchuk T.N., Ivanova E.V., Kishkovskaya S.A. et al. Catalog of industrial yeast strains for winemaking. Simferopol: IP Kornienko A.A. 2024:1-52 (*in Russian*).
19. Ranaweera R.K.R., Gilmore A.M., Capone D.L., Bastian S.E.P., Jeffery D.W. Authentication of the geographical origin of Australian Cabernet Sauvignon wines using spectrofluorometric and multi-element analyses with multivariate statistical modelling. *Food Chemistry*. 2021;335:127592. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.127592.
20. Redan B.W. Processing aids in food and beverage manufacturing: potential source of elemental and trace metal contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(46):13001–13007. DOI 10.1021/acs.jafc.9b08066.
21. Nicolini G., Larcher R., Pangrazzi P., Bontempo L. Changes in the contents of micro- and trace elements in wine due to winemaking treatments. *Vitis*. 2004;43(1):41–45. DOI 10.5073/vitis.2004.43.41-45.

22. Коротаева Е.Н., Мелехина Е.А. Вариация изотопного состава воды на территории Пермского края // Геология в развивающемся мире: Сборник научных трудов. 2014;2:174-177.
Korotayeva E.N., Melekhina E.A. Isotopic composition variation of water in the Perm region. *Geology in the Developing World: A Collection of Scientific Papers*. 2014;2:174-177 (in Russian).
23. Gonfiantini R., Roche M.-A., Olivry J.-C., Fontes J.-C., Zuppi G.M. The altitude effect on the isotopic composition of tropical rains. *Chemical Geology*. 2001;181(1-4):147-167. DOI 10.1016/S0009-2541(01)00279-0.
24. Hemmerle H., Geldern R., Juhlke T.R., Huneau F., Garel E., Santoni S., Barth J.A.C. Altitude isotope effects in Mediterranean high-relief terrains: a correction method to utilize stream water data. *Hydrological Sciences Journal*. 2021;66(9):1409-1418. DOI 10.1080/02626667.2021.1928672.

Информация об авторах

Лев Арсенович Оганесянц, д-р техн. наук, проф., академик РАН, научный руководитель; <https://orcid.org/0000-0001-8195-4292>;

Александр Львович Панасюк, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, зам. директора по научной работе; e-mail: Labvin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5502-7951>;

Дмитрий Александрович Свиридов, канд. техн. наук, науч. сотр.; <https://orcid.org/0000-0002-5595-0455>;

Александр Александрович Ильин, аспирант, e-mail: tetrapx@bk.ru;

Владимир Владимирович Лиховской, д-р с-х. наук, доцент, директор ФГБУН ВНИИВиВ «Магарач» РАН; e-mail: director@magarach-institut.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3879-0485>;

Виктор Афанасьевич Загоруйко, д-р техн. наук, проф., член-корр. НААН, гл. науч. сотр., зав. лабораторией коньяка; email: vikzag51@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1350-7551>;

Наталья Александровна Шмигельская, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией игристых вин; e-mail: nata-ganaj@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1244-8115>;

Анатолий Яковлевич Яланецкий, канд. техн. наук, вице-президент Союза виноделов Крыма; e-mail: yal.anatol@gmail.com.

Information about authors

Lev A. Oganesyants, Dr. Agric. Sci., Professor, Academician of the RAS, Research Advisor; <https://orcid.org/0000-0001-8195-4292>;

Alexander L. Panasyuk, Dr. Techn. Sci., Professor, Corresponding Member of the RAS, Deputy Director for Science; e-mail: Labvin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5502-7951>;

Dmitriy A. Sviridov, Cand. Techn. Sci., Staff Scientist; <https://orcid.org/0000-0002-5595-0455>;

Alexander A. Ilyin, Graduate Student; e-mail: tetrapx@bk.ru;

Vladimir V. Likhovskoi, Dr. Agric. Sci., Assistant Professor, Director of the FSBSI Institute Magarach of the RAS; e-mail: director@magarach-institut.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3879-0485>;

Viktor A. Zagorouiko, Dr. Techn. Sci., Professor, Corresponding Member of the NAAS, Chief Staff Scientist, Head of the Laboratory of Cognac and Brandy; e-mail: vikzag51@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1350-7551>;

Natalia A. Shmigelskaia, Cand. Techn. Sci., Senior Staff Scientist, Head of the Laboratory of Sparkling Wines; e-mail: nata-ganaj@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1244-8115>;

Anatoliy Ya. Yalanetsky, Cand. Techn. Sci., Vice-President of the Union of Winemakers of Crimea; e-mail: yal.anatol@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 08.08.2024, одобрена после рецензии 22.08.2024, принята к публикации 27.08.2024.