Масс-спектрометрия EA-IRMS / SIRA стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ в растворенном углекислом газе игристых и игристых жемчужных вин

А. Ю. Колеснов, д. т. н., С. Р. Цимбалаев, к. т. н.,
М. А. Зенина, Г. С. Терещенко
Российский университет дружбы народов, Москва
kolesnov-ayu@rudn.ru

УДК 543.51, ВАК 02.00.02
Статья поступила в редакцию 24.07.2019
Статья принята к публикации 12.08.2019

Представлен новый аналитический подход в исследовании состава стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ в углекислом газе, растворенном в игристых и игристых жемчужных винах. В подходе используется простой и быстрый способ подготовки пробы к исследованию, который исключает сложное и дорогостоящее оборудование. Способ впервые применен для исследования состава стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$) винодельческой продукции, представленной на российском рынке, с целью оценки природы углекислого газа. Результаты показывают, что значения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ диоксида углерода в исследованных образцах игристых и игристых жемчужных вин лежат в интервале от $-30,88$ до $-25,59\%$, а в газированном винном напитке достигают уровня $-42,14\%$. Разработка, основанная на предложенном способе подготовки проб к исследованию, показала свою эффективность в проведении научных исследований техногенных факторов, оказывающих прямое влияние на качество, в том числе подлинность пищевой продукции. Результаты апробации нового аналитического подхода позволяют рекомендовать его для применения в оценке качества игристых и игристых жемчужных вин, а также минеральной воды и других напитков, содержащих растворенный диоксид углерода.

ВВЕДЕНИЕ

Методология масс-спектрометрии IRMS / SIRA отношений стабильных изотопов легких элементов (углерода, водорода, кислорода, азота и серы) широко представлена в зарубежных и отечественных изданиях. На страницах журнала «АНАЛИТИКА» в 2016 и 2018 годах опубликованы статьи, в которых описаны масс-спектрометрические методы исследования отношений стабильных изотопов кислорода $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ во внутриклеточной воде винограда, а также в воде сусел и вин (метод EQ-IRMS / SIRA) и углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ в этаноле винодельческой продукции (метод GC-IRMS / SIRA) [1, 2]. В настоящей публикации представлен новый подход в масс-спектрометрическом исследовании изотопии углерода в растворенном углекислом газе,

содержащемся в сатурированных водно-спиртовых продуктах, например, в игристых и игристых жемчужных винах, минеральной воде, газированных напитках и др.

Определение изотопного состава углерода в растворенном углекислом газе игристых вин и других напитков предполагает предварительное выделение газа из исследуемого образца с последующим отбором необходимого объема для проведения масс-спектрометрического измерения. В отечественных нормативных документах описаны два различных подхода к подготовке пробы к исследованию. Согласно методу, приведенному в национальном стандарте ГОСТ Р 55460-2013 «Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах

и напитках брожения», диоксид углерода из образца игристого вина предлагается выделять с помощью оригинального устройства, представляющего собой систему капилляров, резервуаров и газовых вентилей, подсоединяемую через пробку непосредственно к закрытой бутылке с вином (рис. 1). Исходя из содержания стандарта, в особенности из оригинальности конструкции приспособления (см. рис. 1), следует, что лаборатория, планирующая использование этого нормативного документа, должна изготовить устройство либо самостоятельно, либо по специальному заказу, поскольку в коммерческой сети предложения по подобному оборудованию отсутствуют. Конструкция устройства не простая, то же самое можно сказать и о самой процедуре подготовки пробы к анализу – выделения диоксида углерода из вина, описанной в ГОСТ Р 55460-2013.

В методе, приведенном в другом нормативном документе – национальном стандарте ГОСТ Р 55518-2013 «Продукция винодельческая. Определение состава растворенного диоксида углерода методом изотопного уравнивания», описан достаточно сложный способ подготовки проб к масс-спектрометрическому измерению. Пробу вина малого объема помещают в пробирку, снабженную винтовой крышкой с силиконовой мембраной, после чего атмосферный воздух удаляют из свободного объема пробирки продувкой чистым гелием через капилляры, проходящие через мембрану крышки пробирки. Далее пробирку с пробой термостатируют для насыщения газовой фазы диоксидом углерода вина, после чего из газовой фазы микрошприцем отбирают пробу для масс-спектрометрического анализа. Метод занимает много времени и требует контроля над рядом параметров – расходом гелия, продолжительностью

продувки, температурой термостатирования и др. В качестве альтернативы предполагается использовать дорогостоящий инструментальный комплекс, который включает штатив для термостатирования с прецизионным регулятором температуры, автосамплер особой конструкции для продувки гелием емкостей с образцами и отбора проб из газовой фазы, газо-хроматографический модуль для очистки пробы и выделения диоксида углерода, специальную сплит-систему для соединения с масс-спектрометром IRMS / SIRA.

Цель настоящей работы – разработка простой, легко воспроизводимой и надежной методики подготовки пробы – выделения диоксида углерода из вина к масс-спектрометрическому измерению с применением минимального количества стандартного оборудования, обычно используемого в масс-спектрометрическом исследовании состава стабильных изотопов легких элементов (IRMS / SIRA).

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Образцы винодельческой продукции

Практическую апробацию метода проводили на пяти образцах российской винодельческой продукции, представленной в торговой сети. В перечень продуктов входили два образца игристого вина брют с защищенным географическим указанием «Крым», один образец игристого вина полусухого с защищенным географическим указанием «Крым», один образец игристого жемчужного вина полусухого розового с защищенным географическим указанием «Крым» и один образец газированного напитка винного особого.

Инструментальное обеспечение

Практическая реализация методологии EA-IRMS / SIRA в лаборатории фундаментальных и прикладных исследований качества и технологий пищевых продуктов (ПНИЛ) ЦКП (НОЦ) РУДН основана на применении аналитического комплекса, в состав которого входят следующие специальные приборы и инфраструктурное оборудование:

1. элементный анализатор FlashEA 1112 Series (Thermo Scientific, США), оснащенный окислительным и восстановительным реакторами, встроенными газо-хроматографическим и водопоглощающим модулями, а также мембранной насадкой для ручного ввода проб в окислительный реактор (рис. 2);
2. открытая сплит-система для управления газовыми потоками Conflo III (Thermo Scientific, США) (рис. 3);
3. масс-спектрометр IRMS / SIRA, предназначенный для измерения отношений стабильных изотопов легких элементов в изотопомерах элементарных газов, модель Delta V Advantage (Thermo Scientific, США) (рис. 4);

Рис. 1. Схема устройства отбора проб углекислого газа из свободного внутреннего объема бутылки с игристым вином (по ГОСТ Р 55460-2013)

Рис. 2. Элементный анализатор FlashEA 1112 Series (Thermo Scientific, США)

4. компьютерная рабочая станция Optiplex 745 (Dell, США) с программным обеспечением высокого уровня Isodat NT 2.5 (Thermo Scientific, США) для подготовки и контроля измерения, регистрации данных и расчета конечных результатов, а также с программным обеспечением Eager 300 для управления элементарным анализатором (1);
5. инфраструктурное оборудование (ООО «Сигм-Плюс», Россия) для стабильного снабжения аналитического комплекса рабочими газами высокой степени очистки, в том числе газом-носителем – гелием

Рис. 3. Сплит-система для управления газовыми потоками Conflo III (Thermo Scientific, США)

Рис. 4. Масс-спектрометр IRMS/SIRA – модель Delta V Advantage (Thermo Scientific, США)

- (99,9999%, АО «МГПЗ», Россия), рабочим стандартным газом – диоксидом углерода (99,997%, АО «МГПЗ», Россия), вспомогательным газом – кислородом (99,999%, АО «МГПЗ», Россия);
6. стеклянные емкости для подготовки проб (выделения диоксида углерода из вина) вместимостью от 30 до 100 мл с герметичной винтовой крышкой с силиконовой мембранной вставкой (рис. 5);
7. одноразовый медицинский шприц вместимостью 1,0 мл со стальной иглой длиной 30 мм;
8. в качестве образца сравнения для калибровки рабочего газа – диоксида углерода (5) был использован международный стандартный образец – этанол виноградно-происхождения BCR-656 (96 об.%,

Рис. 5. Образец стеклянной емкости для подготовки проб (выделения растворенного диоксида углерода) с герметичной винтовой крышкой и силиконовой мембранной вставкой

Рис. 6. Основные аналитические приборы и инфраструктурное оборудование для проведения исследований по методологии EA-IRMS/SIRA

$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -26,91 \pm 0,07\%$, Community Bureau of Reference BCR of the European Commission, индивидуальный идентификационный номер образца 00425).

Основные приборы и инфраструктурное оборудование аналитического комплекса представлены на рис. 6. Для измерения состава изотопов углерода ^{13}C и ^{12}C в растворенном диоксиде углерода были использованы оборудование, расходные материалы и газы из вышеперечисленного перечня (1–7).

Подготовка пробы к масс-спектрометрическому измерению

Стеклянную емкость (6) заполняют исследуемым игристым вином, предварительно охлажденным до температуры 4–5 °С. Важно полностью заполнить емкость для исключения свободного воздушного объема после укупорки. Сосуд с образцом закрывают крышкой, которую навинчивают, оставляя свободными 1–2 оборота. В таком виде емкость помещают в водяную баню температурой 35–40 °С и выдерживают одну минуту для вытеснения остаточного атмосферного воздуха диоксидом углерода, выделяющимся из вина в результате повышения температуры. Более высокий удельный вес диоксида углерода обеспечивает эффективное вытеснение воздуха. После предварительной тепловой выдержки крышку герметично завинчивают и продолжают нагревать емкость с вином в водяной бане в течение 2–3 мин. Затем емкость извлекают из воды, переворачивают горловиной вниз, незначительно (на 0,5–1 оборота)

ослабляют крышку и оставляют на 5–10 с в таком состоянии. Под действием избыточного давления определенный объем вина вытекает из емкости. При этом в верхней части перевернутой емкости образуется свободный объем, который не содержит атмосферного воздуха и заполнен диоксидом углерода, выделившимся из пробы в результате падения давления. Не дожидаясь окончания выхода избытка пробы, крышку снова герметично завинчивают, поддерживая при этом емкость в перевернутом положении – крышкой вниз. Затем емкость переворачивают крышкой вверх, после чего шприцем (7) через мембрану отбирают 100 мкл газовой фазы (диоксида углерода) для последующего масс-спектрометрического измерения.

Описанный способ подготовки пробы – выделение растворенного диоксида углерода из вина – полностью

исключает вероятность контаминации газовой фазы атмосферным воздухом и обеспечивает в емкости некоторое избыточное давление. Последнее является важным фактором для исключения загрязнения пробы воздухом в процессе ее отбора шприцем из газовой фазы (7).

Условия окислительно-восстановительного преобразования и измерения

После отбора пробы диоксида углерода шприцем (7) ее вводят через мембранную насадку в окислительный реактор элементного анализатора (1), нагретый до 900 °С. Скорость потока гелия (5) через систему элементного анализатора составляет 100 мл/мин. После окислительного реактора проба в потоке гелия проходит через восстановительный реактор (650 °С), затем для удаления остаточной воды – через водопоглощающий модуль, заполненный перхлоратом магния. Для очистки диоксида углерода от возможных сопутствующих газовых загрязнений в конструкции элементного анализатора (1) предусмотрена насадочная газохроматографическая колонка длиной до 1,5 м, заполненная молекулярным ситом. Колонка помещена в термостат с температурой 40 °С.

Для количественного измерения состава изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в изотопомерах углекислого газа, выделенного, например, из игристого вина, пробу направляли в масс-спектрометр (3) через интерфейс – открытую сплит-систему (2). Для проведения измерения масс-спектрометр был настроен на следующий режим: ускоряющее напряжение – 3,07 кВ, рабочее давление в ионном источнике – $1,2 \cdot 10^{-7}$ кПа,

уровень энергии электронов составил для генерации ионизированных молекул диоксида углерода – 124 эВ. Масс-спектрометр IRMS / SIRA (3) оснащен пятью детекторами – ионными ловушками («чашками Фарадея»), три из которых осуществляют одновременный непрерывный мониторинг сигнала $[\text{CO}_2]^+$ для основных ионов с массами 44 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$), 45 ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$ и $^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$) и 46 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$). Для обеспечения значимого уровня сигнала резисторы отклика были настроены на значения $3 \cdot 10^8$, $3 \cdot 10^{10}$ и $1 \cdot 10^{11}$ Ом для масс 44, 45 и 46 соответственно. В начале каждого измерительного цикла в масс-спектрометр подаются по три импульса калиброванного рабочего газа – чистого диоксида углерода (5), предварительно калиброванного по образцу сравнения (8), в конце измерения – по два импульса. Регистрация и обработка результатов исследований, а также управление всеми приборами аналитического комплекса осуществляются через специализированную компьютерную рабочую станцию Dell Optiplex 745, программным пакетом высокого уровня Isodat NT 2.5 и программой управления элементом анализатором Eager 300. Время масс-спектрометрического измерения одной пробы составляет 610 с.

На рис. 7 представлен типичный цифровой и графический модуль регистрации и обработки данных измерения

одной пробы диоксида углерода, например, из игристого вина, проведенного методом EA-IRMS / SIRA с применением разработанного способа подготовки пробы к масс-спектрометрическому измерению.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерений отношений стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ выражают в виде величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ в промилле (‰). Расчет значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ осуществлялся непосредственно в процессе регистрации и обработки данных программным пакетом Isodat NT 2.5. В основе расчета лежит следующая формула:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{пр}} - \left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{ст}} \right] / \left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{ст}} \times 1000, \quad (1)$$

где $(^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{пр}}$ – отношение изотопов углерода в пробе, $(^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{ст}}$ – отношение изотопов углерода в стандартном образце.

В расчете использовали измеренные значения интенсивности сигналов молекул углекислого газа с массами 46 и 44. Для контроля правильности результатов проводится одновременная коррекция значений интенсивности сигнала для исключения возможного влияния изобар $^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$

Рис. 7. Типичный графический и цифровой модуль регистрации и обработки результатов измерения изотопии углерода в углекислом газе игристых вин (программный пакет Isodat NT 2.5, Thermo Scientific, США)

Таблица 1. Результаты исследования состава стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в растворенном диоксиде углерода российской винодельческой продукции методом EA-IRMS/SIRA с применением нового аналитического подхода

Описание образца	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ растворенного диоксида углерода (‰)	Погрешность измерений $\pm U$ (‰)
Игристое вино брют, ЗГУ «Крым»	-28,29	0,10
Игристое вино брют, ЗГУ «Крым»	-25,59	0,28
Игристое вино полусухое, ЗГУ «Крым»	-29,19	0,20
Игристое жемчужное вино полусухое, ЗГУ «Крым»	-30,88	0,06
Напиток винный особый газированный (Московская область)	-42,14	0,24

и $^{13}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$, доля которых определяется по активности сигнала по массе 45 с учетом степени распределения изотопов ^{13}C и ^{17}O в природе (соответственно 1,11 и 0,0375%).

Результаты апробации предлагаемого аналитического подхода, основанного на простом способе подготовки пробы, представлены в табл. 1. Измерения проводили в трех повторностях. Для каждой серии рассчитывали уровень погрешности (неопределенности) измерений (U) с использованием соответствующих значений относительного стандартного отклонения серии измерений (RSD), коэффициента охвата $k=2$ при уровне доверительной вероятности $P=95\%$ в соответствии с рекомендациями, опубликованными в [3].

Оценка полученных результатов относительно природы растворенного диоксида углерода в исследованных образцах вин позволяет сделать вывод об их совпадении с научными данными, опубликованными в специализированной литературе [4–10]. Результат исследования винного напитка показывает, что он насыщен промышленным углекислым газом.

Обобщение совокупности опубликованных до настоящего времени научных знаний об изотопии углерода в углекислом газе, образующемся в ходе вторичного брожения при изготовлении игристых вин, позволяет сформировать общий интервал изменения значений величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, который будет определяться границами от -30,0 до -7,0‰. Этот интервал учитывает также факторы технологического характера, которые вытекают из технологических способов и правил, применяемых в производстве игристых и игристых жемчужных вин [12–13], в том числе установленных в соответствующих нормативных документах, например, в межгосударственном стандарте ГОСТ 33311-2015 «Вина игристые. Основные правила производства». Так, например, в соответствии с последним документом в качестве сахаросодержащего продукта для проведения вторичного

брожения кроме виноградного сусла, в том числе концентрированного, допускается использование резервуарного (тиражного) или экспедиционного ликера, изготавливаемого на основе сахара-песка или белого сахара. При этом, в отличие от виноградного сусла и содержащихся в нем углеводов, происхождение сахара-песка и белого сахара связано с такими представителями растений C_3 - и C_4 -пути фотосинтеза, как, например, сахарная свекла, кукуруза, сорго и сахарный тростник. Дополнительно необходимо принимать во внимание, что указанным выше межгосударственным стандартом в производстве игристых и игристых жемчужных вин допускается использование промышленной двуокиси углерода для защиты виноматериалов и игристых вин от отрицательного воздействия кислорода воздуха и окисления, а также в качестве рабочего газа для создания противодавления при перемещении вина после окончания вторичного брожения. Следует подчеркнуть, что при этом не должно происходить повышения давления в игристом вине за счет применения сторонней двуокиси углерода. Отдельно необходимо отметить, что диапазон значений величины $\delta^{13}\text{C}$, приведенный в ГОСТ Р 55460-2013 «Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения» (раздел 1 «Область применения») и составляющий «от -28‰ до -8‰», не соответствует современным научным знаниям об изотопии углерода в углекислом газе натуральных игристых вин. Поэтому его применение для оценки результатов масс-спектрометрического определения отношения изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах, полученных путем вторичного брожения, во избежание недостоверных выводов должно быть исключено, в том числе по нормативным причинам, так как ГОСТ Р 55460-2013 не устанавливает требований к качеству и безопасности продукции, поскольку это стандарт на аналитический метод.

Проблематика применения сторонней двуокиси углерода в производстве игристых вин связана с тем, что промышленный углекислый газ в настоящее время получают двумя способами:

- из побочных газов химических производств, прежде всего синтетического аммиака и метанола (в побочных газах содержится примерно 90% углекислого газа);
- из дымовых газов промышленных котельных, сжигающих природный газ, уголь и другое топливо (в дымовом газе содержится 12–20% углекислого газа).

Полученный перечисленными способами промышленный углекислый газ по своему составу будет характеризоваться дефицитом «тяжелого» изотопа углерода ^{13}C , что в конечном итоге определит низкий количественный уровень величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, значения которой составят менее –31‰. В результате может быть сделан отрицательный вывод о подлинности продукции из-за применения технологических приемов с использованием промышленного углекислого газа при производстве игристых вин, перечисленных в ГОСТ 33311-2015. Поэтому во избежание нежелательных изменений изотопии углерода в углекислом газе, растворенном в игристых винах, изготовителям винодельческой продукции с учетом требований ГОСТ 33311-2015 рекомендуется вместо промышленной двуокиси углерода применять в производстве аргон, азот или смеси этих газов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая апробация разработанного способа подготовки пробы для анализа состава углерода в растворенном диоксиде углерода подтвердила ряд достоинств, которые выделяют его в качестве предпочтительного для проведения достоверной оценки качества игристых вин с применением методологии EA-IRMS / SIRA для исследования отношений стабильных изотопов легких элементов. К подтвержденным достоинствам относятся в том числе:

- простота и легкость воспроизведения;
- малые затраты времени;
- отсутствие необходимости использования специального (дорогостоящего) аналитического оборудования и оборудования общелабораторного назначения;
- отсутствие риска изотопного фракционирования и / или загрязнения пробы в ходе ее подготовки к измерению;
- совместимость процедуры измерения с международным методом исследования изотопии углерода в углекислом газе игристых вин [9];
- наличие предпосылок для автоматизации измерений при рутинном анализе большого количества образцов.

Отдельно необходимо отметить универсальность разработанного способа подготовки пробы (выделения диоксида

углерода) и масс-спектрометрического измерения отношений стабильных изотопов углерода EA-IRMS / SIRA, которые наряду с игристыми и игристыми жемчужными винами могут быть применены для исследования природы углекислого газа, содержащегося в сатураированных напитках, в том числе в минеральной воде, пиве, шорле, газированных сидрах, пуаре и других напитках брожения. Так, например, применение методологии EA-IRMS / SIRA в сочетании с предлагаемым способом подготовки проб позволяет с высокой степенью достоверности дифференцировать природные минеральные воды и воды, сатураированные промышленным углекислым газом. В отличие от последних, значения величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, характеризующей состав изотопов углерода в углекислом газе природных минеральных вод натуральной газации, лежат в интервале от –8,0 до 0,0‰, а соответствующие значения для растворенного в природной минеральной воде неорганического (в основном карбонатного) углерода достигают уровня 7,0‰ [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Колеснов А., Агафонова Н., Зенина М. Масс-спектрометрия стабильных изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в винограде и винодельческой продукции Крыма // АНАЛИТИКА. 2016. 3 (28). С. 72–82.
2. Колеснов А., Цимбалаев С., Шольц-Куликов Е., Геок В. Хромато-масс-спектрометрия GC-IRMS / SIRA стабильных изотопов углерода в летучих органических соединениях // АНАЛИТИКА. 2018. 3(40). С. 264–272.
3. Wood R., Nilsson A., Wallin H. Quality in the food analysis laboratory // Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 1998. P. 142–147.
4. Dunbar J. Use of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for Studying the Origin of CO_2 in Sparkling Wines // Fresenius' Zeitschrift fuer Analytische Chemie. 1982. V. 311. P. 578–580.
5. Martinelli L. A., Moreira M. Z., Ometto J. P. H. B., Alcarde A. R., Rizzon L. A., Stange E., Ehleringer J. R. Stable carbon isotopic composition of the wine and CO_2 bubbles of sparkling wines: Detecting C_4 sugar additions // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003. V. 51. P. 2625–2631.
6. Habanero A. I., San-Hipolito T., Ruperez M. GasBench isotope ratio mass spectrometry: a carbon isotope approach to detect exogenous CO_2 in sparkling drinks // Rapid Communications in Mass Spectrometry. 2007. V. 21. P. 3323–3328.
7. Boner M., Foerstel H. Examination of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Isotopes in sparkling and semi-sparkling wine with the aid of simple on-line sampling // Isoprime Applications Note 015, 2012. 7 p.
8. Leonardelli S., Dutra S. V., Carnieli G. J., Spinelli F., Ferreira D. d. S., Vanderlinde R. Exogenous CO_2 in South American sparkling wines // BIO Web of conferences, 2016. – 7 (02001). – 4 pages. DOI: 10.1051/bioconf/20160702001. 39th World Congress of Vine and Wine
9. Determination of the carbon isotope ratio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of CO_2 in sparkling wines. Method using isotope ratio mass spectrometry (IRMS). Resolution Oeno 7/2005, Revised by OIV-OENO 512–2014 // Compendium of International methods of Wine and Must Analysis of the International Organisation of Vine and Wine (OIV) / Paris: OIV, 2017. V. 1. 510 P.
10. Calderone G. Application des techniques isotopiques modernes pour la caractérisation de produits alimentaires et de boissons // Thèse de Doctorat, Université de Nantes, European Communities, 2004. 252 p.
11. Redondo R. Determination of CO_2 origin (natural or industrial) in sparkling bottled waters by $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratio analysis / Redondo R., Yelamos J. G. // Food Chemistry. 2005. 9. P. 507–514.
12. Валушко Г. Г., Косюра В. Т. Справочник по виноделию. – Симферополь: Таврида, 2005. 589 с.
13. Валушко Г. Г. Технология виноделия. – Симферополь: Таврида, 2001. 624 с.

ИНЭОС

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
приглашает ученых и представителей бизнес-сообщества принять участие в

Юбилейной международной конференции, посвященной 65-летию ИНЭОС РАН и 120-летию со дня рождения академика А. Н. Несмеянова

18–22 ноября 2019 года в ИНЭОС РАН

Целью конференции является обсуждение последних достижений и обмен опытом между ведущими российскими и зарубежными учеными в области химии элементоорганических соединений и полимерных материалов. С пленарными лекциями согласились выступить ведущие российские и зарубежные ученые: члены Российской академии наук А.Р. Хохлов, И.Л. Еременко, И.Л. Федюшкин, С.Н. Калмыков, профессора К. Matyjaszewski (США), S.P. Nolan (Бельгия), P. Chirik (США), С. Coréret (Швейцария), Т. Yokozawa (Япония) и др. В рамках конференции пройдет традиционный ежегодный открытый конкурс научных работ «ИНЭОС OPEN CUP 2019». Для участия в конкурсе принимаются экспериментальные и теоретические работы в области химии элементоорганических соединений, высокомолекулярных соединений, органической химии, а также физико-химических методов исследования строения вещества. Работы для участия в конкурсе «ИНЭОС OPEN CUP» проходят экспертизу независимым жюри конкурса, которое также отбирает работы для публикации в специальном сборнике «ИНЭОС OPEN SELECT». Работы, имеющие выраженные прикладные перспективы, будут выделены в отдельную сессию очной части конкурса «ИНЭОС OPEN APPLIED», после которой 22 ноября 2018 года состоится круглый стол «Металлокомплексный катализ: от теории к практике». Победители конкурса будут отмечены денежными премиями.

Подробная информация о конференции и о конкурсе – на сайте
www.ineos.ac.ru

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ: