

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-57-62>
УДК 632.95:633/635-021.66

Федорова Н.Е., Егорова М.В.,
Родионов А.С., Гречина М.С.

Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр гигиены
им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по
надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека
141014, Россия, Московская обл.,
г. Мытищи, ул. Семашко, 2
E-mail: analyt1@yandex.ru.

Финансирование. Исследование
не имело спонсорской поддержки

Конфликт интересов: Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Федорова Н.Е., Егорова
М.В., Родионов А.С., Гречина М.С.
Контроль остаточных количеств
медьсодержащих пестицидов в растительной
продукции. *Овощи России*. 2020;(3):57-62.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-57-62>

Поступила в редакцию: 21.05.2020
Принята к печати: 14.06.2020
Опубликована: 25.07.2020

Natalia E. Fedorova,
Marina V. Egorova,
Alexander S. Rodionov,
Marina S. Grechina

«Federal scientific center of Hygiene» named after
F.F. Erisman of the Federal Service of Surveillance
in the Sphere of Consumer Rights Protection and
Human Welfare
2, Semashko str., Mytishi,
Moscow region, Russia, 141014
E-mail: analyt1@yandex.ru.

Funding. The study did not have sponsorship.

Conflict of interest: The authors declare
no conflict of interest.

For citation: Fedorova N.E., Egorova M.V.,
Rodionov A.S., Grechina M.S. Control of residual
amounts of copper-containing pesticides in plant
products. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(3):57-
62. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-57-62>

Received: 21.05.2020
Accepted for publication: 14.06.2020
Accepted: 25.07.2020

Контроль остаточных количеств медьсодержащих пестицидов в растительной продукции

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В работе рассматриваются проблемы определения остаточных количеств медьсодержащих пестицидов для гигиенической оценки безопасности их применения в сельском хозяйстве. Медь входит в число необходимых микро-элементов как для человека, так и для нормальной жизнедеятельности растений, что определяет уровень ее естественного содержания во всех видах растительного сырья и приготовленных из него пищевых продуктов. Обработка сельскохозяйственных культур популярными медьсодержащими пестицидами может приводить к накоплению меди в растительной продукции и вызывать негативные последствия для здоровья человека.

Материал и методика. Авторами разработаны методические подходы и условия для получения достоверных результатов по определению остаточных количеств действующих веществ пестицидов на фоне естественных содержаний меди в различных видах растительной продукции. Основное внимание уделено вопросам пробоподготовки образцов продукции. Предложено использовать способы микроволновой минерализации для разложения образцов, гомогенизированных методом криоизмельчения с сухим льдом, с последующим анализом методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. Подробно описаны методики исследований и необходимые режимы пробоподготовки.

Результаты. Приведены данные об уровнях естественного содержания меди в образцах картофеля, лука, огурцов, томатов и винограда различных сортов и районов произрастания, полученные при проведении регистрационных испытаний пестицидов. Показана возможность применения разработанных подходов для изучения динамики накопления действующего вещества в период вегетации. Исследование динамики накопления и разложения действующих веществ применяемых пестицидов представляет значительный научный и практический интерес при решении вопросов о возможности применения того или иного препарата и разработке рациональной технологии и мероприятий системы защиты растений.

Ключевые слова: медьсодержащие пестициды; растительные продукты; атомно-абсорбционный анализ, криоизмельчение, микроволновая минерализация.

Control of residual amounts of copper-containing pesticides in plant products

ABSTRACT

Relevance and methods. Methodological approaches to assessing the residual amounts of copper-containing pesticides in plant products against the background of natural copper content are presented. The conditions for obtaining reliable results when conducting a hygienic assessment of the content of residual amounts of the active substance are determined. The developed scheme for determining the residual amounts of copper-containing pesticides includes the homogenization of the analyzed material by shredding with dry ice and microwave mineralization of samples with subsequent flameless atomic absorption determination of copper.

Results. Data on the levels of natural copper content in samples of potatoes, onions, cucumbers, tomatoes and grapes of various varieties and growing areas are presented. The possibility of applying the developed approaches to study the dynamics of accumulation of active substances during the growing season is shown.

Keywords: copper-containing pesticides; plant products; atomic absorption analysis, shredding with dry ice, microwave mineralization.

Контроль остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах и продовольственном сырье является важным звеном в числе задач, направленных на обеспечение продовольственной безопасности страны. Медьсодержащие пестициды являются одними из наиболее популярных и дешевых средств для защиты полевых и садовых культур. В состав действующих веществ данного класса препаратов входят различные неорганические соединения меди: сульфат, оксихлорид, гидроокись. При обработке сельскохозяйственных культур медь попадает в почву, откуда она поступает в растения, а затем и в пищу. Отмечено, что регулярные ежегодные обработки медьсодержащими фунгицидами могут приводить к кумуляции ее в почве [1].

С точки зрения воздействия на организм, соединения меди не относят к токсичным. Являясь необходимым для человека микроэлементом, медь участвует во многих биологических процессах. В то же время превышения меди выше максимально допустимых уровней могут приводить к негативным последствиям для здоровья человека, прежде всего для нервно-психической сферы [2,3,4], а также к нарушению микроэлементного обмена и баланса с содержанием других металлов, в частности с цинком.

Медь входит в число необходимых микроэлементов также и для нормальной жизнедеятельности растений, что определяет уровень ее естественного содержания во всех видах растительного сырья и приготовленных из него пищевых продуктов. В растениях медь является необходимым кофактором белков – купропротеинов, медь обеспечивает нормальное функционирование клеток, однако избыток меди может оказывать пагубное воздействие и на растения, что неоднократно отмечалось и в работах зарубежных специалистов [5,6]. Потенциальная фитотоксичность меди обусловлена образованием реактивных кислородных радикалов, повреждающих клетки, а также в нарушении клеточных процессов, инактивирующих ферменты и нарушающие структуру белков [7].

Для гигиенической оценки безопасности химических соединений, используемых в качестве пестицидов, интерес представляют данные о повышенных содержаниях меди в растениях, обусловленных применением конкретного медьсодержащего пестицида.

Анализ содержания меди в объектах растительного происхождения не представляет значительных трудностей. Основным методом определения меди, как и других металлов, остается метод атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

Основная проблема, связанная с решением поставленной задачи, заключается в том, что ААС позволяет констатировать только общее содержание того или иного металла в объекте анализа, переведенном в состояние атомного пара. Делать выводы об остаточных количествах конкретного медьсодержащего пестицида возможно лишь косвенным путем на основании различий при сравнении опытных образцов продукции, выращенной с применением пестицида, и контрольных, не подвергавшихся обработке.

В свою очередь, достоверность отличий в содержании исследуемого аналита в контрольных и опытных образцах зависит от разброса результатов по каждому образцу и определяется многими факторами, в том числе условиями отбора и подготовки проб к анализу, включающей стадии гомогенизации и минерализации.

В настоящем исследовании предложено использовать сочетание двух современных способов пробоподготовки – микроволновую минерализацию для разложения образцов, гомогенизированных методом криоизмельчения с сухим льдом.

Микроволновой способ пробоподготовки к настоящему времени зарекомендовал себя как наиболее удобный

и надежный прием разрушения сложной органической матрицы, характерной для данного типа объектов анализа, при котором максимально исключаются потери определяемых элементов и многократно снижаются временные затраты по сравнению с традиционными способами сухого озоления или кислотной минерализации [8,9]. Однако при его использовании необходимо учитывать некоторые особенности – возможность использовать достаточно малые навески образцов и тот факт, что эффективность минерализации напрямую зависит от степени гомогенности исходного материала.

Характерным отличием объектов растительного происхождения является их природная выраженная гетерогенность, в связи с чем попытки качественного измельчения образцов, тем более большего объема, в большинстве случаев не приводят к желаемому результату. Неоднородность анализируемого материала влияет на разброс результатов определения содержания исследуемого аналита в образцах и затрудняет интерпретацию результатов исследований.

Практически полностью решить данную проблему позволяет использование криообработки, сравнительно новой технологии, при которой на стадии измельчения растительного сырья применяется низкая температура. Измельчаемый материал перемалывается до состояния легкой муки. Важно, что при этом сохраняются естественные пропорции и формы веществ, входящих в состав исследуемого объекта [10]. Специальными исследованиями [11] показано, что подобный способ гомогенизации позволяет обеспечить сверхтонкое измельчение исследуемых материалов от 1 мкм до 56 мкм за один цикл.

Цель исследования – разработка методических подходов к установлению остаточных уровней медьсодержащих пестицидов в образцах растительной продукции методом атомно-абсорбционного анализа после криоизмельчения образцов с последующей микроволновой минерализацией.

В задачи исследования входили поиски оптимальных условий пробоподготовки на стадиях гомогенизации и минерализации образцов различных культур, позволяющих достичь метрологических характеристик анализа, обеспечивающих возможность получения данных о динамике содержания остаточных количеств действующего вещества после их обработки медьсодержащим препаратом в период вегетации. Одновременно предпринято исследование содержания меди в промышленном диоксиде углерода, применяемом в качестве хладагента, для оценки возможного влияния этого фактора на ошибку анализа.

Материалы и методы

Исследования проводили на образцах ботвы и клубней картофеля, ягод винограда, лука, плодов и листьев томатов, отобранных в натуральных условиях в период регистрационных испытаний пестицидов при обработке полевых и садовых культур препаратами, в число действующих веществ которых входили медьсодержащие пестициды в форме оксихлорида и карбоната меди. Отбор проб проводился в различных климатических зонах несколько раз за период вегетации от дня последней обработки препаратом и до получения урожая. Одновременно в те же сроки отбирались и контрольные образцы с участков, не обработанных пестицидом.

При подготовке образцов к минерализации и дальнейшему анализу применялось криоизмельчение всей массы предоставленного исходного материала с сухим льдом в качестве охлаждающего агента при помощи куттера Robot Coupe R10 с емкостью рабочей чаши 11,5 л и

скоростью вращения до 3000 об/мин. Данный прибор предназначен для измельчения проб растительного и животного происхождения с сухим льдом эффективным способом за оптимально короткое время.

В качестве хладагента для экспериментального крио-помола был выбран углекислый газ (CO₂) в агрегатном состоянии сухой лед по ГОСТ 12162-77.

До измельчения все образцы хранились в холодильной камере при температуре -20°C. Для получения гомогенизированной пробы весь образец целиком помещался в чашу куттера вместе с сухим льдом в соотношении 2:1, по объему. Максимальное время измельчения составляло 6 минут для одного цикла загрузки.

Предварительная минерализация образцов растительной продукции во всех случаях проводилась с использованием системы микроволновой пробоподготовки МС-6 (НПФ Вольта, С.-Петербург). Пробоподготовку проводили в несколько стадий в соответствии с рекомендациями производителя оборудования. Режимы МВ-разложения для разного типа матриц приведены в табл. 1.

присутствия в нем анализируемых металлов. Для оценки степени загрязнения хладагента медью был проведен специальный эксперимент. В две одинаковые емкости поместили по 50 см³ свежеприготовленной деионизированной воды. Затем в одну из них (опыт) добавили определенный объем сухого льда. По прошествии некоторого времени, дождавшись полного испарения хладагента и достижения первоначального объема жидкости в контрольной и опытной емкостях, провели сравнительный анализ жидкости из двух сосудов на содержание меди.

Результаты и обсуждение

Эффективность пробоподготовки, включающей стадии гомогенизации и минерализации, оценивали в процессе валидации метода по результатам определения меди в модельных образцах исследуемых проб, приготовленных из контрольных образцов продукции, с внесением меди на уровнях нижнего и 3-10 (в зависимости от рабочего диапазона) пределов количественного определения для каждой культуры.

Пределы количественного определения на примере

Таблица 1. Условия микроволнового разложения для образцов пищевых продуктов
Table 1. Conditions of microwave decomposition for some food products

Образец	Масса навески, г	Реагент, мл	Температура С°	Давление, атм	Время, мин
Сушеные овощи (картофель), фрукты (ягоды винограда)	0,2	HNO ₃ - 4	120	15	2
			150	20	2
			180	25	4
Свежие овощи (огурцы, томаты, лук), томатное пюре	1,0	HNO ₃ - 4	120	10	2
			150	15	2
			180	20	4
Виноградный сок	0,3	HNO ₃ - 8	100	20	5
			130	30	2
			150	35	2
			180	45	2
Сушеная зеленая масса растений (листья, ботва)	0,2	HNO ₃ - 4	150	15	4
			180	20	4

По окончании минерализации охлажденный сосуд с минерализованной пробой помещали в вытяжной шкаф, открывали и выдерживали до прекращения видимого выделения паров окислов азота. С целью ускорения процесса дегазирования минерализата использовали лабораторный шейкер и ультразвуковую баню. Минерализат разбавляли свежеприготовленной деионизированной водой до необходимого объема. Полученный раствор пробы переносили в сосуд из перфторэтиленпропилена, выдерживали около двух часов и анализировали.

Анализ образцов на содержание меди проведен методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре VARIAN AA-280Z. В качестве источника излучения использована медная ультра лампа с полым катодом. Измерения проводились на длине волны 327,4 нм, при ширине щели монохроматора 0,5 нм, с использованием Зеемановской коррекции фона в режиме измерений по высоте пика при автоматическом введении пробы объемом 20 мкл в предварительно нагретую до 100°C кювету. Температурный режим графитовой печи: высушивание – 95°C в течение 40 секунд, озоление – 800°C в течение 8 секунд, атомизация – 2300°C в течение 2,8 секунд.

Все необходимые расчеты и статистический анализ проведены с использованием стандартной программы Excel в среде Windows 2010.

Используемый в качестве хладагента сухой лед также может вносить вклад в ошибку определения в случае

меди оксихлорида (по меди) устанавливали с учетом разброса естественных содержаний меди в модельных образцах, приготовленных из реальных контрольных образцов, отобранных при проведении экспериментальных полевых исследований из разных климатических зон. В модельных образцах предварительно устанавливали уровни и разброс содержания меди путем расчета среднего содержания и стандартного отклонения. Таким образом, для ягод винограда уровни внесения составили 0,02 мг/кг и 0,06 мг/кг, виноградного сока 0,13 мг/кг и 1,3 мг/кг, ботвы картофеля – 0,02 мг/кг и 0,1 мг/кг, клубней картофеля – 0,01 мг/кг и 0,05 мг/кг, листьев томатов – 2,0 мг/кг и 20,0 мг/кг, плодов томатов – 1,60 мг/кг и 8,0 мг/кг, образцах томатного пюре – 1,0 мг/кг и 10,0 мг/кг, лука – 0,6 мг/кг и 6,0 мг/кг.

Обобщенные данные по исследованию модельных образцов сведены в таблице 2.

Для всех исследованных культур получены удовлетворительные результаты по средней полноте извлечения меди и стандартному отклонению (n=10).

Оценка естественного содержания меди проведена на основании исследования большого объема образцов растительной продукции различных сортов из нескольких климатических зон, полученных в период 2016-2018 годов.

Отмечены значительные сезонные и региональные отличия в естественном содержании элементов в представленных образцах, а также отличия для различных

Таблица 2. Валидация метода атомно-абсорбционного определения меди в образцах растительной продукции после микроволновой минерализации

Table 2. Validation of the method of atomic absorption determination of copper in plant product samples after microwave mineralization

Исследуемый объект	Уровень внесения мг/кг	Средняя полнота извлечения, %	Диапазон полноты извлечения, %	Среднее квадратичное (стандартное) отклонение, %
Ягоды винограда	0,02	92	86 - 102	5,7
	0,06	93	88 - 101	5,1
Сок винограда	0,13	91	84 - 98	6,1
	1,3	87	81 - 90	3,8
Ботва картофеля	0,02	98	93 - 109	5,9
	0,1	95	89 - 99	4,4
Клубни картофеля	0,01	93	88 - 98	3,8
	0,05	97	92 - 102	3,6
Листья томата	2,0	90	80 - 97	7,9
	20	88	74 - 107	13,2
Плоды томата	1,6	78	76 - 83	2,7
	8,0	84,6	75 - 90	5,4
Томатное пюре	1,0	75,4	71 - 79	2,7
	10,0	91,1	84 - 99	6,5
Образцы лука (целое растение)	0,6	98	95 - 105	6,05
	6,0	89	85 - 98	7,3

сортов одной и той же культуры. Так, исследования ягод винограда сорта Шардоне из Краснодарского края, показали различия в естественном содержании меди в ягодах винограда урожая 2016 и 2017 годов (0,434 мг/кг и 1,075 мг/кг, соответственно). Содержание меди в клубнях картофеля урожая 2016-2018 годов практически не отличалось: для сорта Невский 0,867 и 0,814 мг/кг в образцах из Орловской области, 0,866 и 0,813 мг/кг из Тамбовской, для сорта Колетта из Волгоградской области 1,082 и 0,945 мг/кг. Отличия в уровнях содержания меди в ботве картофеля более выражены. Например, для сорта Невский (Орловская область) 1,418 мг/кг в 2016 году и 28,625 мг/кг в 2017 году.

Наблюдается разница в содержании меди между культурами открытого и защищенного грунта. Для плодов томата (сорт Санька, Краснодарский край) – 2,684 мг/кг и 0,705 мг/кг, соответственно, для огурцов открытого грунта (разные сорта, 2-я и 3-я климатические зоны) от 0,85 мг/кг до 1,65 мг/кг и 0,52 мг/кг для защищенного грунта (гибрид Кураж F₁, Астраханская область). Такая же направленность изменений отмечена и при исследовании листьев огурцов

– 3,46 мг/кг для растений открытого грунта, от 0,51 мг/кг до 0,94 мг/кг – для защищенного. Различия между содержанием меди в образцах репки лука и целом растении не выявлены вне зависимости от сорта и района произрастания, но в первой климатической зоне (Московская область) содержание меди несколько меньше – 0,225 мг/кг, чем во второй и третьей (Саратовская и Астраханская области) – 0,446 мг/кг.

На фоне столь ярко выраженных различий еще более вырастает значимость поиска путей для достижения воспроизводимых результатов.

В таблице 3 приведены данные о разбросе результатов определения естественных содержаний меди в образцах контрольных проб с одного и того же участка после микроволновой минерализации с предварительным криоизмельчением в сопоставлении с традиционными способами гомогенизации, выбор которых был обусловлен особенностями состава исследуемых объектов. Так, при подготовке к минерализации из клубней картофеля готовили чипсы и тщательно их измельчали. Отдельные образцы томатов и огурцов, а также лук в виде репки или целого растения перед исследованием мелко

Таблица 3. Разброс в результатах определения естественного содержания меди в контрольных пробах отдельных видов растительной продукции при различных способах гомогенизации

Table 3. Variation in the results of determining the natural content of copper in control samples of certain types of plant products with different methods of homogenization

Образец	Относительное стандартное отклонение при различных способах гомогенизации	
	Криоизмельчение	Традиционные способы
Ягоды винограда	5,0%	26,5 - 58,0%
Клубни картофеля	10,8 - 12,5%	22,4 - 72,8%
Томаты	2,1 - 6,5%	20,7 - 74,6%
Огурцы	4,2 - 7,0%	18,3 - 55,5%
Лук – целое растение	6,7%	22,1 - 66,0%

измельчались керамическим ножом. Ягоды винограда либо измельчали в фарфоровой ступке после предварительного высушивания, либо измельчались блендером.

Как видно из представленных данных, значительное улучшение воспроизводимости после криоизмельчения наблюдается для всех культур, но прежде всего, для образцов с высоким содержанием влаги (огурцы, томаты, ягоды винограда). Традиционными способами не удается достичь удовлетворительной степени гомогенизации и получить достоверные данные об уровне естественного содержания аналита в исходной пробе, необходимые для решения основной задачи – оценки остаточных количеств медьсодержащего пестицида в анализируемых образцах на фоне естественных содержаний меди.

В результате эксперимента по оценке возможного влияния загрязнения хладагента анализируемым металлом было установлено, что содержание меди в хладагенте находится на уровне 5 мг/дм³. Учитывая средний вес проб, представляемых для исследования (около 0,5 кг) и массу добавляемого хладагента, нетрудно рассчитать, что для значений естественного содержания меди в пробе на уровне 1 мг, ошибка за счет загрязнения хладагента не превысит 0,5%, что на фоне относительных стандартных отклонений анализа не приведет к существенному искажению его результатов.

Применение способа пробоподготовки на основе сочетания криоизмельчения и СВЧ-минерализации для исследования опытных образцов продукции с участков, обработанных медьсодержащим пестицидом, при проведении регистрационных испытаний препаратов позволяет не только установить уровни остаточных содержаний меди, но и четко проследить динамику изменения содержания меди в растениях за период вегетации.

На рисунке 1(а) представлена динамика изменения содержания меди в ягодах винограда при обработке одним из препаратов на основе оксихлорида меди в пробах, отобранных в день последней обработки, а также через 7, 14, 21 и 28 дней после применения препарата. Гомогенизация проб проведена методом криоизмельчения. Установлены превышения содержания меди в ягодах винограда, отобранных в день последней обработки, на уровне 2,3 мг/кг. В остальных образцах достоверных отличий в содержании меди по сравнению с контрольными пробами не отмечено, что позволило констатировать и отсутствие в них остаточных количеств меди оксихлорида, действующего вещества пестицида.

Для сравнения на рисунке 1(б) приведена аналогичная диаграмма для образцов винограда того же сорта и региона произрастания при обработке тем же препаратом, но пробоподготовка перед минерализацией проводилась путем высушивания исходного материала и перетирания в фарфоровой ступке.

Значительный разброс в данных по содержанию меди как в контрольных, так и в опытных пробах не дает возможности сделать конкретные выводы о динамике накопления меди в растениях за период вегетации. Проявляется общая не ярко

выраженная ($r = 0,383$) тенденция к снижению концентраций меди во времени, что в целом согласуется с другими данными по изучению динамики разложения медьсодержащих пестицидов [1], но при этом возникает опасность сделать ложное заключение о наличии остаточного количества пестицида даже через 28 дней после обработки препаратом.

В настоящее время разработанная схема определения остаточных количеств медьсодержащих пестицидов, включающая криоизмельчение и микроволновую минерализацию с последующим беспламенным ААС-определением меди, успешно применяется для любых растительных объектов.

Обработка медьсодержащими препаратами может приводить не только к накоплению, как ожидается, в первые дни после обработки, но и к снижению содержания меди к концу вегетационного периода в обработанных растениях по сравнению с необработанными. Подобная ситуация неоднократно наблюдалась при изучении динамики разложения и накопления хлорокиси меди в клубнях картофеля различных

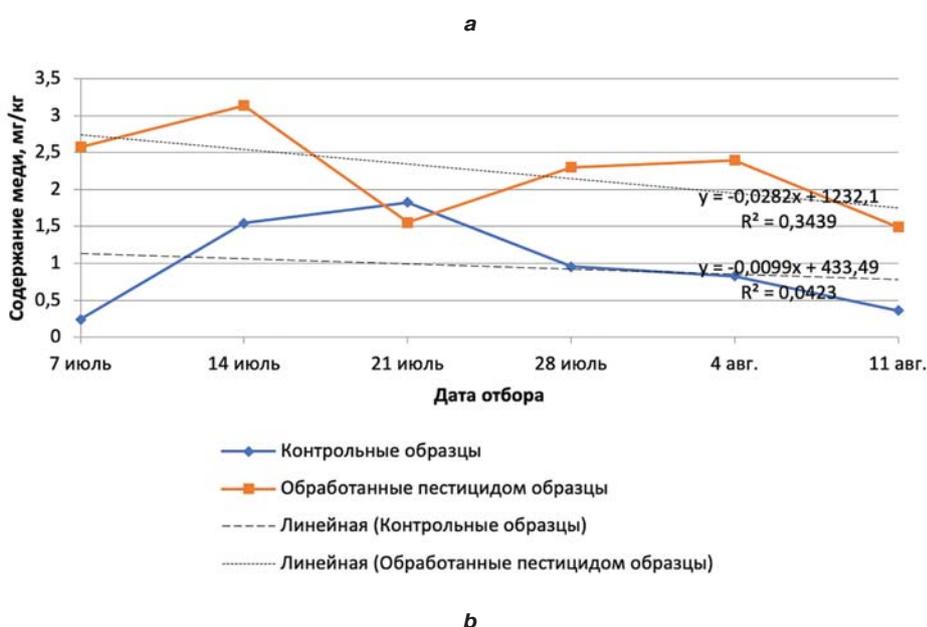
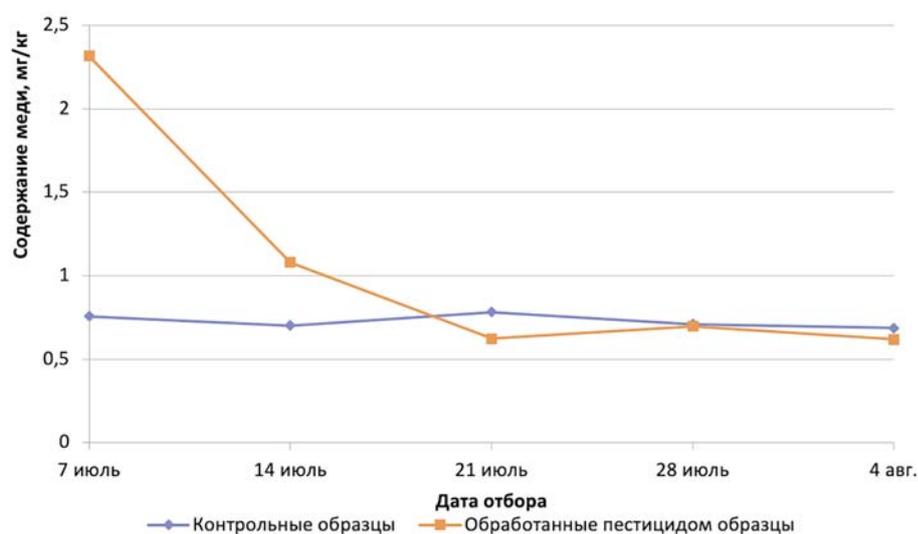


Рис. 1. Данные о динамике содержания меди в ягодах винограда при применении медьсодержащего пестицида
 а) с использованием криоизмельчения для гомогенизации образцов;
 б) гомогенизация путем высушивания и перетирания в ступке
Fig. 1. Data on the dynamics of the copper content in grape berries when using a copper-containing pesticide
 а) using cryo-grinding to homogenize the samples;
 б) homogenization by drying and grinding in a mortar

районов произрастания (Тамбовская область, Краснодарский край и др.).

Недостаток меди в готовой продукции может приводить к развитию симптоматики, характерной для дефицита этого необходимого микроэлемента – головным болям, повышенной утомляемостью, нарушению пигментации кожных покровов, снижению иммунитета, сосудистым патологиям, анемии, атеросклерозу, остеопорозу [3].

Заключение

Определение остатков медьсодержащих пестицидов в образцах растительной продукции, а также продуктах их переработки осложняется присутствием анализируемого аналита, в данном случае, меди, в матрице исследуемого материала. Однозначные выводы о том, что повышенные уровни меди в тех или иных образцах обусловлены обработкой тем или иным пестицидом могут быть сделаны только при условии достоверных отличий в содержании меди в опытных и контрольных образцах.

Значительный разброс в результатах определения содержания меди в объектах растительного происхождения обусловлен сложностью создания представительной пробы. Сочетание современных методов гомогенизации и минерализации растительной продукции помогает решить данную проблему.

Технология крипомола позволяет за короткое время получить однородный тонкодисперсный сухой порошок из достаточно большого объема пробы, представленной на анализ. Часто это вся проба целиком, что особенно ценно для обеспечения ее представительности.

Микроволновая минерализация образцов растительной продукции и продольного сырья в сочетании с

последующим беспламенным атомно-абсорбционным анализом обеспечивает достаточную полноту извлечения аналита, в данном исследовании – меди, из анализируемой матрицы и возможность его определения на уровнях естественного содержания.

В результате значительно сокращается время на подготовку образцов со сложным матричным составом при одновременном снижении потерь определяемых элементов, улучшении метрологических показателей по степени извлечения и прецизионности, что в конечном итоге, приводит к повышению надежности установления достоверных различий между опытными и контрольными образцами при оценке содержания остаточных количеств пестицидов в исследуемых объектах.

Данные, полученные в натуральных условиях, подтверждают, что уровни естественного содержания меди в растительных объектах значительно разнятся и зависят от множества факторов – района произрастания, сорта растений, погодных условий в период вегетации, что отражается в накоплении микроэлементов и других. Данный фактор имеет особое значение и требует высокой точности определения при оценке накопления внесенных количеств действующих веществ на основе меди на фоне естественного содержания анализируемого элемента в объекте исследования.

Исследование динамики накопления и разложения действующих веществ применяемых пестицидов представляет значительный научный и практический интерес с точки зрения контроля за гомеостазом меди в растениях, а также при решении вопросов о возможности применения того или иного препарата и разработке рациональной технологии и мероприятий системы защиты растений.

Об авторах:

Федорова Наталия Евгеньевна – доктор биологических наук, зав. отделом аналитических методов контроля

Егорова Марина Валентиновна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник аналитических методов контроля

Родионов Александр Сергеевич – младший научный сотрудник аналитических методов контроля

About the authors:

Natalia E. Fedorova – Dr. Sci. (Biol.),

Head of the department of an analytical control methods

Marina V. Egorova – Cand. Sci. (Biol.),

senior researcher of an analytical control methods

Alexander S. Rodionov – Junior Researcher of an analytical control methods

Marina S. Grechina – Researcher of analytical control methods

Литература

1. Калиновский И.Н., Симоненкова В.А. Динамика разложения медьсодержащих фунгицидов в плодах и листьях винограда. *Известия Оренбургского государственного университета*. 2004. С.161-164.
2. Князева Т.В., Горбунова М.О., Черная Г.О. Определение меди в напитках. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2000;(2-3):90-92.
3. Попов Д.А. Влияние меди на организм человека / Бюллетень медицинских интернет-конференций. *Саратов: Наука и инновации*. 2017;7(6):1068.
4. Велентей Ю.Н., Ивашкевич Л.С., Гонта П.П. Сравнительная характеристика методов пробоподготовки масличного сырья и жировых продуктов для определения в них меди и железа. *Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. Минск*. 2013;(23):267-269.
5. Kumar V., Awasthi G., Chauhan P.K. Cu and Zn tolerance and responses of the Biochemical and Physicochemical system of Wheat. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2012;8(3):203-213
6. Bruno Printz, Stanley Lutts, Jean-Francois Hausman and Kjell Sergeant. Copper Trafficking in Plants and Its Implication on Cell Wall Dynamics. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7(601):1-16.
7. Inmaculada Yruela. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*. 2009;(36):409-430.
8. Егорова М.В., Федорова Н.Е., Родионов А.С. Микроволновая минерализация проб пищевых продуктов для определения остаточных количеств медьсодержащих пестицидов. *Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее. Материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей*. 2017;(2):702-704.
9. Сульдина Т.И. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм. *Рациональное питание. Пищевые добавки и биостимуляторы*. 2016;(1):136-140.
10. Юдина Ю.В. Изучение влияния способа измельчения растительного сырья на технологические свойства порошков. *Вестник КазНМУ*. 2014;(5):126-127.
11. Усов Г.А., Палицына А.А., Еллиев Д.К., Герасименко А.С., Пилников Н.А. Лабораторные исследования измельчаемости при отрицательных температурах растительного сырья, совместно с диоксидом углерода ("сухой лед") в измельчительных аппаратах центробежного типа. *Уральская горная школа – регион. Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2017. С.122-123.

References

1. Kalinovskiy I.N., Simonenkova V.A. Dynamics of decomposition of copper-containing fungicides in fruits and leaves of grapes. *Izvestiya Orenburg state University-Orenburg*. 2004. P.161-164. (in Russian)
2. Knyazeva T.V., Gorbunova M.O., Chernaya G.O. Determination of copper in beverages// *University News. Food technology*. 2000;(2-3):90-92. (in Russian).
3. Popov D.A. Influence of copper on the human body / *Bulletin of medical Internet conferences. Saratov: Science and innovation*. 2017;7(6):1068. (in Russian).
4. Velenyey Yu.N., Ivashkevich L.S., Gonta P.P. Comparative characteristics of methods of sample preparation of oilseeds and fat products for determination of copper and iron. *Health and environment. Minsk*. 2013;(23):267-269. (in Russian)
5. Kumar V., Awasthi G., Chauhan P.K. Cu and Zn tolerance and responses of the Biochemical and Physicochemical system of Wheat. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2012;8(3):203-213.
6. Bruno Printz, Stanley Lutts, Jean-Francois Hausman and Kjell Sergeant. Copper Trafficking in Plants and Its Implication on Cell Wall Dynamics. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7(601):1-16.
7. Inmaculada Yruela. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*. 2009;(36):409-430.
8. Egorova M.V., Fedorova N.E., Rodionov A.S. Microwave mineralization of food samples for determination of residual amounts of copper-containing pesticides. *Russian hygiene-developing traditions, we strive for the future. Materials of the XII all-Russian Congress of hygienists and sanitary doctors*. Moscow. 2017;(2):702-704. (in Russian)
9. Suldina T. I. Content of heavy metals in food and their impact on the body/ rational nutrition. *Food additives and biostimulators*. 2016;(1):136-140 (in Russian).
10. Yudina Yu. V. Study of the influence of the method of grinding vegetable raw materials on the technological properties of powders. *Bulletin Of KazNМУ*. 2014;(5):126-127. (in Russian).
11. Usov G.A., Palitsyna A.A., Elliev D.K., Gerasimenko A.S., Pilnikov N.A. Laboratory studies of the grinding capacity at negative temperatures of plant raw materials, together with carbon dioxide ("dry ice") in centrifugal type grinding machines. *Ural mining school - regions. Collection of reports of the International scientific and practical conference. Yekaterinburg: Ural state mining University*. 2017. P.122-123 (in Russian).