¹М. С. Гинс, д. б. н.,

¹В. К. Гинс, д. б. н.,

²С. М. Мотылева, ВНС, к. с.-х. н.,

²И. М. Куликов, д. э. н.,

²С. М. Медведев, д. э. н.,

¹П. Ф. Кононков, д. с.-х. н.,

¹В. Ф. Пивоваров, д. с.-х. н.

¹ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства, пос. ВНИИССОК,

²ФГБНУ ВСТИСП, г. Москва

¹vniissok@mail.ru, ²vstisp@vstisp.org

УДК 581.19

DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-112-119

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ АНТИОКСИДАНТНОГО МЕТАБОЛОМА ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Резюме. Обосновывается представление о низкомолекулярном антиоксидантном метаболоме и его месте в системе метаболома высших растений, частью которого он является. Ключевая функция низкомолекулярных метаболитов-антиоксидантов заключается в защите компонентов клетки от разрушающего действия окислительного стресса и формировании систем антиоксидантной защиты индивидуального растения и его устойчивости, которая определяется генотипом и факторами среды.

Ключевые слова: метаболиты-антиоксиданты, молекулярный фенотип, окислительный стресс, устойчивость, интродукция.

Summary. The idea of a low molecular weight antioxidant metabolome and its place in the metabolome of higher plants, as one of its components was substantiated. The main feature of low molecular weight metabolites - antioxidants is to protect cell components from the damaging effects of oxidative stress and antioxidant defense systems formation of individual plants and their resistance, which is determined by the genotype and environmental factors.

Keywords: metabolites-antioxidants, molecular phenotype, oxidative stress, resistance, plant introduction.

Введение

Изучение биохимического, антиоксидантного потенциала интродуцируемых овощных растений и выведение новых сортов с повышенным содержанием антиоксидантов необходимо для создания функциональных пищевых продуктов и выяснения возможности их фитотерапевтического действия на живой организм. Новые сорта овощных культур с повышенным содержанием антиоксидантов могут служить воспроизводимым биологически активным сырьем для создания пищевых продуктов полифункционального действия на организм человека [3, 4].

Материалы и методы исследований

Приоритетная задача исследований состоит в выяснении того, как генетическая информация реализуется на уровне антиоксидантного метаболома, что в конечном счете проявляется в антиоксидантном фенотипе растения и его устойчивости к окислительному стрессу.

Одной из основных задач антиоксидантной метаболомики овощных, в том числе высших и лекарственных растений, является получение и обобщение данных по составу и содержанию низкомолекулярных антиоксидантов-метаболитов для составления более целостного представления о механизме формирования оперативной защитной системы в клетке: синтезе, накоплении и расходовании как отдельных антиоксидантов, так и их суммарного содержания.

Метаболиты-антиоксиданты – молекулы массой менее 3 000 Да, обладающие широким спектром биологической и антиоксидантной активности, участвующие в защитных и регуляторных метаболических реакциях и необходимые для нормального функционирования клетки.

Особенностью антиоксидантного метаболома овощных культур является сильная изменчивость концентрации метаболитов-антиоксидантов в процессе их вегетации, а также при действии различных факторов среды на растения. Для него характерны значительные различия физико-химических свойств и физиологических концентраций метаболитов-антиоксидантов, поскольку они относятся к разным химическим классам и обладают разной антиоксидантной активностью.

Следует указать, что антиоксидантный метаболом овощных растений состоит из разнообразного по химическому составу набора низкомолекулярных гидрофильных, гидрофобных и липофильных метаболитов с антиоксидантной активностью [2, 3]. Он включает как первичные метаболиты, например, аскорбиновую кислоту, аминокислоты, полиамины, органические кислоты, моносахара, жирные кислоты и др.; так и вторичные: фенольные соединения, токоферолы, терпеноиды, каротиноиды, алкалоиды, фитостерины, глюкозинолаты и продукты их распада и др., относящиеся к различным классам химических соединений [4, 7]. Кроме того, вторичные метаболиты-антиоксиданты можно классифицировать по классам химических соединений, по природе и числу ароматических колец, по числу групп ОН, механизму их действия и т.д.

Следует отметить, что в мире идет активное изучение метаболома высших растений, благодаря появлению приборной базы с использованием ВЭЖХ масс-спектрометрии, ГХ-МС, НР-LC. Существующие сложности привели к тому, что в настоящее время используют различные технологические подходы для анализа метаболомов разных биологических объектов, например, выделяя группы метаболитов по их свойствам.

Антиоксидантный метаболомный анализ направлен на одновременное изучение как индивидуальных, проявляющих способность к обратимому окислению-восстановлению и обладающих антиоксидантными свойствами метаболитов, так и содержания суммы метаболитов. Перспективным на начальном этапе исследования антиоксидантного метаболома овощных растений является изучение его отдельных групп антиоксидантного метаболома. Так, для изучения состава и содержания метаболитов-антиоксидов нами была предложена технология выделения из одной растительной пробы фракций: гидрофильной, гидрофобной и липофильной соответствующими экстрагентами (рис.). Фитохимическое определение состава антиоксидантного метаболома растений проводили с использованием предложенной нами метаболом-технологии, включающей разработанные ранее методы [5, 6].

Рис. Схема выделения фракций антиоксидантного (АО) метаболома из растительного материала.

В связи с тем, что диапазон различий химических свойств и концентраций метаболитов фенольной природы достаточно велик, авторами был разработан способ выделения отдельных групп фенольных соединений, позволяющий из одной навески растительного материала получать 3-4 фракции фенольных соединений, каждая из которых содержала близкие по своим химическим свойствам соединения [5].

Состав основных групп полифенолов, содержащихся в отдельных выделенных фракциях, представлен в табл. 1. Большая часть вторичных метаболитов этих фракций обладает антиоксидантной активностью.

Таблица 1.

Состав фенольных соединений (ФС) во фракциях, выделенных из овощных растений

Фракции ФС, содержание	Число бензольных колец	Углеродный скелет	Основные фенольные соединения
Простые ФС и оксibenзойные кислоты	Одно	C_6 C_6-C_1 C_6-C_2	Простые фенолы (окси, ди, триоксибензолы) фенолокислоты
Оксикоричные кислоты и их эфиры	Одно	C_6-C_3	Оксикоричные кислоты и их сложные эфиры, гликозиды (фенилпропановая группа)
Сумма флавоноидов	Два	$C_6-C_3-C_6$	Антоцианы (пеларгонидин, цианидин, дельфинидин, мальвидин, петунидин), про- антоцианидины, флавоны и флавонолы
Конденсированные и полимерные ФС	n-число	$(C_6-C_3-C_6)_n$ $C_6-C_3-C_3-C_6$	Конденсированные дубильные вещества, полимеры флавоноидов, лигнаны и лигнины

Результаты и обсуждения

Предложенные в работе схемы анализа полифенолов позволяют оценивать содержание и соотношение четырех групп фенольных соединений, проявляющих антиоксидантную активность в листьях, стеблях, черешках, семенах и плодах растений [5].

Присутствие метаболитов-антиоксидантов в овощных растениях повышает их фармакологическую ценность, поскольку они оказывают функциональное действие на организм человека [3]. В связи с этим при исследовании содержания водо- и спирторастворимых низкомолекулярных метаболитов-антиоксидантов и особенностей накопления их в различных органах овощных растений использовали разработанную нами методику анализа суммарного содержания антиоксидантов в листовых и листостебельных овощных культурах [2].

Низкомолекулярные метаболиты-антиоксиданты участвуют в формировании устойчивости живого организма к окислительному стрессу. При этом уровень устойчивости каждого отдельного растения, с одной стороны, определяется его собственным индивидуальным антиоксидантным метаболомом: составом, содержанием, активностью и скоростью синтеза и расходования метаболитов-антиоксидантов при окислительном стрессе, а с другой – скоростью генерации активных форм кислорода.

Идея о том, что при разной силе окислительного стресса уровень содержания метаболитов-антиоксидантов универсального набора и специфического типа в каждом растении отражает степень его устойчивости, была положена в разрабатываемую нами концепцию индивидуальности низкомолекулярного антиоксидантного метаболома, которая указывает на значимость специфического состава и соотношения метаболитов-антиоксидантов каждого вида или отдельного растения.

Так, новые сорта интродуцированных растений отличаются высоким содержанием специфических метаболитов с высокой антиокислительной активностью и широким спектром биологической активности (табл. 2). Например, красноокрашенные растения амаранта содержат бетацианины, в частности, амарантин [7, 8], водяной кресс и капуста китайская – глюкозинолаты, продукты гидролиза которых обладают высокой антиокислительной активностью [9], хризантема съедобная богата антрахинонами [10], клубеньки стахиса – иридоидами [11], листья якона – фенольными и гипогликемическими соединениями [4], листья спаржевого салата – фенольными соединениями.

Таблица 2.

Состав специфических метаболитов-антиоксидантов (М-АО) с широким спектром биологической активности в экстрактах у интродуцированных растений сортов селекции ВНИССОК

Название метаболитов-антиоксидантов	Локализация М-АО		Биологическая активность
	Растение, сорт	Органы растения	
Бетацианины: амарантин	<i>Amaranthus tricolor</i> L. Амарант сорт Валентина	листья	противоопухолевая антимикробная противовоспалительная антистрессовая
Глюкозинолаты: глюкотропасолин синигрин глюконастурцин метоксиглюкобрасицин фенилтилизотиоцианат	<i>Rorippa nasturtium aquaticum</i> (L.) Наyek водяной кресс Подмосковный	листья стебли	противоопухолевая антимикробная антигельминтная антистрессовая
Глюкобрасицин 4-метоксилглюкобрасицин глюконастурцин неоглюкобрасицин	<i>Brassica chinesis</i> капуста китайская Веснянка	листья черешки	противоопухолевая антимикробная противовоспалительная антистрессовая

Продолжение табл. 2

Название метаболитов-антиоксидантов	Локализация М-АО		Биологическая активность
	Растение, сорт	Органы растения	
Антрахиноны: эмодин, хризофанол, флавоноиды	<i>Chrysanthemum coronarium</i> L. хризантема овощная Узорчатая	листья черешки	противоопухолевая радиопротекторная антистрессовая
Иридоиды, монотерпеновые соединения	<i>Stachys sieboldii</i> Mig стахис Бочонок	клубеньки	антистрессовая антимикробная гепатопротекторная антиметастазная
Флавоноиды, терпеноиды	<i>Polymnia sonchifolia</i> Poir. et Endlicher якон «Юдинка»	листья	гипогликемическая антимикробная антистрессовая
Фенольные соединения, холин, гликозид лактуцин	<i>Lactuca sativa</i> L. Var. angustana Спаржевый салат Светлана	листья, стебель	антисклеротическая влияет на функции ЦНС и ЖКТ антистрессовая

Ценность интродуцированных авторами статьи растений – амаранта, стахиса, водяного кресса, якона, хризантемы съедобной, капусты китайской, спаржевого салата – определяется специфическим составом антиоксидантов, обладающих широким спектром биологической активности.

Следует отметить, что интродукция растений в Нечерноземной зоне России тесно связана с селекцией, т. е. с созданием на их основе новых сортов, адаптированных к экологическим условиям выращивания в регионе.

Выводы

Таким образом, антиоксидантный метаболит овощей, в том числе интродуцированных растений с высокой антиоксидантной активностью и разнообразным составом метаболитов-антиоксидантов, представляет собой фармакологический комплекс для профилактики и снижения риска возникновения свободнорадикальных заболеваний в организме человека. Но чтобы не допустить разрушения важных структур и молекул клетки, необходимо постоянное ежедневное поступление в организм человека метаболитов-антиоксидантов в составе овощей и функциональных продуктов их переработки с учетом дозы потребления и их активности.

Помимо этого, антиоксидантный метаболом экстрактов овощных культур характеризуется своеобразным молекулярным фенотипом каждого вида растения, что позволяет использовать специфические метаболиты-антиоксиданты в качестве универсального средства исследования состояния растения (маркеров) при действии различных факторов окружающей среды, в том числе с целью разработки метаболомной диагностики устойчивости растений к окислительному стрессу.

Внедрение в селекционный процесс методов антиоксидантной метаболомной инженерии и антиоксидантной метаболом-диагностики необходимо для оценки и отбора перспективных источников с высоким содержанием эффективных метаболитов-антиоксидантов, выявления и выделения из их числа биомаркеров, определяющих устойчивость растений к абиогенному и биогенному стрессу.

Список использованной литературы

1. Гинс М. С., Гинс В. К. К вопросу об антиоксидантном метаболоме овощных культур селекции ВНИИССОК // Овощи России, 2015. – № 2(27) – С. 75-79.
2. Гинс В. К., Гинс М. С. Физиолого-биохимические основы интродукции и селекции овощных культур. – М.: РУДН, 2007. – 151 с.
3. Гинс В. К., Гинс М. С. Физиолого-биохимические основы интродукции и селекции овощных культур. – М.: РУДН, 2011. – 128 с.
4. Гинс М. С., Гинс В. К., Кононков П. Ф., Мищенко Л. Т., Дунич А. А., Дашенко А. В. Фруктозаны и фенольные соединения растений якона // Овощи России, 2015 – №3-4 (28-29). – С. 118-122.
5. Гинс М. С., Гинс В. К., Колесников М. П., Кононков П. Ф., Чекмарев П. А., Каган М. Ю. Методика анализа фенольных соединений в овощных культурах. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 48 с.
6. Гинс М. С., Гинс В. К., Кононков П. Ф., Байков А. А., Торрес Миньо Карлос, Романова Е. В., Лапо О. А. Методика анализа суммарного содержания антиоксидантов в листовых и листостебельных овощных культурах. – М.: РУДН, 2013. – 40 с.
7. Гинс М. С. Биологически активные вещества амаранта: Амарантин: свойства, механизмы действия и практическое использование. – М.: РУДН, 2002. – 183 с.
8. Бодягин Д. А., Исакова Е. Б., Гинс М. С., Бухман В. М., Лученко И. М., Каган М. Ю., Кононков П. Ф., Гинс В. К. Влияние водного экстракта из листьев амаранта на рост перевиваемой опухоли мышей // Российский биотерапевтический журнал, 2012. – №3. – Т. 11. – С. 53-57.
9. Кононков П. Ф., Гинс В. К., Гинс М. С. Водяной кресс - перспективная овощная противораковая культура. – М.: ВНИИССОК, 2012. – 14 с.
10. Колесников М. П., Гинс В. К., Кононков П. Ф., Тришин М. Е., Гинс М. С. Оксикантрахиноны и флавоноиды хризантемы съедобной (овощной) // Прикладная биохимия и микробиология, 2000. – Т. 36. – № 3. – С. 344-353.

11. Кононков П. Ф., Кононкова С. Н., Моха Датта Шарма Салат. – М.: РУДН, 1986. – 70 с.

**M. S. Gins, V. K. Gins, S. M. Motyleva, I. M. Kulikov, S. M. Medvedev,
P. F. Kononkov, V. F. Pivovarov**

¹ FSBSI Federal Research Center for Vegetable Growing, pos. VNISSOK,

² FSBSI ARHIBAN, Moscow

**TO THE CHARACTERISTIC OF ANTIOXIDANT METABOLOMA
OF VEGETABLE CROPS**