

УДК 633.15:631 / 527

© 2016

*Поздняков В. В., кандидат биологических наук,
Харченко Ю. В., кандидат сельскохозяйственных наук,
Харченко Л. Я., научный сотрудник*

Устимовская опытная станция растениеводства

Анциферова О. В., младший научный сотрудник

Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН

СОЗДАНИЕ ГИБРИДОВ СВЕРХСАХАРНОЙ КУКУРУЗЫ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕСТ-СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СТАБИЛЬНОГО РАДИКАЛА DPPH

Рецензент – кандидат сельскохозяйственных наук О. В. Тригуб

Гібриди цукрової і суперцукрової кукурудзи є хорошою сировиною для виробництва функціональних харчових продуктів, зокрема дієтичного та дитячого харчування. Важливими показниками високої якості цих продуктів є підвищений вміст білка і цінного масла, незначна кількість погано засвоюваного кукурудзяного крохмалю і високий вміст антиоксидантів, а також відмінні смакові якості. У роботі представлені дані щодо оцінки антиоксидантної активності великої групи нових перспективних гібридів суперцукрової кукурудзи середньостиглої групи, створених з метою отримання цінних джерел сировини для консервної промисловості. Значення показника загальної антиоксидантної активності варіювали в широкому інтервалі значень (від 31,8 % до 60,4 %, 568,4–1008 мкг/г насіння), що вказує на перспективність використання цього важливого біохімічного параметра в селекції суперцукрової кукурудзи на якість.

Ключевые слова: овощная (сахарная) кукуруза, su_1 , se , антиоксидантная активность, DPPH, гибриды, функциональные продукты питания.

Постановка проблемы. Традиционно показателями высокого качества гибридов овощной кукурузы (сахарной и сверхсахарной кукурузы) являются высокое содержание белков, ценного кукурузного масла и низкое содержание крахмала. Антиоксидантным свойствам этой диетической продукции практически не уделялось должного внимания. Однако тенденции развития современного рынка высококачественных продуктов, в том числе и функциональных продуктов питания, заставляют тщательно контролировать этот важный показатель при селекции новых сортов и гибридов овощной кукурузы. Это позволит специалистам в области здорового и диетического питания оценить возможность использования продуктов переработки овощной кукурузы в специализированных диетах для улучшения здоровья человека. Среди многочисленных методик

и тест-систем оценки общей антиоксидантной активности продуктов питания была выбрана достаточно простая, надежная и распространенная тест-система с использованием стабильного радикала DPPH. Эта методика была адаптирована для оценки общей антиоксидантной активности в зерне кукурузы полной спелости, которое является сырьем для производства очень большого количества продуктов питания и зернофуражных смесей различного направления использования.

Анализ исследований и публикаций, в которых начато решение проблемы. Разнообразное использование продуктов, получаемых из кукурузы, является причиной того, что перерабатывающая промышленность ставит перед селекционерами особые требования к качеству сырья в зависимости от конечного продукта переработки. Эти требования зачастую бывают противоположными и взаимоисключающими. В связи с этим селекционеры ведут свою работу в разных направлениях относительно улучшения качества кукурузы, создавая специализированные гибриды для конкретных направлений использования.

Традиционная селекция сахарной кукурузы основывается на использовании биохимических эффектов мутантного гена su_1 , вызывающего частичную депрессию синтеза крахмала и увеличивающего в семенах технической спелости содержание свободных углеводов и водорастворимых полисахаридов. Такая модификация углеводного комплекса обеспечивает высокие потребительские качества сахарной кукурузы и возможности ее использования в качестве овощной культуры. В последние годы широкое распространение получили гибриды сверхсахарной кукурузы, основанные на использовании мутаций sh_2 и модификатора гена $su_1 - se$. Именно комбина-

ция мутантного гена *su1* с геном-модификатором *se* обеспечивает наилучший углеводный состав зерна в технической спелости и содержание углеводов достигает 11–12 %.

Важными показателями высокого качества гибридов этого типа являются повышенное содержание белка и ценного масла, незначительное количество плохо усваиваемого кукурузного крахмала и высокое содержание антиоксидантов, а также отменные вкусовые качества. И если содержанию белка, углеводов и масла селекционеры уделяли постоянное внимание на протяжении нескольких десятилетий, то контроль высокой общей антиоксидантной активности практически не осуществлялся. Однако высокие требования к качеству сырья в связи с развитием отрасли производства функциональных продуктов питания, в которых регламентируется высокое, генетически обусловленное содержание биологически ценных питательных компонентов (белки, витамины, микроэлементы, незаменимые аминокислоты, жирные кислоты – особенно олеиновая и линоленовая, а также полифенолы), вынуждают к поиску источников высокой антиоксидантной активности среди различных традиционных и новых форм растений.

Этиологию многих хронических заболеваний человека и возрастные изменения при старении связывают с разрушительным действием свободных радикалов, которые могут нарушать нативную структуру важных природных биомолекул, таких как белки, ДНК и липиды, и вследствие этого инициировать хронические болезни и способствовать их развитию [5]. В научной литературе широко обсуждается способность большого количества биоактивных компонентов (химических соединений) растений и экстрактов семян играть роль антиоксидантных профилактических агентов, способствующих нормализации здоровья и лечению болезней [8].

По определению, антиоксидантом может считаться любое химическое соединение, способное в незначительной концентрации, в сравнении с защищаемым субстратом, замедлять или предотвращать окисление многих важных компонентов клеток, включая липиды (в том числе и полиненасыщенные жирные кислоты), белки, углеводы и ДНК [18]. К антиоксидантам также относят:

- кислотные компоненты (включая фенолы), которые могут быть использованы в пищу или быть включены в косметические и фармацевтические препараты и способные легко отдавать электроны или атомы водорода перекисным радикалам, разрывая цепные реакции перекисного окисления;

- химические вещества, способные эффективно и быстро регенерировать фенольные соединения;

- соединения, способные эффективно хелатировать ионы прооксидантных переходных металлов.

Это обобщенное определение не привязывает антиоксидантную активность к какой-то специфической группе химических соединений или к определенному механизму действия. Концепция антиоксидантов позволяет относить к ним большое количество самых разнообразных соединений, включая антиоксидантные ферменты, железо-связывающие и транспортные белки, а также компоненты, способные осуществлять передачу сигнальной информации через клеточные мембраны и экспрессию генов.

В организме животных и растений присутствует несколько различных механизмов нейтрализации активных свободных радикалов для поддержания баланса между антиоксидантами и оксидантами. При определенных условиях защитные антиоксидантные механизмы организма могут быть преодолены и избыток свободных радикалов приведет к развитию оксидативного стресса. Было высказано предположение, что различные классы компонентов питания могут снижать риск возникновения некоторых видов злокачественных опухолей, особенно рака кишечника, и было получено несколько результатов, указывающих на то, что потребление определенных продуктов приводит к снижению оксидативных разрушений в биомаркерах. Следовательно, организмы животных и человека нуждаются в достаточных количествах внешних источников антиоксидантов для поддержания окислительного баланса и предотвращения оксидативного стресса и сопровождающих его хронических заболеваний [7, 9, 17].

С целью изучения связи между пищевыми факторами и возможностью профилактики возникновения хронических заболеваний, а также получения объективной информации для селекции ценных пищевых источников антиоксидантов, в последние годы широко используют аналитические методы измерения общей антиоксидантной активности для всех видов растительной продукции (продукты питания, лекарственные, эфиромасличные, пряно-ароматические культуры, сырье для изготовления напитков – чай, кофе, мате и пр.). В литературе постоянно появляются сведения о создании новых методов, позволяющих исследовать различные механизмы действия антиоксидантов в опытах *in vivo* и в модельных тест-системах *in vitro* [4, 16, 21]. В литературе в

основном представлена информация об антиоксидантной активности водорастворимых экстрактов пищевых продуктов. Антиоксидантная активность *in vivo* и в продуктах питания может осуществляться путем ингибирования активных форм кислорода или прямой нейтрализацией свободных радикалов.

Поскольку антиоксиданты нейтрализуют свободные радикалы и оксиданты, их потребление с пищей может способствовать профилактике многих хронических заболеваний. Среди этих химических соединений растительного происхождения, получивших название фитохимических компонентов, наиболее широко представлены вторичные метаболиты фенольной природы (полифенолы), обладающие высоким окислительно-восстановительным потенциалом [11, 20], хотя гораздо правильнее было бы ограничивать этот термин только более комплексными молекулами, известными под общим названием танины [22]. Вторичные метаболиты отличаются от первичных или основных метаболитов (углеводов, белков, аминокислот, нуклеиновых кислот и липидов) тем, что они не участвуют в базовых метаболических циклах роста и развития растений, однако они незаменимы для многих важных функциональных аспектов жизни растений [16]. Вторичные метаболиты известны давно, однако их ценность обнаружилась относительно недавно. Они выполняют структурную функцию в различных опорных и защитных тканях, участвуют в защитных системах растений от поедания травоядными животными и патогенов (вирусы, бактерии, микоплазма и грибковые заболевания), выполняют сигнальные функции, например, принимают участие во взаимодействиях растений с факторами окружающей среды, выполняя часть функций адаптивной стратегии растений.

Полифенолы представляют собой очень гетерогенную группу соединений, часть из них распространена во всех растениях, тогда как некоторые представители встречаются только в тех или иных семействах или родах, или в отдельных органах растений вместе с терпеноидами и изопреноидами (каротеноиды, монотерпены, фитостеролы, сквален, эфирные масла), серосодержащими компонентами (глюкозинолаты сем. крестоцветные), азотсодержащие соединения (алкалоиды и гетероциклические ароматические соединения) [9, 10].

Основное внимание в литературе было направлено на фенольные соединения фруктов, овощей и напитков (вина, чая, кофе), однако многие из этих соединений присущи также зерновым куль-

турам [8, 14]. В последние годы все больше уделяется внимание питательным ценностям полифенолов, поскольку они могут играть важную роль в профилактике многих распространенных хронических заболеваний и в целом способны оказывать благоприятный эффект на здоровье человека [12].

Способность фенольных компонентов нейтрализовать свободные радикалы зависит от их структуры: в первую очередь от способности переносить атомы водорода ароматической группы на свободные радикалы или электроны ароматического компонента, восстанавливать неспаренные электроны сопряженной π -системы [19].

По оценкам специалистов необходимо с пищей ежедневно принимать примерно 1 г полифенолов, что значительно выше обоснованных доз других необходимых в пище компонентов, таких как каротиноиды, витамин Е и витамин С (5, 12 и 90 мг/сутки соответственно). Следовательно, полифенолы являются основными антиоксидантами в пище человека, т.е. их потребление примерно в 10 раз больше, чем потребление витамина С и в 100 раз больше, чем витамина Е [24]. Поэтому регулярное потребление фруктов, овощей, семян и продуктов, произведенных из них, а также напитков, содержащих полифенолы в больших количествах, рекомендовано для улучшения здоровья человека. Высокое содержание природных антиоксидантов в продуктах питания и напитках повышает срок их хранения и предотвращает ухудшение аромата и изменение естественной окраски продуктов при длительном хранении. Высокие антиоксидантные свойства являются своеобразной торговой маркой полифенолов для их использования косметической и фармацевтической промышленностями, в изготовлении функциональных продуктов питания и пищевых биодобавок [3].

Нейтрализация стабильного окрашенного радикала 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazylradical (DPPH) в органической среде широко используется как тест-система оценки антирадикальной активности растительных образцов. Антиоксиданты, экстрагируемые 80 % водным раствором этанола или метанола и способные нейтрализовать свободные радикалы, обесцвечивают раствор DPPH, а спектрофотометрирование при 517 нм позволяет количественно оценивать антирадикальную активность экстрактов семян или продуктов питания. Эта тест-система является недорогой, хорошо стандартизуется и удобна для проведения скрининга большого количества образцов (например, промежуточных селекционных форм

или отборов многочисленных коллекционных образцов). Снижение интенсивности окраски прямопропорционально содержанию антиоксидантов в пробе.

Цель исследований – выделения ценных источников высокой антиоксидантной активности кукурузы, как овощной культуры, для практического использования в гетерозисной селекции.

Задача исследований – оценка новых перспективных гибридов сверхсахарной кукурузы селекции Института растениеводства им. В. Я. Юрьева и Устимовской опытной станции растениеводства по уровню антиоксидантной активности с использованием тест-системы на основе стабильного радикала DPPH, а также по комплексу признаков продуктивности, которые в совокупности отражают селекционную ценность гибридов.

Материалы и методы исследований. В данном исследовании были проанализированы 59 перспективных гибридов сверхсахарной кукурузы селекции Института растениеводства им. В. Я. Юрьева и Устимовской опытной станции растениеводства. Полевые наблюдения проводились в Устимовской опытной станции растениеводства, в центральной части левобережной Украины, на границе лесостепной и степной зон. Предшественник – чистый пар. Почва – средне-суглинистый, малогумусный, распыленный чернозем.

При проведении исследований и оценке гибридов руководствовались соответствующими методиками [1, 2] с учетом специфики подвита сахарной кукурузы. Образцы высевались на участках площадью 9,8 м² с расположением растений по схеме 70x70 см (2 растения в гнезде). Образцы были оценены по 15 хозяйственно-ценным признакам.

Для анализа использовали материал исключительно от контролируемого опыления. Образцы семян кукурузы размалывали на лабораторной мельнице по 0,5 г муки в виале с герметично закрывающимися крышечками, заливали 4,5 мл 80 % этанола и экстрагировали 20 часов при комнатной температуре в темноте. Пробы центрифугировали (10 мин при 3000 × g) на центрифуге ОПН-3.

Определение антирадикальной активности (как способности нейтрализации свободных радикалов) проводили с использованием стабильного радикала (DPPH) согласно методу, описанному в статье [6] с небольшими изменениями. Готовили спиртовой раствор радикала растворением 22 мг DPPH в 400 мл 80 % этанола на магнитной мешалке в условиях рассеянного света, крупинки нерастворившегося красителя расти-

рали пестиком в фарфоровой ступке. Раствор фильтровали и хранили в течение суток.

К 3,5 мл рабочего раствора DPPH добавляли 0,2 мл экстракта семян при комнатной температуре, перемешивали, ставили на 2 часа в темное место и регистрировали изменение светопоглощения полученной смеси. В контрольном образце к 3,5 мл рабочего раствора DPPH добавляют 0,2 мл 80 % этанола. Способность образца нейтрализовать стабильный свободный радикал DPPH (антиоксидантная активность – АА) (%) определяется как:

$$AA (\%) = 100 \times (A - B) / A,$$

где А – светопоглощение контрольного образца, В – светопоглощение опытного образца (через 2 часа после смешивания с рабочим раствором радикала (DPPH). Однако этот показатель в значительной мере относителен и зависит от условий проведения эксперимента, концентрации DPPH, соотношения объемов раствора стабильного радикала и экстрактов семян, температуры и других факторов проведения анализа. Поэтому рекомендовано полученные данные выражать в единицах эквивалента стандарта антиоксидантной активности, в качестве которого чаще всего используют аскорбиновую кислоту, «Тролакс» (синтетический водорастворимый аналог «Токоферола»), галловую кислоту и прочее.

В наших исследованиях в качестве стандарта антиоксидантной активности используется хлорогеновая кислота и антиоксидантная активность выражается в мкг хлорогеновой кислоты на 1 г семян образца в соответствии с данными калибровочного графика.

Результаты исследований. В Институте растениеводства им. В. Я. Юрьева селекция сахарной и сверхсахарной кукурузы велась на протяжении последних двадцати лет. Были созданы и внесены в Реестр сортов Украины гибриды и сорта, характеризующиеся высокими вкусовыми качествами, хорошо приспособленными к возделыванию в условиях климата нашей страны, имеющими хорошие биохимические показатели семян в технической спелости (содержание углеводов в гибридах сахарной кукурузы – до 6,5 %, водорастворимых полисахаридов – до 6 %, а у сверхсахарной кукурузы содержание углеводов – до 7,5 %, водорастворимых полисахаридов – до 4,8–5,0 %). В 2015 г. проведено предварительное испытание новых 59 гибридов сверхсахарной кукурузы с участием 22 родительских линий на основе мутации *su₁-se*. Были проанализированы морфологические особенности, урожайность, устойчивость к основным заболеваниям, биохимический состав и антиоксидант-

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИНИЦТВО

ная активность в семенах полной спелости (см. табл.).

Показатель общей антиоксидантной активности варьировал в испытуемых гибридных комбинациях от 31,8 % до 60,4 %, эквивалент хлорогеновой кислоты варьировал в диапазоне 568,4–1008 мкг/г семян. Лучшими показателями антиоксидантной активности характеризовались гибридные комбинации Св. 290 / СЕ-396 (60,4 % и 1008 мкг/г), Св. 255 / СЕ 411 (55,5 % и 987,9 мкг/г), Св. 270 / СЕ 402 (54,5 % и 970 мкг/г и Св. 285 / СЕ-414 (53,1 % и 884,4 мкг/г), а самое низкое значение общей антиоксидантной активности – у комбинаций Св. 260 / СЕ 397 (31,8 % и 568,4 мкг/г), Св. 265 / СЕ 398 (34,3 % и 613,2 мкг/г) и Св. 265 / СЕ 396 (34,8 % и 622,6 мкг/г).

Рабочая модель гибридов сахарной кукурузы предусматривает совмещения в пределах одного генотипа высокой и стабильной продуктивности, оптимальной архитектоники растения, высокой массы товарного початка, крупности семян, высокого качества товарной продукции, устойчивости к основным заболеваниям. Мы выделили лучшие гибридные комбинации, которые сочетают высокую антиоксидантную активность с другими хозяйственными признаками. По урожайности и товарному виду початков выделились 22 гибридные комбинации, они превышали стандарт на 5–15 %. Зерновая продуктивность одного растения (при 14 % влажности) у стандартов составила: Билявка – 71,1 г, Маричка F₁ – 115,2, Соло F₁ – 98,8 г. Лучшими среди изучаемых гибридов были Св. 248 / СЕ-396, Св. 248 /

СЕ-398, Св. 250 / СЕ-415, Св. 270 / СЕ 396, Св. 270 / СЕ 397 и Св. 285 / СЕ-414, Св. 255 / СЕ 397, Св. 270 x СЕ 397. Распределение гибридов по длине початков показало, что у 81,8 % образцов початки были средние по размеру (15–18 см). Однако выявлено длиннопочатковых (19–20 см) 18,2 %. Наиболее ценными являются последние, к которым в частности относятся Св. 255 / СЕ 396, Св. 255 / СЕ 411. Для сахарной кукурузы важным признаком является толщина початка, ведь образцы с толстым початком имеют повышенную способность удерживать влагу и более эффективно использовать ее для формирования зерна, что обеспечивает засухоустойчивость таких форм. В группу с диаметром початка 4,6–5 см отнесены 8 гибридов, в том числе: Св. 280 / Св. 285, Св. 275 / СЕ 409, Св. 270 / СЕ 413, Св. 275 / СЕ 397.

По признаку количества рядов зерен на початке выгодно отличались гибридные комбинации Св. 255 / СЕ 397, Св. 255 / СЕ 402, Св. 275 / СЕ 402, Св. 280 / Св. 285, Св. 280 / Св. 306, Св. 285 / Св. 402, Св. 290 / Св. 397, Св. 295 / Св. 39 (20–22 ряда).

Признак количества зерен на початке является одним из основных, ведь он обеспечивает индивидуальную продуктивность растения. Наибольшим количеством зерен на початке (более 700 шт.) характеризовались такие гибриды: Св. 250 / СЕ 402, Св. 250 / СЕ 414, Св. 255 / СЕ 397, Св. 255 / СЕ 402, Св. 275 / СЕ 402, Св. 285 / Св. 402, что составляет 10,1 % от общего количества изучаемых форм.

Характеристика антиоксидантной активности и основных хозяйственно-ценных признаков у лучших изучаемых гибридных комбинаций сверхсахарной кукурузы

Гибридная комбинация	Эквивалент хлорогеновой кислоты, мкг/г	АА, %	Продуктивность 1 р-ния, г	Масса початка технической спелости, г	Масса 1000 семян, г	К-во дней от сходов до технической спелости, шт.
Св. 290 / СЕ 396	1008,0	60,4	52,2	222	228	79
Св. 255 / СЕ 411	987,9	55,5	51,4	253	248	79
Св. 270 / СЕ 402	970,0	54,5	96,4	270	216	86
Св. 290 / СЕ-395	928,4	55,7	96,4	163	260	79
Св. 275 / СЕ 402	908,9	51,0	98,8	200	184	79
Св. 250 / СЕ 414	869,0	48,8	76,9	256	228	77
Св. 290 / Св. 280	853,1	51,2	51,1	150	256	85
Св. 265 / СЕ 411	850,2	47,7	97,7	164	280	79
Св. 255 / СЕ 397	831,5	46,7	109,2	249	236	77
Св. 295 / СЕ 398	826,2	49,6	46,2	242	196	79
Св. 255 / СЕ 396	820,5	46,0	108,2	254	260	77

Важным элементом в структуре продуктивности является масса 1000 зерен. Выделено 8 гиб-

ридов с массой 1000 зерен более 250 грамм. Лучшие из них: Св. 255 / СЕ 396, Св. 265 / СЕ 411, Св. 280 / Св. 285, Св. 298 / Св. 295, Св. 290 / Св. 395 и другие.

В ряде изученных образцов высокая антиоксидантная активность сочетается с комплексом хозяйственно-ценных признаков:

- Св. 285 / Св. 414 – среднеспелый (от всходов до технической спелости 74 дня), высокорослый (высота растения 250 см), высокопродуктивный (зерновая продуктивность растения 14 % влажности 110 г). На растении 1,5 початка. Початок средний (18 см) слабо цилиндрической формы. Количество рядов зерен – 18. Количество зерен на початке высокое (650 шт.). Зерно светло-желтое, крупное (масса 1000 зерен 236 г). Початок технической спелости крупный (240 г), толстый (диаметр в средней части 4,5 см). Результаты дегустации свежих вареных початков по пятибалльной шкале – 5.

- Св. 270 / СЕ 402 – среднеспелый (от сходов до технической спелости 72 дня), высокорослый (высота растения 250 см), высокопродуктивный (зерновая продуктивность растения 14 % влажности 96 г). Початок средний (17 см) слабо цилиндрической формы. Количество рядов зерен 22 штук. Количество зерен на початке высокое (770 шт.). Зерно светло-желтое, среднее (масса

1000 зерен 216 г). Початок технической спелости крупный (240 г), толстый (диаметр в средней части 4,9 см). Результаты дегустации свежих вареных початков по пятибалльной шкале – 5.

Эти гибриды имеют универсальное назначение и могут использоваться для получения как свежей, так и консервированной продукции, отличаются хорошими вкусовыми качествами, обеспечивают урожай до 120–130 ц/га товарной продукции.

Вывод. Значения общей антиоксидантной активности среди проанализированных нами образцов кукурузы варьировали в достаточно широких пределах (от 31,8 % до 60,4 %, 568,4–1008 мкг/г семян), что дает нам основание использовать этот показатель в дальнейшей селекционной работе при отборе исходных родительских форм и полученных гибридных комбинаций для повышения антиоксидантных свойств гибридов сверхсахарной кукурузы.

У ряда изучаемых образцов высокая антиоксидантная активность сочетается с повышенным значением отдельных хозяйственно-ценных признаков или их комплексом, что позволяет рекомендовать данные формы в качестве исходного материала для создания высокопродуктивных гибридов сверхсахарной кукурузы с ярко выраженными антиоксидантными свойствами.

БИБЛІОГРАФІЯ

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Методичні рекомендації польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи / [підг. І. А. Гур'єва, В. К. Рябчун та ін.]. – Харків, 1995. – 29 с.
3. Advanced Separation Method of Food Anthocyanins, Isoflavones and Flavonols / [Valls J., Millan S., Marti M. P., Borrás E., Arola L.] // J. Chromatogr. A. – 2009. – Vol. 1216, №43. – P. 7143–7172.
4. Analysis of antioxidant-rich phytochemicals / [edited by Z. Xu and L. R. Howard] // Wiley-Blackwell. – 2012. – 391 p.
5. Antioxidant supplementation decreases oxidative DNA damage in human lymphocytes / [Duthie S. J., Ma A., Ross M. A., Collins A. R.] // Cancer Res. – 1996. – Vol. 56. – P. 1291–1295.
6. Arabshahi-Deloue S. Antioxidant Properties of Various Solvent Extracts of Mulberry (*Morus indica* L.) Leaves / S. Arabshahi-Deloue, A. Urooj // Food Chem. – 2007. – Vol. 102. – P. 1233–1240.
7. Arnao M. B. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity / M. B. Arnao, A. Cano, M. Acosta // Food Chem. – 2001. – Vol. 73. – P. 239–244.
8. Aruoma O. I. Free radicals / O. I. Aruoma // J. Am. Oil Chem. – 1998. – Vol. 75. – P. 199–212.
9. Block G. Fruit, vegetables and cancer prevention: a review of epidemiological evidence / Block G., Patterson B., Sauber A. // Nutrition and Cancer. – 1992. – Vol. 18. – P. 1–29.
10. Basic Biochemical Mechanisms behind the Health Benefits of Polyphenols / [Fraga C. G., Galleano M., Verstraeten S. V., Oteiza P. I.] // Mol. Aspects Med. – 2010. – Vol. 31, №6. – P. 435–445.
11. Boudet A. M. Evolution and Current Status of Research in Phenolic Compounds / A. M. Boudet // Phytochemistry. – 2007. – Vol. 68. – P. 2722–2735.
12. Carotenoids: Actual Knowledge on Food Sources, Intakes, Stability and Bioavailability and Their Protective Role in Humans / [Maiani G., Kastan M. J. P., Catasta G. et al.] // Mol. Nutr. Food Res. – 2009. – Vol. 53, Suppl 1. 2. – P. S194–S218.
13. Crozier A. Bioavailability of Dietary Flavonoids and Phenolic Compounds / A. Crozier, D. Del Rio, M. N. Clifford // Mol. Aspects Med. – 2010. – Vol. 31, №6. – P. 446–467.
14. Does Wine Consumption Explain the French

- Paradox? / [De Leiris J., Boucher F., Ducimetiere P., Holdsworth M.] // *Dialog. Cardiovasc. Med.* – 2008. – Vol. 13, №3. – P. 183–192.
15. *Dykes L.* Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits / L. Dykes, L. W. Rooney // *Cereal Foods World.* – 2007. – Vol. 52, №3. – P. 105–111.
16. *Estuo N.* Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo / N. Estuo // *Free Rad. Biol. Med.* – 2010. – Vol. 49. – P. 50–515.
17. *Grassmann J.* Plant's defence mechanism and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress / J. Grassmann, S. Hippeli, E. F. Elstre // *Plant Physiology and Biochemistry.* – 2002. – Vol. 40. – P. 471–478.
18. *Halliwel B.* Free Radicals in Biology and Medicine : [2nd Ed.] / Halliwel B., Gutteridge J. M. C. – Oxford : Clarendon Press, 1989.
19. *Leopoldini M.* The Molecular Basis of Working Mechanism of Natural Polyphenolic Antioxidants / M. Leopoldini, N. Russo, M. Toscano // *Food Chem.* – 2011. – Vol. 125, №2. – P. 288–306.
20. *Martin K. R.* Polyphenols as Dietary Supplements. A Double-Edged Sword / K. R. Martin, C. L. Appel // *Nutr. Dietary Suppl.* – 2010. – Vol. 2. – P. 1–12.
21. *Ou B.* Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe / B. Ou, M. Hampsch-Woodill, R. L. Prior // *J. Agric. Food Chem.* – 2001. – Vol. 49. – P. 4619–4626.
22. Phenolic Compounds in Brassica Vegetables / [Cartea M. E., Francisco M., Soengas P., Velasco P.] // *Molecules.* – 2011. – Vol. 16. – P. 251–280.
23. Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities and Synthesis / [Quideau S., Defieux D., Douat-Casassus C., Pouysegu L.] // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2011. – Vol. 50, №3. – P. 586–621.
24. *Wallace T. C.* Anthocyanins in Cardiovascular Disease / T. C. Wallace // *Adv. Nutr.* – 2011. – Vol. 2. – P. 1–7.