

УДК 581.192: 577.13:582.71

Н.Ю. Колбас, В.Н. Решетников**ИЗМЕНЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ
ПЛОДОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ СОЗРЕВАНИЯ**

Антиоксидантная активность плодов растений *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch, *Rubus caesius* L., *Rubus fruticosus* L., *Rubus nessensis* W. Hall. и *Rubus idaeus* L. для каждой стадии созревания была оценена тремя методами: *ORAC*, *ABTS* и *FRAP*. Рассчитаны индексы спелости. Представлены данные о динамике изменения общего количества фенольных соединений в процессе созревания. Даны рекомендации по срокам заготовки плодов изученных растений для последующего использования в качестве источников антиоксидантов.

Введение

Несмотря на существующее разнообразие, плоды растений в своем развитии проходят одинаковые фазы, приводящие в итоге к созреванию. В настоящее время хорошо изучены физиологические процессы роста, дыхания плодов, а также механизмы их регуляции [1], однако биохимическая природа процесса созревания исследована недостаточно. Детальное изучение особенностей протекания биохимических процессов необходимо для установления оптимальных сроков заготовки плодов в зависимости от дальнейшего использования, так как важнейшие потребительские качества: вкус, размер, окраска, устойчивость в хранении и пригодность для переработки – формируются во время созревания.

Отмечено, что плоды, как и весь растительный организм, практически постоянно подвергаются кислородному воздействию в большей степени за счет процессов дыхания, в меньшей – за счет фотосинтеза, происходящего в хлоропластах незрелых плодов [1]. Около 95% поступающего в организм кислорода в процессе окислительного фосфорилирования восстанавливается в митохондриях до воды, остальные 5% в результате ферментативных реакций преобразуются в его активные формы (пероксид водорода, синглетный кислород, супероксидный и гидроксильный радикалы), являющиеся высокотоксичными агентами для клеток. Процессы свободно радикального окисления биомолекул приобретают характер повреждающего эндогенного фактора при нарушении баланса между активностями радикалообразования и систем антирадикальной/антиокислительной защиты. Это может быть вызвано воздействием различных стресс-факторов либо возрастными изменениями, и, так или иначе, приводить к гибели организма. Вещества антиоксиданты (АО) могут эффективно контролировать не только процессы, связанные с воздействием биорадикалов, но и рост, развитие растений, отодвигая тем самым гибель клеток [2]. Мощными АО сочных плодов являются фенольные соединения.

Анализ литературных данных показал противоречивость сведений о динамике изменения антиоксидантной активности (АОА) в процессе онтогенеза плодов: одни авторы отмечают снижение этого показателя [3–6], другие – увеличение [7; 8], при этом и те и другие указывают на генетическую и климатическую детерминацию данного параметра. Таким образом, возникает необходимость изучения динамики изменения АОА плодов в процессе созревания для конкретного вида растения или его сорта, произрастающего в определенных условиях.

Цель данной работы – изучить изменение АОА плодов в процессе их созревания на примере некоторых представителей семейства *Rosaceae* Juss. В соответствии с поставленной целью нами были сформулированы следующие задачи:

1) охарактеризовать стадии созревания плодов *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch., *Rubus caesius* L., *Rubus fruticosus* L., *Rubus nessensis* W. Hall. и *Rubus idaeus* L. по морфологическим признакам, индексам спелости, общему количеству фенольных соединений;

2) определить АОА плодов на каждой стадии созревания с помощью трех методов *ORAC*, *ABTS* и *FRAP*;

3) установить оптимальные сроки заготовки плодов изучаемых видов для последующего применения в качестве источника природных АО.

Материалы и методы исследования

Изучаемые виды были идентифицированы согласно определителям [9; 10]. Для темноплодных представителей рода *Rubus* (*R. nessensis*, *R. caesius*, *R. fruticosus*) и *A. spicata* были обозначены четыре, а для *R. idaeus* – три стадии созревания плодов, морфологические особенности которых представлены в таблице 1. Плоды *A. spicata* и *R. idaeus* заготавливали в конце июня – начале июля с интервалом 7 дней, а плоды *R. nessensis*, *R. caesius* и *R. fruticosus* – в течение июля с интервалом 5 дней. Собранные плоды каждого вида и каждой стадии созревания (около 800 г) делили на две партии. Первую партию подготавливали для определения индекса спелости: 100 г свежих плодов измельчали (гомогенизатор GM 200 mill, фирма «Retsch Fisher Bioblock», Франция), затем фильтровали и далее определяли общее содержание сахаров и титруемую кислотность полученного сока. Вторую партию плодов подвергали глубокой заморозке при температуре -40°C , затем отдельные порции массой 100 г сушили сублимацией без доступа света (лиофилизатор Alpha 2–4, фирма «Christ», Германия) и измельчали до частиц диаметром 1 мм (вибрационная мельница MM 200, фирма «Retsch», Германия). Биологически активные соединения многократно экстрагировали сначала 80%-ным ацетоном, затем 60%-ным метанолом до отрицательной реакции с 15%-ным раствором гидроксида натрия [8]. Каждый этап экстракции длился 10 минут при температуре $+22^{\circ}\text{C}$ и максимальном давлении 1 500–1 700 *psi* в инертной атмосфере азота с применением экстрактора ASE-350 (фирма «Dionex», США). Растворители из полученных экстрактов отгоняли под вакуумом при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ с использованием ротационного испарителя LABOROTA 4002 control («Heidolph», Германия), остатки сушили сублимацией без доступа света и далее анализировали. Пробподготовку плодов каждой партии проводили в трехкратной повторности.

Определение содержания растворимых сахаров. Анализ проводили согласно СТБ ГОСТ Р 51433-2007 [11] с применением рефрактометра (ИРФ 454 Б2М, фирма «КОМЗ», РФ). Общее содержание растворимых сахаров (ОСРС) выражали в г сахарозы, содержащейся в 100 г сырых плодов (г С/100 г СВ).

Определение титруемой кислотности. Титруемую кислотность (ТК) определяли методом потенциометрического титрования раствором гидроксида натрия до pH 8,1 (рН-метр 150 М, РФ) в соответствии с СТБ ГОСТ Р 51434-2006 [12]. ТК рассчитывали в г лимонной кислоты на 100 г сырого веса плодов (г ЛК/100 г СВ).

Индекс спелости (ИС) для каждой стадии рассчитывали как отношение показателей ОСРС к ТК [13].

Общее количество фенольных соединений (ОКФС). Количественный анализ фенольных соединений проводили согласно методике [14]. Оптическую плотность анализируемой смеси регистрировали при $\lambda = 765$ нм с применением спектрофотометра Proscan MC 122 (РБ). Общее количество фенольных соединений рассчитывали в мг галловой кислоты на 100 г сырого веса плодов (мг ГК/100 г СВ), учитывая линейную зависимость концентрации стандарта от оптической плотности раствора.

Определение общей АОА. Руководствуясь рекомендациям [15] для оценки общей АОА плодов, в данном исследовании использовали три метода: *ORAC* (*Oxygen Radical Absorption Capacity*), *ABTS* и *FRAP* (*Ferric Reducing Antioxidant Power*).

Измерение АОА методом *ORAC* проводили по методике, описанной Dávalos с соавторами [16], используя комбинированный спектрофлуориметр BMG LABTECH (Германия) с устройством для считывания микропланшеты на 96 ячеек. В качестве источника кислород-радикалов применяли 2,2'-азобис-(2-метилпропионамидин) дигидрохлорид. Для получения кинетической кривой угасание флуоресценции регистрировали в течение 60 минут с интервалом в 1 минуту при температуре реакционной смеси +37°C, длине волны возбуждения - 485 нм и волны испускания 530 нм.

Для определения АОА плодов методом *ABTS* регистрировали изменение оптической плотности смеси 3 мл рабочего раствора катион-радикала 2,2'-азинобис[3-этил-2,3-дигидро-6-бензотиазол-сульфоукислоты] и 100 мкл анализируемого экстракта в течение 10 минут при длине волны 734 нм, температуре +25°C и постоянном перемешивании [17]. Раствор *ABTS*^{•+} готовили по методике Riedl (2001) [18] и диспергировали дистиллированной водой до значения абсорбции $0,7 \pm 0,02$ при $\lambda = 734$ нм. Измерения проводили на спектрофотометре Proscan MC 122 (РБ).

В качестве стандарта АОА для этих двух методов применяли гидрофильный аналог токоферола – тролокс (6-гидрокси-2,5,7,8- тетраметилхроман-2-карбоновая кислота). Для построения калибровочной кривой использовали эффективный диапазон концентраций тролокса (CAS № 53188-07-1, фирма «Aldrich») от 1 до 20 мкмоль/л фосфатного буфера (pH 7,4) для метода *ORAC* и от 50 до 300 мкмоль/л для испытания с катион-радикалом *ABTS*. АОА исследуемых плодов выражали в ммоль тролокс эквивалента на 100 г сырого веса (ммоль ТЕ/100 г СВ), учитывая квадратичную зависимость АОА стандарта от его концентрации.

Измерение АОА плодов по способности восстанавливать Fe(III)-трипиридилтриазин в Fe(II)-комплекс (метод *FRAP*) проводили по методике, модифицированной Dudonné с соавторами [19]. Оптическую плотность анализируемой смеси регистрировали при $\lambda = 593$ нм, используя комбинированный спектрофлуориметр BMG LABTECH (Германия). АОА, определенную этим методом, выражали в ммоль Fe⁺² на 100 г сырого веса плодов (ммоль Fe⁺²/100 г СВ), учитывая квадратичную зависимость АОА стандарта от его концентрации.

Для статистической обработки полученных данных применяли программу R software (version 2.14.1, R Foundation for Statistical Computing, Австрия).

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 представлена характеристика каждой из стадий созревания плодов *A. spicata*, *R. caesius*, *R. fruticosus*, *R. nessensis* и *R. idaeus*. При обозначении той или иной стадии определяющим визуальным параметром служила окраска плодов. В зависимости от типов углеводов, накапливающихся по мере созревания, растения условно разделяют на сахарозные и несакхарозные [20]. Среди изученных нами видов к первой группе относят *A. spicata* [21], ко второй – представителей рода *Rubus* (содержание сахарозы очень низкое) [20]. Изученные виды можно расположить в порядке уменьшения ОСРС зрелых плодов следующим образом: *A. spicata* > *R. idaeus* > *R. fruticosus* > *R. caesius* $\approx$ *R. nessensis*. Отметим, что по мере созревания ОСРС в плодах повышается, а ТК – снижается. Эта закономерность также была выявлена для других сочных плодов [3; 4; 8]. Отметим, что при довольно высоком содержании растворимых сахаров (от 2,32 до 5,83 г/100 г СВ) плоды *A. spicata* имеют низкую ТК (от 0,07 до 0,12 г ЛК/100 г СВ) и, соответственно, высокий ИС. Стадии 1 и 2 этих плодов являются началом созревания (ИС менее 50), стадии 3 и 4 – стадиями полной спелости (ИС более 50).

Для плодов представителей рода *Rubus* значения ИС намного ниже. Этот показатель для темноплодных представителей варьирует: на стадии 1 – от 1,74 до 1,93, на стадии 2 – от 2,49 до 2,79, на стадии 3 – от 4,32 до 5,12 и на стадии 4 – от 7,02 до 8,39. ИС плодов *R. idaeus* возрастает с 3,1 до 10,74.

Таблица 1 – Характеристика стадий спелости плодов некоторых представителей семейства *Rosaceae*

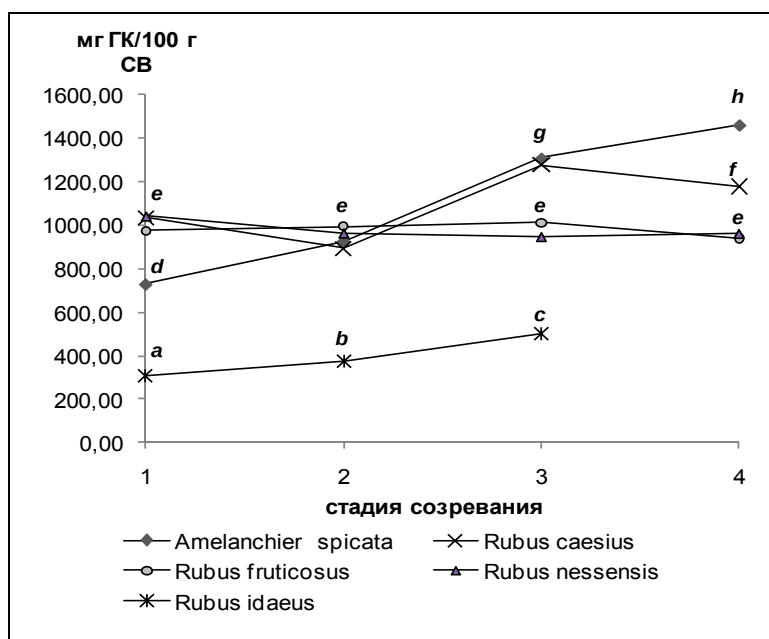
Стадия	Окраска	ОСРС	ТК	ИС	% сухих веществ
<i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) C. Koch.					
1	красная	2,32±0,02	0,12±0,005	18,86	23,68
2	красно-фиолетовая	4,51±0,02	0,12±0,004	38,33	27,84
3	темно-синяя	5,54±0,01	0,11±0,017	50,52	27,77
4	темно-синяя с серым налетом	5,83±0,30	0,07±0,008	87,50	26,89
<i>Rubus caesius</i> L.					
1	50% костянок красные	1,70±0,01	0,98±0,02	1,74	12,36
2	50% костянок красные, 50% красно-бурые	2,15±0,11	0,86±0,04	2,49	12,94
3	100% костянок темно-синие	3,27±0,05	0,76±0,03	4,32	14,26
4	100% костянок темно-синие с сизым налетом	3,81±0,09	0,54±0,02	7,07	14,68
<i>Rubus fruticosus</i> L.					
1	50% костянок красные	2,03±0,09	1,13±0,06	1,80	23,51
2	100% костянок красно-бурые	2,47±0,12	0,91±0,01	2,73	20,43
3	100% костянок темно-синие, имеют блеск	3,33±0,10	0,65±0,01	5,12	17,85
4	100% костянок темно-синие матовые	4,71±0,14	0,49±0,03	8,39	21,26
<i>Rubus nessensis</i> W. Hall.					
1	50% костянок красные	1,91±0,05	0,99±0,05	1,93	15,67
2	100% костянок красно-бурые	2,52±0,07	0,90±0,02	2,79	15,23
3	100% костянок темно-синие, имеют блеск	3,15±0,01	0,70±0,02	4,53	16,87
4	100% костянок темно-синие матовые	3,51±0,03	0,50±0,03	7,02	17,53
<i>Rubus idaeus</i> L.					
1	розовая	2,02±0,10	0,65±0,03	3,10	20,54
2	малиновая	3,16±0,23	0,51±0,01	6,18	19,44
3	темно-малиновая	4,10±0,11	0,38±0,01	10,74	19,96

Примечание – ОСРС – общее содержание растворимых сахаров (в г сахарозы на 100 г сырого веса плодов); ТК – титруемая кислотность (в г лимонной кислоты на 100 г сырого веса); ИС – индекс спелости

Процентное содержание сухих веществ колеблется от 23,68 до 27,84 для плодов *A. spicata*, от 17,85 до 23,51 для *R. fruticosus*, от 19,44 до 20,54 для *R. idaeus*, от 15,23 до 17,53 для *R. nessensis* и от 12,36 до 14,68 для *R. caesius*. Масса сочных плодов увели-

чивается в большей степени за счет накопления воды, чем сухих веществ, процентное содержание которых возрастает незначительно, а иногда даже снижается [1].

Динамика изменения содержания фенольных соединений в процессе созревания плодов представлена на рисунке 1. Два вида демонстрируют тенденцию увеличения ОКФС. Этот показатель для плодов *A. spicata* возрастает с 726,88 до 1458,42 мг ГК/100 г СВ, что постадийно составляет 27%, затем 41% и 12%. ОКФС плодов *R. idaeus* на стадии 2 увеличивается на 23%, на стадии 3 – на 32% при значениях показателя от 304,49 до 496,75 мг ГК/ 100 г СВ. Темноплодные виды *Rubus* не демонстрируют четкой тенденции изменения ОКФС в процессе созревания их плодов. Так, для плодов *R. fruticosus* на стадиях 1–3 наблюдается незначительное увеличение показателя с 973,85 до 1010,81 мг ГК/ 100 г СВ, а затем снижение на 7%. Для плодов *R. caesius* и *R. nessensis* в начале созревания ОКФС (в мг ГК/ 100 г СВ) составляет 1033,15 и 1038,61 соответственно. Однако уже на стадии 2 наблюдается заметное снижение этого показателя (до 13,6% и 8% соответственно), далее для плодов *R. nessensis* значение остается на прежнем уровне, а для плодов *R. caesius* сначала повышается на 42%, но к моменту полного созревания снижается до 1176,9 мг ГК/100 г СВ. Пик увеличения ОКФС плодов на стадии 3 соответствуют климактерическому подъему дыхания, который описан в литературе [1; 21]. Вероятно, фенольные соединения участвуют в предотвращении окислительного стресса.



ГК – галловая кислота; СВ – сырой вес плодов;
a, b, c, d, e, f, g, h – статистические различия (при $p < 0,05$)

Рисунок 1 – Динамика изменения содержания фенольных соединений в процессе созревания плодов

Изученные растения можно ранжировать в порядке уменьшения ОКФС их плодов последней стадии созревания следующим образом: *A. spicata* > *R. caesius* > > *R. nessensis* ≈ *R. fruticosus* > *R. idaeus*. Таким образом, динамика изменения этого показателя в процессе созревания плодов генетически детерминирована, что подтверждает ранее высказанные предположения [3–8; 22].

Анализ данных трех методов определения АОА показал одинаковую тенденцию увеличения параметра в процессе созревания плодов *A. spicata* (рисунок 2А): в ммоль ТЕ/100 г СВ с 4,46 до 6,38 (метод *ORAC*) и с 4,79 до 8,75 (метод *ABTS*), а также с 5,12 до 13,63 ммоль Fe^{+2} /100 г СВ (метод *FRAP*). При этом наибольшее повышение АОА наблюдается между стадиями 1 и 2 (в среднем на 12% для метода *ORAC*, на 36% для *ABTS* и на 128% для *FRAP*). Аналогичную тенденцию демонстрируют плоды *R. idaeus* (рисунок 2Е), АОА которых повышается с 1,07 до 2,26 и с 1,66 до 3,41 ммоль ТЕ/100 г СВ (методы *ORAC* и *ABTS* соответственно), а также с 3,50 до 4,46 ммоль Fe^{+2} /100 г СВ (метод *FRAP*).

Каждый из методов определения АОА по-разному характеризует изменение антиоксидантной способности плодов по мере их созревания для темноплодных представителей рода *Rubus*. Так, для плодов *R. fruticosus* метод *FRAP* (рисунок 2С) иллюстрирует довольно плавное снижение АОА: с 12,32 до 10,21 ммоль Fe^{+2} /100 г СВ. Метод *ABTS* показал, что АОА снижается на стадии 3 с 8,12 до 7,13 ммоль ТЕ/100 г СВ, а уже на стадии 4 плоды проявляют практически такую же антиоксидантную способность, как и на начальном этапе созревания (8,17 ммоль ТЕ/100 г СВ). Значения АОА, выявленные методом *ORAC* для плодов данного вида, варьируют от 3,90 до 5,12 ммоль ТЕ/100 г СВ, при этом кривая изменения этого параметра имеет пик на стадии 3. Аналогичные пики подъема АОА, оцененной методом *ORAC*, выявлены для плодов *R. caesius* и *R. nessensis* (рисунок 2В и 2Д), что соответствует климактерическому подъему дыхания. Отметим, что роль климактерического подъема дыхания в процессах созревания и старения плодов до конца не установлена.

Противоположную тенденцию – снижение АОА (хотя и незначительное) плодов *R. nessensis* в период климактерического подъема дыхания – демонстрируют результаты метода *FRAP* (рисунок 2Д). АОА плодов *R. nessensis* снижается с 9,24 ммоль Fe^{+2} /100 г СВ на 0,28%, а затем повышается на 19%. Средний результат АОА, выявленной методом *ABTS*, составил около 6,37 ммоль ТЕ/100 г СВ плодов, и различия значений этого параметра для четырех стадий созревания не были достоверными. Кривые изменения АОА плодов *R. caesius*, оцененные тремя методами, имеют довольно схожий вид (рисунок 2В). Значения АОА в ммоль ТЕ/100 г СВ, согласно данным метода *ORAC* и *ABTS*, колеблются от 2,57 до 4,14 и от 4,93 до 6,67 соответственно, а также от 6,87 до 8,95 ммоль Fe^{+2} /100 г СВ (метод *FRAP*).

В целом в соответствии с результатами трех методов изученные растения можно расположить в порядке уменьшения АОА их плодов на последней стадии созревания следующим образом: *A. spicata* > *R. fruticosus* > *R. nessensis* ≈ *R. caesius* > *R. idaeus*.

В работе [15] установлено, что для поддержания антиоксидантного статуса организма взрослому человеку необходимо употреблять продукты, содержащие 1,2–1,7 ммоль АО в сутки. Согласно нашим данным, эта суточная доза может быть достигнута за счет употребления примерно 28 г плодов *A. spicata*, или 50 г ягод темноплодных представителей рода *Rubus*, или 75 г плодов *R. idaeus*.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции (*r*-Pearson) между результатами трех методов определения антиоксидантной активности (*ORAC*, *ABTS*, *FRAP*) и общим количеством фенольных соединений (ОКФС)

	<i>ABTS</i>	<i>FRAP</i>	ОКФС
<i>ORAC</i>	0,623*	0,637*	0,532*
<i>ABTS</i>		0,885***	0,775**
<i>FRAP</i>			0,648*

Примечание – *** – уровень значимости (*P*) < 0,001; ** – 0,001 < *P* < 0,009; * – 0,01 < *P* < 0,05.

Проведенный нами статистический анализ выявил положительную корреляцию между ОКФС и АОА (таблица 2), что подтверждает данные предыдущих наших исследований [22], а также сведения других авторов [3–8; 15]. Среди методов определения АОА самый низкий коэффициент корреляции с ОКФС имеет тест *ORAC* ($r = 0,532$). Отметим, что в пределах каждого вида аналогичный коэффициент корреляции был несколько выше (от 0,747 до 0,947). Исключение составили плоды *R. nessensis*, для которых корреляционная связь между ОКФС и методом *ORAC* не была установлена ($r = 0,307$). Таким образом, для выявления вклада в АОА плодов необходим детальный качественный и количественный анализ фенольных соединений. Среди использованных в данном исследовании методов определения АОА достаточно высокая корреляция была между результатами тестов *ABTS* и *FRAP* ($r = 0,885$).

Заклучение

Использованные в данном исследовании методы определения АОА (*ORAC*, *ABTS* и *FRAP*) показали свою эффективность и репрезентативность. Для *A. spicata* и *R. idaeus* выявлено повышение антиоксидантной способности, а так же увеличение содержания фенольных соединений при созревании их плодов. Полученные с помощью метода *ORAC* сведения об увеличении АОА в период климактерического подъема дыхания для плодов *R. caesius*, *R. fruticosus* и *R. nessensis* подтверждают роль антиоксидантной системы растения в поддержании нормального функционирования организма при наличии активных форм кислорода. Заготовку плодов *A. spicata* с целью последующего применения в качестве источника природных АО необходимо осуществлять при значении ИС более 87, плодов *R. idaeus* – более 10, а для темноплодных представителей рода *Rubus* ИС должен составлять от 4,3 до 5,12. Высокое содержание растворимых сахаров в плодах *A. spicata* указывает на перспективность их применения в пищевой промышленности для производства соков, джемов, компотов и другой продукции.

Имеющиеся сведения о терапевтических свойствах, а также полученные данные об общей АОА и достаточно высоком содержании полифенолов позволяют рекомендовать плоды изученных растений к употреблению в свежем виде либо для производства фитопрепаратов повышенной биологической ценности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полевой, В.В. Физиология растений : учебник для биол. спец. ВУЗов / В.В. Полевой. – М. : Высшая школа, 1989. – 464 с.
2. Ванюшин, Б.Ф. Апоптоз у растений / Б.Ф. Ванюшин // Успехи биол. химии. – 2001. – Т. 41. – С. 3–38.
3. Bouaziz, M. Comparative Study on Phenolic Content and Antioxidant Activity during Maturation of the Olive Cultivar Chemlali from Tunisia / M. Bouaziz, M. Chamkha, S. Sayadi // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, № 17. – P. 5476–5481.
4. Doshi, P. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. Kishmish Chorny (Sharad Seedless) during maturation / P. Doshi, P. Adsule, K. Banerjee // Int. J. Food Sci. Technology. – 2006. – Vol. 41, Suppl. 1. – P. 1–9.
5. Effect of maturity stage on the fruit characteristic, total phenolic content and total antioxidant capacity of some plum genotypes / A.A. Polat [et al.] // J. Fac. Agric, Mustafa Kemal University. – 2009. – Vol. 14, № 2. – P. 23–32.

6. Effect of maturity at harvest in relation to changes in antioxidant properties and ethylene in «Chandler» strawberry fruit / F.M. Woods [et al.] // Small Fruits Review. – 2005. – Vol. 4, № 3. – P. 85–105.
7. Changes in chemical composition, antioxidant activities and total phenolic content of *Arbutus andrachne* fruit at different maturation stages // M. Ozgen [et al.] // It. J. Food Sci. – 2009. – Vol. 21, № 1. – P. 65–72.
8. Influence of Cultivar, Maturity, and Sampling on Blackberry (*Rubus* L. Hybrids) Anthocyanins, Polyphenolics, and Antioxidant Properties / T. Siriwoharn [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, № 26. – P. 8021–8030.
9. Bonnier, G. La grande flore en couleurs de Gaston Bonnier / G. Bonnier, R. Douin. – Paris – Belin, 1990. – Т. 3. – P. 332–335.
10. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В.И. Парфенова. – Минск : Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
11. Соки фруктовые и овощные. Метод определения содержания растворимых сухих веществ рефрактометром: СТБ ГОСТ Р 51433-2007. – Введен 01.07.2008. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2007. – 12 с.
12. Соки фруктовые и овощные. Метод определения титруемой кислотности: СТБ ГОСТ Р 51434-2006. – Введен 01.06.2007. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2007. – 12 с.
13. Kader, A.A. Fruit maturity, ripening, and quality relationships / A.A. Kader // Int. Symp. on Effect of Pre- and Post Harvest Factors on Storage of Fruit; Ed. L. Michalczuk. – Acta Hort. – 1999. – № 485. – P. 203–208.
14. Waterhouse, A.L. Determination of Total Phenolics/ A.L. Waterhouse // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. – 2002. – II.1.1–II.1.8.
15. Prior, R.L. Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements / R.L. Prior, X. Wu, K. Schaich // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 10. – P. 4290–4302.
16. Dávalos, A. Extending applicability of the oxygen radical absorbance capacity (ORAC-fluorescein) assay / A. Dávalos, C. Gomez-Cordoves, B. Bartolome // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, № 1. – P. 48–54.
17. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re [et al.] // Free Radical Biol. Med. – 1999. – Vol. 26, № 9/10. – P. 1231–1237.
18. Riedl, K.M. Tannin-protein complexes as radical scavengers and radical sinks / K.M. Riedl, A.E. Hagerman // J. Agric. Food Chem. – 2001. – Vol. 49, № 10. – P. 4917–4923.
19. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD and ORAC Assays / S. Dudonné [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2009. – Vol. 57, № 5. – P. 1768–1774.
20. Метлицкий, Л.В. Биохимия плодов и овощей / Л.В. Метлицкий. – М. : «Экономика», 1970. – 271 с.
21. Стрельцина, С.А. Биохимический состав Ирги ольхолистной (*Amerlanchier alnifolia* Nutt.) в условиях северо-запада Российской Федерации / С.А. Стрельцина, Л.А. Бурмистров // Аграрная Россия. – 2006. – № 6. – С. 63–67.
22. Kolbas, N. Antioxidant activity and phenolic composition in grape berries (*Vitis vinifera* L.) at different stages of maturation / N. Kolbas [et al.] // Symp. Viticulture & Œnologie «Wine Active Componaunds», 24–26 March 2011, Beaune, France. – IUUV, Bourgogne, 2011. – P. 307–308.

Kolbas N.Y., Reshetnikov V.N. Changes in Antioxidant Activity of Fruits on Different Maturation Stages

Fruits from serviceberry (*Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch), blackberry (*Rubus caesius* L., *Rubus fruticosus* L., *Rubus nessensis* W. Hall.) and red raspberry (*Rubus idaeus* L.) at various stages of maturation were analyzed for total antioxidant capacity and total phenolic content. Maturity indices were also calculated. Antioxidant capacity of berries extracts have been investigated using ABTS radical scavenging capacity assay, oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay and ferric reducing antioxidant potential (FRAP) assay. Total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method. The ripe fruits tested serviceberry and blackberries may be the richest source for antioxidants. Recommendations on terms of harvesting the fruits of the studied plants for subsequent use as a source of antioxidants have been submitted.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 16.02.2012