УДК 634.38:581.19 doi: 10.15389/agrobiology.2022.1.122rus

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ У РАСТЕНИЙ *Morus alba* и *Morus nigra*

Ф.И. ИСЛАМОВА✉, Г.К. РАДЖАБОВ, А.М. МУСАЕВ

Шелковица (*Morus* L.) — древесное растение, имеющее важное хозяйственное значение. На территории Республики Дагестан встречаются два ее вида — *M. alba* L. и *M. nigra* L. Плоды культуры *Morus*, экстракты из листьев, коры и корней обладают мощными антиоксидантными, противовоспалительными, противомикробными свойствами и обезболивающим эффектом. В настоящей работе мы впервые установили высокий антиоксидантный статус плодовых выжимок у двух видов *M. alba* и *M. nigra* (сорт Hartut), произрастающих в Республике Дагестан. Полученные данные позволяют оценить степень вариабельности суммы антиоксидантов не только в плодовых выжимках, но и в других частях растения (листьях, коре, корнях). Выявлено, что плодовые выжимки содержат необходимое количество моно-, дисахаридов и биологически активных соединений (витамины, органические кислоты), а также имеют богатый минеральный состав. Нашей целью было изучение антиоксидантной активности и биохимического состава плодовых выжимок, листьев, коры и корней у двух видов рода *Morus* в условиях Республики Дагестан. Объектом исследования служили растения *Morus alba* (белоплодная форма), *M. alba* (черноплодная форма) *M. alba* (розовоплодная форма) и *M. nigra* (сорт Hartut). Использовали плодовые выжимки шелковицы и части растений (листья, кора, корни). Сбор образцов проводили в 2020 году в период массового созревания плодов во второй декаде июня в частном питомнике (ООО «Низам»), расположенном в пригороде г. Махачкалы (пос. Ленинкент, Республика Дагестан). Суммарное содержание антиоксидантов определяли амперометрическим методом на приборе Цвет Яуза 01-АА (ОАО НПО «Химавтоматика», Россия) по силе тока в электрохимической ячейке, который возникал при подаче на электрод определенного потенциала. С помощью градуировки сравнивали сигналы исследуемого экстракта с сигналами образца сравнения — галловой кислоты. Содержание водорастворимых витаминов, органических кислот и сахаров определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы Капель-105М (ООО «Люмэкс-маркетинг», Россия). Минеральный состав анализировали атомно-абсорбционным методом при атомизации в ацетиленово-воздушном пламени на атомно-абсорбционном спектрометре SavantAAΣ («GBC Scientific Equipment Pty Ltd.», Австралия). В результате исследований был установлен высокий антиоксидантный статус образцов плодово-ягодного сырья (выжимок плодов) культуры *Morus* L. Наибольшие значения показателя отмечены у белоплодной формы *M. alba* (400,73 мг/г) и *M. nigra* сорта Hartut (363,77 мг/г). По содержанию антиоксидантов в листьях и корнях выделялась черноплодная форма *M. alba* — соответственно 44,56 мг/г и 71,79 мг/г. Наибольшее количество антиоксидантов в коре отмечали у *M. nigra* — 36,33 мг/г. Результаты определения водорастворимых витаминов в плодовых выжимках *Morus* показали большее содержание витаминов С (аскорбиновая кислота) и B_9 (фолиевая кислота), причем особенно выделялись белоплодная форма *M. alba* (31,4 и 5,2 мг%) и *M. nigra* сорта Hartut (29,0 и 6,0 мг%). Качественный и количественный анализ выявил в растениях 10 химических элементов, из них ведущее значение имели пять — Na, K, Ca, Mg, Fe. Калий в большем количестве (342,6 мг%) был обнаружен у *M. alba* (черноплодная форма), высокая концентрация Ca (50,6 мг%) — у *M. alba* (розовоплодная форма). По накоплению Mg, выделился *M. nigra* — 54,6 мг%. Наибольшее количество Na (16,5 мг%) было обнаружено у *M. alba* (черноплодная форма). По содержанию Fe (3,1 мг%) отличился образец *M. alba* (розовоплодная форма). Из органических кислот в *M. alba* и *M. nigra* были обнаружены только яблочная и лимонная. Во всех образцах содержание лимонной кислоты оказалось в 1,5-2 раза выше, чем яблочной, за исключением розовоплодной формы *Morus alba*. Согласно данным по накоплению моно- и дисахаридов (фруктозы, глюкозы, сахарозы), во всех образцах количественно преобладала глюкоза, особенно у черноплодной формы *Morus alba* — 10,40 %. Высокая биологическая ценность *M. alba* и *M. nigra* сорта Hartut позволяет назвать эти растения привлекательной плодово-лекарственной культурой. Культура *Morus* L. представляет интерес для разработки лечебно-профилактических продуктов питания, биологически активных добавок и устранения дефицита витаминов в рационах.

Ключевые слова: антиоксиданты, *Morus alba*, *Morus nigra*, сорт Hartut, макроэлементы, микроэлементы, витамины, органические кислоты, сахара.

При окислительном стрессе происходит сбой в естественной антиоксидантной системе организма, увеличивается риск развития ряда опасных заболеваний, снижается продолжительность жизни (1-4). Известно, что

нейтрализовать свободные радикалы способны природные источники антиоксидантов (лекарственные растения, фрукты, овощи, семена, плоды, ягоды и полученные из них продукты функционального назначения). В настоящее время растительное сырье, содержащее антиоксиданты, которые обладают мягким воздействием на организм, все чаще применяют в профилактических целях (5-7).

Антиоксиданты замедляют свободнорадикальные реакции, защищают клеточные мембраны и ДНК от разрушения. В медицине использование растительного сырья в значительной степени обусловлено содержанием в нем биофлавоноидов, обладающих противовоспалительным, антивирусным, антимутагенным, противоопухолевым и гепатопротекторным действием (8-11). Традиционно для конструирования здорового питания используют плодово-ягодное сырье, характеризующееся высокой биологической и фармакологической активностью (12, 13).

В последние годы возрос интерес к фитохимическим особенностям и фармакологической ценности культуры шелковицы (*Morus* L.) (14, 15). Известно, что род Шелковица состоит из 10-16 видов, распространенных в умеренном и субтропическом поясах Азии, Африки, Северной Америки. Шелковица — древесное растение, имеющее важное хозяйственное значение. Плоды культуры *Morus* L. характеризуются мощными антиоксидантными свойствами, экстракты из коры и корней — обезболивающим эффектом (16, 17). Экстракты из листьев и цветков белой шелковицы обладают противотуберкулезной активностью и свойствами иммуномодуляторов (18, 19). В корнях, коре и плодах *Morus* L. содержится мощный антиоксидант — ресвератрол, который нормализует клеточный обмен и усиливает транспорт кислорода, регулирует жировой обмен в печени, укрепляет стенки сосудов, улучшает реологические показатели крови, а также имеет противоаллергические, радиопротекторные, противовоспалительные, противомикробные свойства (20-23). Мощный биологический потенциал культуры *Morus* L. делает ее привлекательной в качестве сырья для использования в функциональном питании.

В настоящей работе мы впервые установили высокий антиоксидантный статус плодовых выжимок у двух видов — *M. alba* и *M. nigra* (сорт Hartut), произрастающих в Республике Дагестан. Полученные данные позволяют оценить степень вариабельности суммы антиоксидантов не только в плодовых выжимках, но и в других частях растения (листьях, коре, корнях). Нами выявлено, что плодовые выжимки содержат необходимое количество моно-, дисахаридов и биологически активных соединений (витамины, органические кислоты), а также имеют богатый минеральный состав.

Нашей целью было изучение антиоксидантной активности и биохимического состава двух видов — *Morus alba* и *M. nigra* (сорт Hartut) (плодовые выжимки, листья, кора, корни) в условиях Республики Дагестан.

Методика. Объектами исследования служили растения *M. alba* (белоплодная форма), *M. alba* (черноплодная форма), *M. alba* (розовоплодная форма) и *M. nigra* (сорт Hartut). Использовали плодовые выжимки шелковицы и части растений (листья, кора, корни).

Сбор образцов проводили в 2020 году в период массового созревания плодов во II декаде июня в частном питомнике (ООО «Низам»), расположенном в пригороде г. Махачкалы (пос. Ленинкент, Республика Дагестан; деревья одного возраста — 27 лет, отдельно стоящие). Почвы на участке каштановые, суглинистые, с содержанием гумуса 2-3 %. Участок поливной.

Суммарное содержание антиоксидантов в выжимках плодов и частях

растений определяли амперометрическим методом на приборе Цвет Яуза 01-АА (ОАО НПО «Химавтоматика», Россия), основанном на измерении электрического тока в электрохимической ячейке, который возникал при подаче на электрод определенного потенциала. При построении градуировочного графика с целью исключения случайных результатов были приготовлены растворы тригидрата галловой кислоты (чистота > 98,5 %) («Sigma-Aldrich», Китай) с массовой концентрацией 0,2; 0,4; 2,0; 4,0 мг/л и проводили пять последовательных измерений, из которых три повторности учитывали при статистической обработке. В качестве элюента использовали ортофосфорную кислоту («Компонент-реактив», Россия) с молярной долей 0,0022 моль/дм^3. С помощью градуировки сопоставляли сигналы исследуемого экстракта с сигналами образца сравнения — галловой кислоты. Суммарное содержание антиоксидантов выражали в мг/г (24).

Содержание водорастворимых витаминов (Методика М 04-72-2011, https://www.lumex.ru/metodics/20ARU03.13.03-1.pdf), органических кислот и сахаров в выжимках плодов оценивали на основе разделения ионных форм анализируемых компонентов методом капиллярного электрофореза с использованием системы Капель-105М (ООО «Люмэкс-маркетинг», Россия). Количество водорастворимых витаминов определяли при напряжении электрического поля 25 кВ и $\lambda = 200$ нм, органических кислот — при –20 кВ и $\lambda = 254$ нм (Методика М 04-47-2012, https://www.lumex.ru/metodics/20ARU03.01.09-1.pdf), содержание сахаров — при –25 кВ и $\lambda = 254$ нм (Методика М 04-69-2011, https://www.lumex.ru/metodics/20ARU03.15.03-1.pdf).

Минеральный состав исследовали атомно-абсорбционным методом при атомизации в ацетиленово-воздушном пламени на атомно-абсорбционном спектрометре SavantAA Σ («GBC Scientific Equipment Pty Ltd.», Австралия). Содержание макро-, микро- и ультрамикроэлементов выражали в мг% (МУ 01-19/47-11).

Полученные данные обработали статистически с использованием пакета Microsoft Excel и программы Statistika 5.5 («StatSoft, Inc.», США). Определяли средние значения показателей (*M*) и значения СКО (относительное среднеквадратичное отклонение), которые в нашем случае не превышали 0,1 % (при допустимых 5 %). На основании СКО вычисляли ошибку средней арифметической SEM (выборочная оценка ошибки средней равна СКО/$\sqrt{n}$). Обработку проводили методом однофакторного дисперсионного анализа. Достоверность между выборочными средними оценивали с использованием *F*-критерия Фишера. Также вычисляли вероятность подтверждения нулевой гипотезы (p-уровень).

Результаты. В своем эксперименте мы оценили растения вида *M. alba* с разной окраской плодов, для чего исследовали образцы народной селекции. Это особенно важно, поскольку растения *M. nigra* редко встречаются в Дагестане в культуре и диком виде, и обычно их путают с темноплодными формами *M. alba*. В качестве модельного объекта для изучения *M. nigra* нами был выбран стародавний иранский сорт черной шелковицы Hartut, изначальный ареал которого располагался в Дербентском районе Республики Дагестан, где проживают выходцы из Северного Ирана.

Антиоксидантная активность в плодовых выжимках у изученных образцов была высокой и колебалась в пределах 257,07-400,73 мг/г, причем особенно выделялась белоплодная форма *M. alba* (табл. 1). Отметим, что в работе исследователей из Пакистана общая антиоксидантная активность *M. nigra* составляла 1,19-1,25 ммоль тролокса/г, *M. alba* — 0,75-0,78 ммоль тролокса/г (25). По содержанию антиоксидантов в листьях и корнях выде-

лялась черноплодная форма *M. alba* — соответственно 44,56 мг/г и 71,79 мг/г, что было статистически значимо ($p \leq 0{,}01$) выше, чем в других образцах. Количество антиоксидантов в коре преобладало у *M. nigra* — 36,33 мг/г. Согласно данным литературы, все части растений *Morus* используют в медицине и экстракты, полученные на их основе, обладают антиоксидантными, противовоспалительными антибактериальными и противовирусными свойствами (26, 27).

1. Суммарное содержание антиоксидантов (мг/г) **в плодовых выжимках и частях растений рода *Morus*** ($N = 3$, M±SEM; пос. Ленинкент, Республика Дагестан, 2020 год)

Объект	Плодовые выжимки	Часть растения		
		листья	кора	корни
Morus alba (белоплодная)	400,73±0,051	21,29±0,053	15,00±0,002	59,15±0,060
Morus alba (черноплодная)	266,00±0,135	44,56±0,012	16,00±0,052	71,79±0,014
Morus alba (розовоплодная)	257,07±0,076	5,04±0,003	19,18±0,024	17,51±0,005
Morus nigra (сорт Hartut)	363,77±0,014	6,71±0,041	36,33±0,033	30,18±0,062

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали высокую достоверность различий между образцами по суммарному содержанию антиоксидантов (табл. 2).

2. Результаты однофакторного дисперсионного анализа суммарного содержания антиоксидантов в плодовых выжимках и частях растений рода *Morus* ($N = 3$; пос. Ленинкент, Республика Дагестан, 2020 год)

Часть растения	SS	df_A	mS_A	SS_E	df_E	MS_E	F	p
Выжимки	46104,26	3	15368,09	1,346067	8	0,168258	91336	0,000000
Листья	557,05	3	185,68	0,020362	8	0,002545	72952	0,000000
Кора	896,07	3	298,69	0,000874	8	0,000109	2733050	0,000000
Корни	5680,34	3	1893,45	0,491826	8	0,061478	30799	0,000000

Примечание. SS — сумма квадратов эффекта, df_A — степень свободы эффекта, mS_A — средний квадрат эффекта, SS_E — сумма квадратов ошибки, df_E — степень свободы ошибки, MS_E — среднеквадратичная ошибка, F — критерий Фишера, p — уровень значимости подтверждения нулевой гипотезы об отсутствии различий между средними.

Следует отметить, что по сравнению пряно-ароматическими и эфиромасличными растениями (28) в образцах *Morus* накопление антиоксидантов было выше. Так, маршрутное обследование дикорастущих популяций тмина (*Carum carvi*) выявило, что в его семенах содержится от 0,76 до 1,47 мг/г антиоксидантов. В другом эколого-географическом эксперименте суммарное количество антиоксидантов в семенах кориандра в зависимости от сорта составило 1,2-3,7 мг/г, в семенах укропа — 6,5-12 мг (28, 29). Кроме того, суммарное содержание антиоксидантов в изученных нами образцах превышало аналогичный показатель в пищевых продуктах, соках, сортах чая и кофе (30).

3. Накопление водорастворимых витаминов в плодовых выжимках у растений рода *Morus* ($N = 3$, M±SEM; пос. Ленинкент, Республика Дагестан, 2020 год)

Объект	Содержание витаминов, мг%						
	B_1	B_2	B_6	C	B_3	PP	B_9
Morus alba (белоплодная)	0,04±0,000	0,02±0,000	0,03±0,000	31,4±0,00	0,5±0,00	0,8±0,00	5,2±0,01
Morus alba (черноплодная)	0,03±0,001	0,04±0,000	0,07±0,002	27,8±0,00	0,4±0,00	0,7±0,00	4,7±0,01
Morus alba (розовоплодная)	0,02±0,000	0,04±0,000	0,06±0,001	25,6±0,00	0,3±0,00	0,8±0,00	4,4±0,00
Morus nigra (сорт Hartut)	0,04±0,002	0,03±0,000	0,05±0,001	29,0±0,00	0,1±0,00	0,7±0,00	6,0±0,00

Все образцы *Morus* характеризовались высоким содержанием витаминов С (аскорбиновая кислота) и B_9 (фолиевая кислота) (табл. 3). Наибольшее накопление витаминов С и B_9 наблюдалось у белоплодной формы *M. alba* (31,4 и 5,2 мг%) и *M. nigra* (29,0 и 6,0 мг%). Известно, что наличие

в структуре молекулы аскорбиновой кислоты двух фенольных групп позволяет ей участвовать в окислительно-восстановительных процессах, выступая в качестве донора и акцептора водорода. Витамин С снижает количество гидроксильного и пероксидного радикалов, восстанавливая активную форму витамина Е и глутатиона (31).

Полученные нами у растений рода *Morus* показатели суммарного содержания антиоксидантов в плодовых выжимках невозможно объяснить только высоким количеством аскорбиновой кислоты. Необходимы дополнительные исследования по накоплению этой культурой сильных антиоксидантов, способных генерировать мощный сигнал при амперометрическом методе анализа. На наш взгляд, к ним могут относиться углеводород стильбен и его производные. Химические соединения на основе фолиевой кислоты (фолаты, витамин B_9) принимают участие в реакциях метилирования белков, гормонов, липидов, нейромедиаторов, ферментов и других незаменимых компонентов обмена веществ, синтезе нуклеотидов и репликации ДНК, делении и нормальном росте всех клеток в организме (32-35).

4. Минеральный состав плодовых выжимок у растений рода *Morus* (N = 3, M±SEM; пос. Ленинкент, Республика Дагестан, 2020 год)

Элемент	Содержание в пробах, мг%			
	Morus alba (белоплодная)	*Morus alba* (черноплодная)	*Morus alba* (розовоплодная)	*Morus nigra* (сорт Hartut)
	Макроэлементы			
Натрий	15,2±0,03	16,5±0,07	12,8±0,06	14,0±0,06
Калий	286,3±0,14	342,6±0,49	328,6±0,34	309,8±0,20
Кальций	42,2±0,20	45,1±0,17	50,6±0,06	28,7±0,08
Магний	48,3±0,05	45,9±0,29	42,4±0,17	54,6±0,25
	Микроэлементы			
Железо	2,5±0,02	2,6±0,00	3,1±0,00	2,4±0,03
Медь	0,02±0,000	0,05±0,001	0,01±0,000	0,03±0,001
Цинк	0,31±0,001	0,28±0,002	0,35±0,041	0,38±0,004
Хром	0,003±0,0000	0,003±0,0000	0,005±0,0000	0,004±0,0000
Марганец	0,012±0,0001	0,024±0,0000	0,010±0,0000	0,03±0,001
Алюминий	0,32±0,002	0,41±0,003	0,35±0,002	0,44±0,005
Никель	0,01±0,000	0,02±0,000	0,01±0,000	0,02±0,001
Йодиды	0,001±0,0000	0,002±0,0000	0,001±0,0000	0,002±0,0000
	Ультрамикроэлементы			
Свинец	0,002±0,0000	0,002±0,0000	0,004±0,0000	0,003±0,0000

Качественный и количественный анализ сырья *Morus* выявил 10 химических элементов (табл. 4), из них ведущее значение имели пять — Na, K, Ca, Mg, Fe. Сравнительный анализ показал, что содержание химических элементов в образцах *Morus* варьировало в различных пределах. Калий, регулирующий состояние цитоплазмы клеток растений и ускоряющий процессы фотосинтетического фосфорилирования, в большем количестве был выявлен в черноплодной форме в *M. alba* — 342,6 мг%. Высокая концентрация Ca, входящего в состав клеточной стенки растений, была обнаружена в образце *M. alba* (розовоплодная форма) — 50,6 мг%. По накоплению Mg — кофактора многих ферментов выделился *M. nigra* — 54,6 мг%. Количество Na, регулирующего транспорт углеводов в растении, было выше у *M. alba* (черноплодная форма) — 16,5 мг%. Содержание Fe, участвующего в создании хлорофилла и процессе дыхания растений, оказалось наибольшим у *M. alba* (розовоплодная форма) — 3,1 мг%. Достаточное количество необходимых минералов в культуре *Morus* может рассматриваться как биодоступный комплекс, который играет физиологическую роль в работе многих систем организма (36, 37).

В культуре *Morus* из органических кислот (табл. 5) мы выявили только присутствие яблочной и лимонной. Во всех образцах содержание лимонной кислоты оказалось в 1,5-2 раза выше, чем яблочной, за исклю-

чением розовоплодной формы *M. alba*. Количество свободных органических кислот в образцах *Morus* в несколько раз превышало требования, установленные Государственной фармакопеей Российской Федерации (не менее 2,6 %), что имеет немаловажное значение для пищевой биотехнологии, поскольку эти кислоты обеспечивают оптимальные условия для полноценного процесса пищеварения и обладают способностью подавлять развитие микроорганизмов за счет концентрации водородных ионов.

5. Содержание органических кислот и сахаров в плодовых выжимках у растений рода *Morus* (N = 3, M±SEM; пос. Ленинкент, Республика Дагестан, 2020 год)

Объект	Органические кислоты, мг%		Сахара, %		
	яблочная	лимонная	фруктоза	глюкоза	сахароза
Morus alba (белоплодная)	10,30±0,110	54,40±0,060	4,36±0,004	7,68±0,000	0,68±0,004
Morus alba (черноплодная)	20,40±0,052	57,90±0,050	7,66±0,010	10,40±0,005	0,71±0,006
Morus alba (розовоплодная)	24,76±0,083	14,40±0,030	4,80±0,001	8,21±0,003	0,70±0,001
Morus nigra (сорт Hartut)	12,16±0,031	21,90±0,030	4,91±0,000	8,07±0,002	0,75±0,003

Согласно данным по накоплению в плодовых выжимках моно- и дисахаридов (фруктозы, глюкозы, сахарозы), во всех образцах количественно преобладала глюкоза, особенно у черноплодной формы *M. alba* — 10,40 % (см. табл. 5). Известно, что в плодах *M. nigra* содержится 82,9-86,2 % воды и 10,9-12,7 % сахаров. В сушеных плодах доля углеводов составляет около 73,3-83,7 % (38). В нашем случае наличие необходимого количества моно- и дисахаридов дополнительно придает культуре привлекательность.

Итоги однофакторного дисперсионного анализа показали (табл. 6), что различия между исследованными образцами по содержанию водорастворимых витаминов, органических кислот и сахаров были высокодостоверны.

6. Результаты однофакторного дисперсионный анализа содержания водорастворимых витаминов, органических кислот и сахаров в плодовых выжимках у растений рода *Morus* (N = 3; пос. Ленинкент, Республика Дагестан, 2020 год)

Наименование		F	p
Витамины	B_1	315	0,000000
	B_2	297	0,000000
	B_6	948	0,000000
	C	150492	0,000000
	B_3	2576	0,000000
	PP	500	0,000000
	B_9	4831	0,000000
Органические кислоты	Яблочная кислота	7309,50	0,000000
	Лимонная кислота	197474,10	0,000000
Сахара	Фруктоза	18954,63	0,000000
	Глюкоза	41603,08	0,000000
	Сахароза	40,17	0,000036
	Сумма сахаров	52633,17	0,000000

Примечание. F — критерий Фишера, p — уровень значимости подтверждения нулевой гипотезы об отсутствии различий между средними.

Отметим, что культура шелковицы как неутилизирумый плодовый ресурс требует дополнительных исследований по разработке технологии сбора и переработки в полевых условиях. Необходим поиск генетических ресурсов обоих видов и создание коллекции местного сортимента культиваров для разработки селекционной программы по созданию крупноплодных сортов. Также требуется инвентаризация местных способов переработки плодовой продукции шелковицы (сушка, производство безводных сиропов, соков и слабоалкогольных напитков и т.д.) для выработка технических условий и ГОСТов.

Таким образом, нами установлен высокий антиоксидантный статус плодово-ягодного сырья культуры *Morus* L., в частности белоплодной формы *M. alba* (400,73 мг/г) и *M. nigra* сорта Hartut (363,77 мг/г), произрастающих на территории Республики Дагестан. Также показана высокая антиоксидантная активность листьев и корней у черноплодной формы *M. alba* и коры у *M. nigra*. Выявлена ценность плодовых выжимок у *M. alba* и *M. nigra* сорта Hartut за счет накопления биологически активных соединений (витамины, органические кислоты), а также богатого минерального состава. Результаты проведенных исследований позволяют назвать *Morus* L. ценной плодово-лекарственной культурой, представляющей интерес для фитохимии и пищевой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nemzer B.V., Yashin Ya.I., Yashin A.Ya. The issues of antioxidant therapy. *American Journal of Biomedical Sciences*, 2013, 5(2): 80-108 (doi: 10.5099/AJ130200080).
2. Iannitti T., Palmieri B. Antioxidant therapy effectiveness: an up to date. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.*, 2009, 13(4): 245-278.
3. Ramos-Márquez M.E., Siller-López F. Current antioxidant molecular therapies for oxidative stress-related ailments. *Current Gene Therapy*, 2008, 8(4): 256-263 (doi: 10.2174/156652308785160665).
4. Firuzi O., Miri R., Tavakkoli M., Saso L. Antioxidant therapy: current status and future prospects. *Current Medicinal Chemistry*, 2011, 18(25): 3871-3888 (doi: 10.2174/092986711803414368).
5. Прида А.И., Иванова Р.И. Природные антиоксиданты полифенольной природы (антирадикальные свойства и перспективы использования). *Пищевые ингридиенты. Сырье и добавки*, 2004, 2: 76-78.
6. Liu F., Ng T.B. Antioxidative and free radical scavenging activities of selected medicinal herbs. *Life Sciences*, 2000, 66(8): 725-735 (doi: 10.1016/S0024-3205(99)00643-8).
7. Лубсандоржиева П.Б., Ажунова Т.А. Антиоксидантная активность растительного средства. *Фармация*, 2015, 6: 43-45.
8. Richter D.U., Mylonas I., Toth B., Scholz C., Briese V., Friese K., Jeschke U. Effects of phytoestrogens genistein and daidzein on progesterone and estrogen (estradiol) production of human term trophoblast cells in vitro. *Gynecological Endocrinology*, 2009, 25(1): 32-38 (doi: 10.1080/09513590802485020).
9. Brooks J. Policy coherence and food security: the effects of OECD countries' agricultural policies. *Food Policy*, 2014, 44: 88-94 (doi: 10.1016/j.foodpol.2013.10.006).
10. Paredes-López O., Cervantes-Ceja M.L., Vigna-Pérez M., Hernández-Pérez T. Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality life — a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2010, 65(3): 299-308 (doi: 10.1007/s11130-010-0177-1).
11. Jimenez-Garcia S.N., Guevara-Gonzalez R.G., Miranda-Lopez R., Feregrino-Perez A.A., Torres-Pacheco I., Vazquez-Cruz M.A. Functional properties and quality characteristics of bioactive compounds in berries: biochemistry, biotechnology, and genomics. *Food Research International*, 2013, 54(1): 1195-1207 (doi: 10.1016/j.foodres.2012.11.004).
12. Eberhardt M.V., Lee C.Y., Liu R.H. Antioxidant and anticancer activities of fresh apples. *Nature*, 2000, 405(6789): 903-904 (doi: 10.1038/35016151).
13. Oszmiacski J., Wojdyio A. Effects of blackcurrant and apple mash blending on the phenolics contents, antioxidant capacity, and color of juices. *Czech Journal of Food Sciences*, 2009, 27(5): 338-351.
14. Wang X., Kang J., Wang H.-Q., Liu C., Li B.-M., Chen R.-Y. Three new alkaloids from the fruits of *Morus alba*. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2014, 16(5), 453-458 (doi: 10.1080/10286020.2014.900047).
15. Kwak E.J., Lee J.Y., Choi I.S. Physicochemical properties and antioxidant activities of Korean traditional alcoholic beverage, yakju, enriched with mulberry. *Journal of Food Science*, 2012, 77(7): 752-758 (doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02753.x).
16. Chung K.-O., Kim B.-Y., Lee M.-H., Kim Y.-R., Chung H.-Y., Park J.-H., Moon J.-O. In-vitro and in-vivo anti-inflammatory effect of oxyresveratrol from *Morus alba* L. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2003, 55(12): 1695-1700 (doi: 10.1211/0022357022313).
17. Naderi G.A., Asgary S., Sarraf-Zadegan N., Oroojy H., Afshin-Nia F. Antioxidant activity of three extracts of *Morus nigra*. *Phytotherapy Research*, 2004, 18(5): 365-369 (doi: 10.1002/ptr.1400).
18. Kollar P., Bárta T., Hošek J., Souček K., Závalová V.M., Artinian S., Talhouk R., Šmejkal K.,

Suchý P. Jr., Hampl A. Prenylated flavonoids from *Morus alba* L. cause inhibition of G1/S transition in THP-1 human leukemia cells and prevent the lipopolysaccharide-induced inflammatory response. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013: 350519 (doi: 10.1155/2013/350519).
19. Lu H.-P., Jia Y.-N., Peng Y.-L., Yu Y., Sun S.-L., Yue M.-T., Pan M.-H., Zeng L.-S., Xu L. Oxyresveratrol, a stilbene compound from *Morus alba* L. twig extract active against *Trichophyton rubrum*. *Phytotherapy Research*, 2017, 31(12): 1842-1848 (doi: 10.1002/ptr.5926).
20. Mascarello A., Orbem Menegatti A.C., Calcaterra A., Martins P.G.A., Chiaradia-Delatorre L.D., D'Acquarica I., Ferrari F., Pau V., Sanna A., De Logu A., Botta M., Botta B., Terenzi H., Mori M. Naturally occurring Diels-Alder-type adducts from *Morus nigra* as potent inhibitors of *Mycobacterium tuberculosis* protein tyrosine phosphatase B. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2018, 20(144): 277-288 (doi: 10.1016/j.ejmech.2017.11.087).
21. Wang W., Zu Y., Fu Y., Efferth T. In vitro antioxidant and antimicrobial activity of extracts from *Morus alba* L. leaves, stems and fruits. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2012, 40(2), 349-356 (doi: 10.1142/S0192415X12500279).
22. Zhou J., Li S.-X., Wang W., Guo X.-Y., Lu X.-Y., Yan X-P., Huang D., Wei B.-Y., Cao L. Variations in the levels of mulberroside A, oxyresveratrol, and resveratrol in mulberries in different seasons and during growth. *Scientific World Journal*, 2013: 380692 (doi: 10.1155/2013/380692).
23. Delmas D., Lancon A., Colin D., Jannin B., Latruffe N. Resveratrol as a chemopreventive agent: a promising molecule for fighting cancer. *Current Drug Targets*, 2006, 7(4): 423-442 (doi: 10.2174/138945006776359331).
24. Яшин А.Я., Яшин Я.И. Прибор для определения антиоксидантной активности растительных лекарственных экстрактов и напитков. *Международная информационная система по резонансным технологиям*, 2004, 34: 10-14.
25. Arfan M., Khan R., Rybarczyk A., Amarowicz R. Antioxidant activity of mulberry fruit extracts. *Int. J. Mol. Sci.*, 2012, 13(2): 2472-2480 (doi: 10.3390/ijms13022472).
26. Sohn H.Y., Son K.H., Kwon C.S., Kwon G.S., Kang S.S. Antimicrobial and cytotoxic activity of 18 prenylated flavonoids isolated from medicinal plants: *Morus alba* L., *Morus mongolica* Schneider, *Broussnetia papyrifera* (L.) Vent, *Sophora flavescens* Ait and *Echinosophora koreensis* Nakai. *Phytomedicine*, 2004, 11(7-8): 666-672 (doi: 10.1016/j.phymed.2003.09.005).
27. Lim H.J., Jin H.-G., Woo E.-R., Lee S.K., Kim H.P. The root barks of *Morus alb*a and the flavonoid constituents inhibit airway inflammation. *Journal of Ethnopharmacology*, 2013, 149(1): 169-175 (doi: 10.1016/j.jep.2013.06.017).
28. Исламова Ф.И., Мусаев А.М., Раджабов Г.К. Структура изменчивости некоторых пряно-ароматических растений по содержанию суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте. *Овощи России*, 2019, 3: 87-90 (doi: 10.18619/2072-9146-2019-3-87-90).
29. Исламова Ф.И., Мусаев А.М., Раджабов Г.К., Вагабова Ф.А., Гусейнова З.А., Мамалиева М.М. Тренды изменчивости содержания суммарных антиоксидантов и эфирного масла в семенах Carum carvi L. вдоль высотного градиента в горном Дагестане. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 2016, 19(12): 19-23.
30. Яшин Я.И., Рыжнев В.Ю., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. *Природные антиоксиданты — надежная защита человека от опасных болезней и старения*. М., 2008.
31. Tulipani S., Romandini S., Busco F., Bompadre S., Mezzetti B., Battino M. Ascorbate, not urate, modulates the plasma antioxidant capacity after strawberry intake. *Food Chemistry*, 2009, 117(1): 181-188 (doi: 10.1016/j.foodchem.2009.03.096).
32. Padilha M.M., Vilela F.C., Rocha C.Q., Dias M.J., Soncini R., dos Santos M.H., Alves-da-Silva G., Giusti-Paiva A. Antiinflammatory properties of *Morus nigra* leaves. *Phytotherapy Research*, 2010, 24(10): 1496-1500 (doi: 10.1002/ptr.3134).
33. Preedy V.R. *B vitamins and folate chemistry, analysis, function and effects*. RSC, London, 2013 (doi: 10.1039/9781849734714-00093).
34. Crider K.S., Yang T.P., Berry R.J., Bailey L.B. Folate and DNA methylation: a review of molecular mechanisms and the evidence for folate's role. *Advances in Nutrition*, 2012, 3(1): 21-38. (doi: 10.3945/an.111.000992).
35. Pietrzik K., Bailey L., Shane B. Folic acid and L-5-methyltetrahydrofolate: comparison of clinical pharmacokinetics and pharmacodynamics. *Clinical Pharmacokinetics*, 2010, 49(8): 535-548 (doi: 10.2165/11532990-000000000-00000).
36. Ercisli S., Orhan E. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*M. nigra*) mulberry fruits. *Food Chem.*, 2007, 103(4): 1380-1384 (doi: 10.1016/j.foodchem.2006.10.054).
37. Okwu D.E. Phytochemicals, vitamins and mineral contents of two Nigerian medicinal plants. *International Journal of Molecular Medicine and Advance Sciences*, 2005, 1(4): 375-381.
38. Асранав Э.К., Салиева М., Алижанов Ж. Лечебные свойства тутовника. *Академическая публицистика*, 2019, 5: 24-28.

Горный ботанический сад — обособленное подразделение ФГБУН Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН,
367000 Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала,
ул. М. Гаджиева, 45,
e-mail: fatimaisl@mail.ru ✉, chemfarm@mail.ru, musaev-58@list.ru

Поступила в редакцию 17 ноября 2021 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2022, V. 57, № 1, pp. 122-130

ANTIOXIDANT ACTIVITY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF *Morus alba* AND *Morus nigra* SPECIES

F.I. Islamova✉, *G.K. Radjabov, A.M. Musaev*

Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Center RAS, 45, ul. Gadgieva, Makhachkala, Republic Dagestan, 367000 Russia, e-mail fatimaisl@mail.ru (✉ corresponding author), chemfarm@mail.ru, musaev-58@list.ru
ORCID:
Islamova F.I. orcid.org/0000-0003-4804-3168
Radjabov G.K. orcid.org/0000-0001-9263-5684
Musaev A.M. orcid.org/0000-0001-6692-8571
The authors declare no conflict of interests
Received November 17, 2021
doi: 10.15389/agrobiology.2022.1.122eng

Abstract

Mulberry (*Morus* L.), a woody plant popular in Russia is of great economic benefits. On the territory of the Dagestan Republic, there are two *Morus* species, the *Morus alba* L. and *Morus nigra* L. The mulberry fruits, from leaf, bark and root extracts have powerful antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial properties and analgesic effects. In this paper, we revealed for the first time a high antioxidant status for two species, *M. alba* and *M. nigra* (cv. Hartut) growing in the Republic of Dagestan. Biochemical analysis revealed variability of the antioxidant level in the mulberry fruit pomace, leaves, bark, and roots. It was revealed that fruit pomace contains the required amount of mono-, disaccharides and bioactive compounds (e.g., water-soluble vitamins, organic acids) and has a rich mineral composition. The aim of the research was to assess the biological activity and biochemical composition of the fruit pomace, leaves, bark, and roots of mulberry plants grown in Dagestan. Plant material was sampled in the second decade of June 2020 (OOO Nizam, the suburbs of the city of Makhachkala, settlement Leninkent, Republic of Dagestan). The total content of antioxidants was measured amperometrically (a Tsvet Yauza 01-AA device, OAO NPO Khimavtomatika, Russia). The concentrations of water-soluble vitamins, organic acids and sugars were measured by capillary electrophoresis (a Kapel-105M system, OOO Lumex-marketing, Russia). Micro- and macro elements were quantified by atomic absorption spectrometry using ordinary acetylene-air flame atomization (a SavantAAΣ atomic absorption spectrometer, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Australia). The research results showed a high antioxidant status of fruit pomace, especially for white-fruited *M. alba* (400.73 mg/g) and *M. nigra* cv. Hartu (363.77 mg/g). A high level of antioxidants also occurred in leaves, bark, and roots. The antioxidant concentration in the leaves and roots of black-fruited form of *M. alba* was the highest, 44.56 mg/g and 71.79 mg/g, respectively. M. *nigra* plants have the highest amount of antioxidants in the bark, 36.33 mg/g. The quantitative determination revealed a higher content of vitamins C (ascorbic acid) and B_9 (folic acid) in mulberry fruit pomace, and the white-fruited form of *M. alba* (31.4 and 5.2 mg%) and *M. nigra* cv. Hartut (29.0 and 6.0 mg%) were most prominent. Qualitative and quantitative analysis revealed 10 chemical elements in plants, of which five (Na, K, Ca, Mg, Fe) were of leading importance. Potassium in a larger amount (342.6 mg%) occurred in *M. alba* (black-fruited form), a high concentration of Ca (50.6 mg%) was characteristic of *M. alba* (pink-fruited form). *M. nigra* stood out by the accumulation of Mg (54.6 mg%). *M. alba* (black-fruited) contained the largest amount of Na (16.5 mg%). *M. alba* (pink-fruited) was distinguished by the content of Fe (3.1 mg%). As to organic asides of *M. alba* and *M. nigra*, in the samples, we revealed only malic and citric acids. In all samples, the content of citric acid was 1.5-2 times higher than that of malic acid, except for the pink-fruited *M. alba*. Of mono- and disaccharides (fructose, glucose, sucrose), glucose dominated quantitatively in all samples, especially in black-fruited *M. alba* (10.40 %). Our findings indicate the high biological value of the *M. alba* and *M. nigra* species and their high potential for the development of therapeutic and prophylactic food products, bioactive additives, etc. Therefore, more phytochemical studies are necessary to search and reproduce the most valuable forms for practical use and improvement.

Keywords: antioxidants, *Morus alba*, *Morus nigra*, cv. Hartut, macro elemns, microelevents, vitamins, organic acids, sugars.