

СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ, ФИТОСТЕРИНОВ И СУММАРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ СЕМЯН *MORUS L.*

© 2024 г. Ф. И. Исламова*, Г. К. Раджабов*, @, С. В. Горяинов**, Ф. Хажжар**, А. М. Алиев*

*Горный ботанический сад, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН,
ул. М. Ярагского, 75, г. Махачкала, Республика Дагестан, 367000 Россия

**ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов”, ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198 Россия

@E-mail: chemfarm@mail.ru

Поступила в редакцию 17.10.2022 г.

После доработки 28.07.2023 г.

Принята к публикации 11.08.2023 г.

В настоящей работе впервые представлены результаты изучения суммарного содержания антиоксидантов в семенах *Morus L.* А также изучили состав жирных и стериновых кислот семян плодов шелковицы *Morus L.*: полиморфного вида *Morus alba* (белоплодная, розовоплодная, черноплодная) и *Morus nigra* (сорт Хартут). В результате исследований идентифицировано 12 жирных кислот, основными из которых были линолевая, пальмитиновая олеиновая и стеариновая кислоты. Преобладающей жирной кислотой во всех образцах являлась линолевая, пределы которой варьировали 67.5–79.0%. Стеринов было обнаружено 15, при этом на долю β-Ситостерина приходится около 90%. Определение суммарного содержания антиоксидантов семян *M. alba* (белоплодная, розовоплодная, черноплодная формы) и *M. nigra* (сорт Хартут) выявило накопление антиоксидантов во всех образцах. Наибольшее суммарное содержание антиоксидантов наблюдалось у *M. nigra* (4.40 мг/г) и белоплодной формы *M. alba* (5.56 мг/г)

Ключевые слова: шелковица, *Morus alba*, *Morus nigra* (сорт Хартут), антиоксиданты, жирные кислоты, фитостерины, линолевая кислота

DOI: 10.31857/S1026347024010144, **EDN:** LKJETP

В последние годы во многих странах мира ведется поиск дешевых и эффективных биологически активных веществ, источниками которых чаще всего становятся растительные объекты. Существует факт положительной связи между потреблением растительной пищи и снижением смертности от болезней (Cox *et al.*, 2000; Prior, Cao, 2000; Wargovich, 2000; Huang *et al.*, 2005; Prior *et al.*, 2005; Del Rio *et al.*, 2010; Rahal *et al.*, 2012; Upadhayay *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2021) из-за наличия в них биологически активных веществ и антиоксидантов (Skrovankova *et al.*, 2015). Антиоксиданты растительных объектов обладают способностью блокировать оксидантный стресс. Они защищают клеточные мембраны, ДНК от разрушения, предотвращают начало хронических заболеваний (Garcia-Closas *et al.*, 1999; Dillard, German, 2000; Gurib-Fakim, 2006;).

Одним из привлекательных растительных объектов является плодово-ягодная культура шелковица *Morus L.* Шелковица — древесное растение, обладающее биологическим и химическим потенциалом, имеет также огромную экономическую ценность и важное хозяйственное значение. К роду

Morus относятся 16 видов, более часто встречаются *Morus alba*, *Morus nigra*, *Morus rubra*. Стоит отметить, что вид *M. alba* обладает свойством полиморфизма (Bajrai *et al.*, 2015).

Литературные данные показывают, что *Morus* обладает антиоксидантной, нейропротекторной, антиатеросклерозной, иммуномодулирующей, противоопухолевой активностью (Guil-Guerrero, 2007; Kim, Chung, 2018; Zhang *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2019).

Активно исследуются все части растения (плоды, листья, кора, корни, древесина), однако литературные данные отсутствуют по антиоксидантным свойствам семян шелковицы. Семена шелковицы являются ценным вторичным сырьем, содержащим полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) (Yang *et al.*, 2011; Van Hoed *et al.*, 2011). Масла семян благодаря своему составу являются биологически ценными растительными жирами (Van Hoed *et al.*, 2009; Pieszka *et al.*, 2015). Они также содержат необходимые для организма фитостерины, способные снизить уровень холестерина в крови и предотвратить сердечно-сосудистые заболевания, что

придает сырью диетическую, и терапевтическую ценность (Wang *et al.*, 2002; Vivancos, Moreno, 2005).

Таким образом, литературные данные демонстрируют высокую степень изученности биологических свойств шелковицы. Однако практически отсутствует материал по изучению суммарного содержания антиоксидантов в семенах в зависимости от вида и формы *Morus*, что может иметь как фундаментальную биологическую, так и прикладную значимость.

Целью данной работы является изучение накопления жирных кислот, стероидов, а также определение суммарного содержания антиоксидантов семян плодов *M. alba* и *M. nigra*, произрастающих в идентичных экологических условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили семена плодов и экстрагированные масла из семян полиморфного вида шелковицы *M. alba* (белоплодная, черноплодная, розовоплодная формы) и *M. nigra* (сорт Хартут), произрастающих в Республике Дагестан.

Сбор образцов проводили в период массового созревания плодов во второй 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.

Метод получения масла

Извлечение масла из семян исследуемых образцов проводили методом экстракции в аппарате Сокслета, используя в качестве растворителя гексан. Содержание масла определяли в массовых процентах (масс. %) от исходной массы семян.

Метод определения суммарного содержания антиоксидантов (ССА)

Определение суммарного содержания антиоксидантов в водно-спиртовых вытяжках (70%) из семян плодов *M. alba* и *M. nigra*, проводили амперометрическим методом на приборе «Цвет Яуза 01-АА», основанном на измерении электрического тока в электрохимической ячейке, возникающего при подаче на электрод определенного потенциала. При построении градуировочного графика, с целью исключения случайных результатов были приготовлены растворы галловой кислоты (фирма Sigma-Aldrich, чистота > 98.5%) с массовой концентрацией 0.2; 0.4; 2.0; 4.0 мг/л и проводились 3 последовательных измерения. В качестве элюента, использовали ортофосфорную кислоту (производитель “Компонент-реактив”, РФ) с молярной

долей 0.0022 моль/дм³. С помощью градуировки сравнивали сигналы исследуемого экстракта с сигналами образца сравнения — галловой кислоты. Значения СКО (относительное среднее квадратичное отклонение) по методике должны составить не более 5%. В нашем случае они не превышали 1%. Анализ проводили трижды, за результат принимали средние значения. Полученные данные обрабатывали статистически с использованием пакета электронных таблиц Microsoft Excel и лицензионного пакета программ Statistika 5.5. Суммарное содержание антиоксидантов в исследуемых образцах семян *Morus* выражали в мг/г (т.е. мг-ССА/г-семян) (Яшин, Яшин, 2004).

Метод исследования жирнокислотного состава

Исследование жирнокислотного состава масел семян *Morus* проводили методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием (ГХ-ПИД). Режим работы хроматографа Agilent 7890A: капиллярная колонка VF-23MS (длина 30 м, внутренний диаметр 0.32 мм, толщина фазы 0.25 мкм), газ-носитель — гелий, скорость газа-носителя — 1.5 мл/мин, температура инжектора — 280°C, начальная температура печи хроматографа — 50°C, затем изотерма в течение 2 мин, после чего нагрев со скоростью 10°C/мин до 180°C, выдержка 5 мин, затем до 240°C со скоростью 5°C/мин. Общее время анализа — 32 мин. Пробу инжестировали в режиме деления потока (1:10). Идентификацию жирных кислот проводили путем сравнения времен удерживания пиков на хроматограммах испытуемых образцов с временами удерживания пиков на хроматограмме стандартного образца смеси 37 метиловых эфиров жирных кислот (Supelco® 37 component FAME mix). Каждый образец анализировали трижды, за результат принимали средние значения.

Пробоподготовка: метиловые эфиры жирных кислот получали переэтерификацией глицеридов. Навеску образца массой около 10.0 мг помещали в 7.0-мл стеклянную вials с закручивающейся крышкой, затем добавляли 1.0 мл метанола и 100.0 мкл ацетилхлорида. Вials закрывали и помещали в лабораторный нагреватель на 60 мин при 80°C. После охлаждения реакционной смеси в вials добавляли 3.0 мл бидистиллированной воды, а затем 1.0 мл н-гексана и интенсивно встряхивали. 1.0 мкл верхнего слоя н-гексана инжестировали в газовый хроматограф.

Метод исследования неомыляемой фракции

Исследование состава неомыляемой фракции масел семян проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Режим работы хроматографа Agilent 6890N: капиллярная колонка

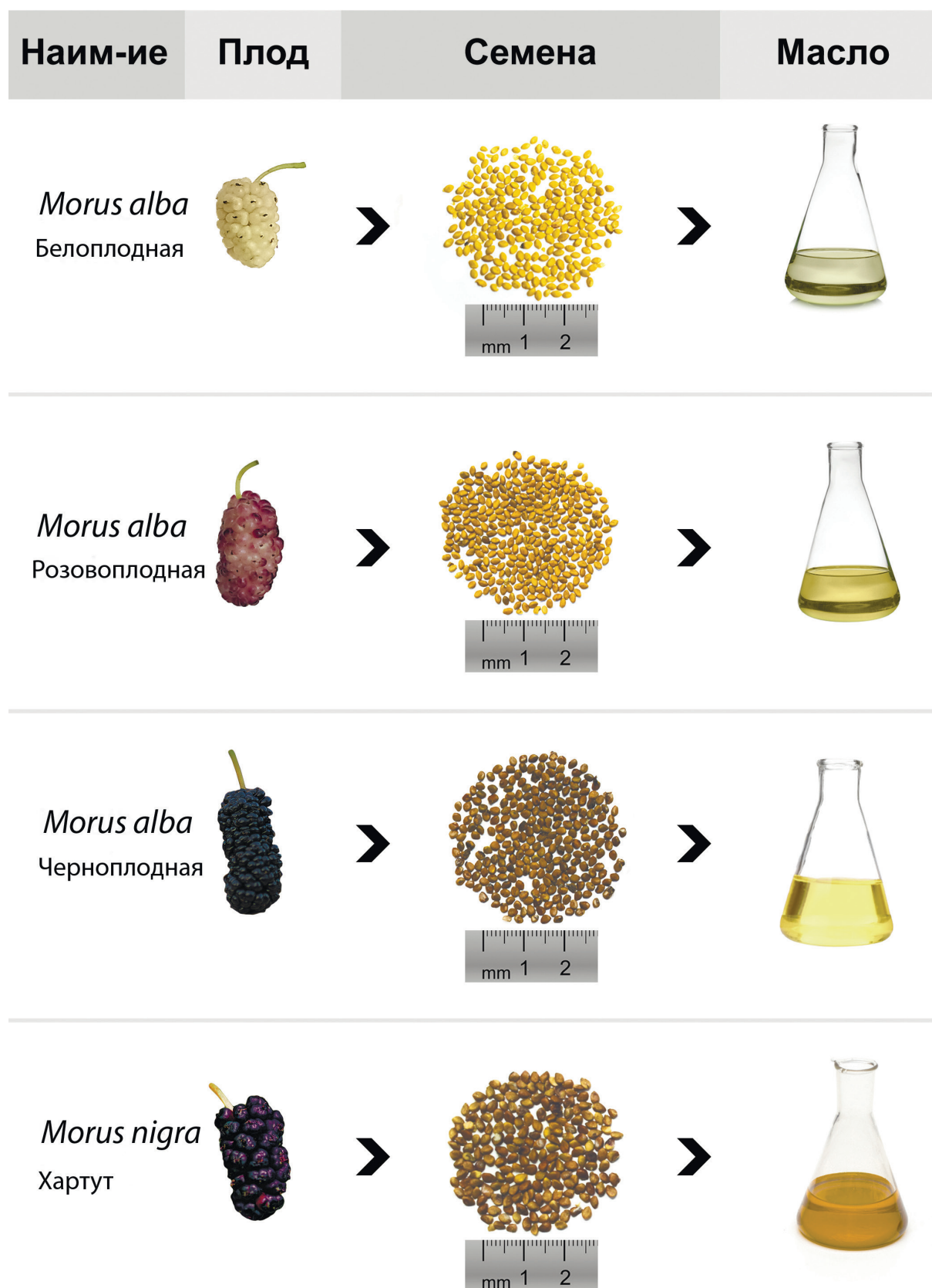


Рис. 1. Этапы извлечения масла.

VF-5MS (длина 30 м, внутренний диаметр 0.25 мм, толщина фазы 0.25 мкм), газ-носитель — гелий, скорость газа-носителя — 1.5 мл/мин, температура инжектора — 280°C, начальная температура печи хроматографа — 60°C, затем изотерма в течение 3 мин, после чего нагрев со скоростью 10°C/мин до 290°C, выдержка при 290°C в течение 20 мин. Общее время анализа — 46 мин. Пробу инжектировали в режиме деления потока (1:10). Режим регистрации масс-спектров на магнитно-секторном масс-спектрометре JMS GCmate II (JEOL, Япония): энергия ионизации — 70 эВ, температура источника — 270°C, сканирование в диапазоне 40–600 Да со скоростью 2 скан/с.

Для идентификации использовали стандартные образцы индивидуальных соединений и масс-спектральную базу данных NIST'14; в случае отсутствия в ней масс-спектров обнаруженных компонентов установление структуры проводилось на основе характеристических процессов фрагментации и данных о хроматографических свойствах изучаемых соединений. Для расчета индексов удерживания проводили анализ смеси нормальных углеводородов (C6–C35) в выбранных хроматографических условиях. При определении количественного содержания стеринов и тритерпеновых спиртов в пересчете на внутренний стандарт (холестанол) их коэффициенты ионизации приравнивались.

Пробоподготовка: для выделения неомыляемой фракции 100.0 мг образца помещали в стеклянную вials объемом 7.0 мл, добавляли 1.0 мл 2N метанольного раствора КОН и 10.0 мкл раствора внутреннего стандарта (холестанол, 10.0 мг/мл). Затем образцы выдерживали при температуре 80°C в течение часа и после охлаждения реакционной массы добавляли 3 мл воды бидистиллированной. Неомыляемую фракцию экстрагировали тремя порциями по 1.0 мл диэтилового эфира, экстракты объединяли, пропускали через патрон с натрия сульфатом прокаленным, отдували досуха растворитель

Таблица 1. Суммарное содержание антиоксидантов и масла в образцах семян полиморфного вида *Morus alba* и *Morus nigra* (сорт Хартут)

Объект <i>Morus</i>		ССА, мг/г	Содержание масла, %
<i>Morus alba</i>	Белоплодная форма	5.56 ± 0.01	31.3 ± 0.5
	Черноплодная форма	3.03 ± 0.01	22.3 ± 0.4
	Розовоплодная форма	2.59 ± 0.00	27.4 ± 0.5
<i>Morus nigra</i> (сорт Хартут)		4.40 ± 0.01	15.6 ± 0.2

под током азота и силилировали перед проведением анализа. Для этого к сухому остатку добавляли 300.0 мкл смеси BSTFA: ацетонитрил (1:2) и выдерживали в течение 30 минут при 80°C, затем 1.0 мкл раствора инжектировали в прибор ГХ–МС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экстракции показали, что исследуемые образцы содержат масло в пределах 15.61–31.27 mass%. (табл. 1), при этом белоплодный образец *M. alba* более чем в 2 раза превосходил по данному показателю *M. nigra* (сорт Хартут). Полученные данные сопоставимы с работами других авторов (Gecgel et al., 2011; Rahman et al., 2014).

Изучение суммарного содержания антиоксидантов семян *M. alba* и *M. nigra* выявило накопление антиоксидантов во всех образцах (табл. 1). Особо отличились *M. alba* (белоплодная форма) — 5.56 мг/г и *M. Nigra* — 4.40 мг/г. Полученные данные демонстрируют изменчивость содержания антиоксидантов в зависимости от вида и жизненной формы объекта. Следует отметить, что по сравнению с семенами пряно-ароматических и эфиромасличных растений (Исламова и др., 2019) суммарное содержание антиоксидантов у семян *Morus* выше.

Учитывая идентичные экологические условия роста растений, можно предположить, что разное накопление масел и отличающиеся суммарные содержания антиоксидантов семян видов и разных форм *Morus* являются генетически закрепленной особенностью.

Жирно-кислотный состав семян полиморфного вида *M. alba* и *M. nigra* (сорт Хартут)

В результате изучения состава жирных кислот *M. alba*, и *M. nigra* идентифицировано 12 жирных кислот (табл. 2). В исследуемых образцах наибольшее количество приходилось на линолевую (C18:2), пальмитиновую (C16:0), олеиновую (C18:1) и стеариновую (C18:0) кислоты, которые вместе составляют приблизительно 90% от общего количества идентифицированных.

Линолевая — полиненасыщенная незаменимая жирная кислота, содержание в образцах варьировало в пределах 67.45–79.00%. Она физиологически необходима организму человека, способна предотвратить ишемический инсульт, ожирение, атеросклероз, хронические воспалительные и онкологические заболевания и ряд других острых заболеваний (Iso et al., 2002; Evstatieva et al., 2010). Обладает огромным биологическим потенциалом и антиоксидантным действием.

Пальмитиновая кислота (C16:0) (9.70–12.18%) — важный компонент мембранных, секреторных

Таблица 2. Профили жирных кислот масла семян полиморфного вида *Morus alba* и *Morus nigra* (сорт Хартут), %

Жирная кислота	Формы <i>Morus alba</i>			<i>Morus nigra</i> (сорт Хартут)
	Белоплодная	Черноплодная	Розовоплодная	
Содержание, %				
Насыщенные жирные кислоты				
C12:0 Лауриновая	2.91 ± 0.02	1.73 ± 0.10	1.07 ± 0.12	2.41 ± 0.17
C14:0 Миристиновая	0.17 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.15 ± 0.03
C16:0 Пальмитиновая	9.67 ± 0.15	8.61 ± 0.11	8.14 ± 0.29	12.18 ± 0.18
C18:0 Стеариновая	4.13 ±0.04	3.44 ± 0.12	3.89 ± 0.10	4.65 ± 0.30
C20:0 Арахиновая	2.00 ± 0.03	0.46 ± 0.06	0.53 ± 0.06	1.13 ± 0.15
C22:0 Бегеновая	0.11 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.13 ± 0.02
C24:0 Лигноцериновая	0.05 ±0.01	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.01
Мононенасыщенные жирные кислоты				
C16:1 Пальмитолеиновая	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.38 ± 0.07
C18:1 Олеиновая	10.29 ± 0.24	5.63 ± 0.42	7.48 ± 0.37	9.17 ± 0.29
C18:1 Вакценовая	1.68 ± 0.06	0.75 ± 0.11	0.08 ± 0.01	0.91 ± 0.12
C20:1 Гондоиновая	1.42 ± 0.22	0.14 ± 0.04	0.13 ± 0.01	0.27 ± 0.07
Полиненасыщенные жирные кислоты				
C18:2 Линолевая	67.45 ± 0.72	79.32 ± 0.74	78.46 ± 0.90	68.54 ± 0.41

и транспортных липидов (Carta *et al.*, 2015). Олеиновая кислота (C18:1) (9.17–10.29%) устойчива к окислительному стрессу, играет активную роль во многих процессах организма (Carrillo *et al.*, 2012). Стеариновая кислота (C18:0) (4.13–4.65%) обладает протромботическим действием, стабилизирует уровень холестерина липопротеинов низкой плотности (Kelly *et al.*, 2001). В своих работах авторы (Guil-Guerrero, 2001; Sanchez-Salcedo *et al.*, 2016) сообщают, что жирные кислоты — линолевая, пальмитиновая, олеиновая и стеариновая — являлись основными в масле семян двух видов *M. alba* и *M. nigra*, как и в нашем исследовании. В суммарном содержании от общего количества необходимых жирных кислот образец масла *M. alba* (белоплодная) составил около 75%. Но стоит отметить, что в количественном отношении наблюдались внутривидовые отличия у *M. alba* между генотипами (белоплодная, розовоплодная, черноплодная). Также наблюдались и видовые отличия между *M. alba* и *M. nigra* в суммарном содержании в пользу *M. alba*.

Состав фитостерина масла семян полиморфного вида *M. alba* и *M. nigra* (сорт Хартут)

В результате изучения фитостеринового состава неомыляемой части липидов семян *M. alba* и *M. nigra* обнаружено 15 различных фитостерин (табл. 3). В исследуемых образцах масла компоненты

β-Ситостерина, (3β)-Lup-20(29)-ene-3,28-diol, кампестерина, стигмастерина, циклоартенола, ситостанола (в образце масла *M. nigra* отсутствует), 24-метиленциклоартанола, цитростадиенола, Δ7-Авенастерина, холестерина в сумме составляли около 95% от общего количества идентифицированных веществ. β-Ситостерин во всех образцах масла является преобладающим, что придает особую значимость маслу. Исследователи констатируют, что β-Ситостерин способен снижать уровень холестерина, обладает антиоксидантными свойствами, а также противораковым, антиатеросклерозным, противовоспалительным действием (Weng, Wang, 2000). Свойствам β-Ситостерина нейтрализовать свободные радикалы уделяется большое внимание в медицинских исследованиях, направленных на поиск методов профилактики различных болезней. Стоит отметить, что во всех образцах масла обнаружен холестерин. Известно, что холестерин рассматривается как нежелательный стерин для организма, особенно людям, страдающим сердечно-сосудистыми заболеваниями. Но его содержание в небольших количествах необходимо, так как является важным соединением в биосинтезе растительных стероидов и при метаболизме он производит сапонины (органические соединения растительного происхождения). Сапонины в свою очередь оказывают существенное влияние в устойчивости растений к болезням (Brown, Galea, 2010; Li *et al.*, 2022).

Таблица 3. Стериновый состав масла семян полиморфного вида *Morus alba* и *Morus nigra* (сорт Хартут)

Фитостерины	Формы <i>Morus alba</i>			<i>Morus nigra</i> (сорт Хартут)
	Белоплодная	Черноплодная	Розовоплодная	
	Содержание, мг/100 г			
Холестерин	29.1 ± 0.6	11.4 ± 1.1	6.3 ± 0.4	13.2 ± 1.0
Кампестерин	27.2 ± 0.3	32.7 ± 1.8	36.2 ± 0.8	15.3 ± 1.0
Стигмастерин	32.6 ± 1.9	27.1 ± 1.5	10.5 ± 0.6	11.6 ± 1.0
Клеростерин	3.1 ± 0.1	4.0 ± 0.2	4.7 ± 0.5	3.2 ± 0.4
β-Ситостерин	243.3 ± 7.8	382.1 ± 6.3	333.4 ± 2.7	243.9 ± 4.9
Ланостерин	12.9 ± 0.9	18.2 ± 0.9	15.1 ± 0.3	9.3 ± 0.7
Ситостанол	50.3 ± 2.0	63.9 ± 1.7	45.9 ± 1.0	0.0
Δ7-Авенастерин	7.1 ± 0.3	21.7 ± 0.8	9.9 ± 0.2	13.0 ± 0.9
Циклоартенол	35.5 ± 3.2	39.9 ± 2.3	33.3 ± 1.6	42.6 ± 1.4
(3β)-stigmasta-7,24(28)-dien-3-ol	8.4 ± 0.6	4.3 ± 0.4	1.9 ± 0.4	5.9 ± 0.7
γ-Ситостенон	6.3 ± 0.7	0.0	0.0	0.0
24-Метиленициклоартанол	30.6 ± 2.3	37.6 ± 1.4	37.2 ± 1.7	36.6 ± 1.0
Цитростадиенол	20.4 ± 1.8	51.3 ± 1.1	41.8 ± 2.0	39.1 ± 0.9
Unidentified compound (MM = 426 Da)	1.8 ± 0.2	2.7 ± 0.3	0.8 ± 0.1	2.4 ± 0.4
(3β)-Lup-20(29)-ene-3,28-diol	99.2 ± 3.3	20.9 ± 1.9	18.2 ± 1.1	11.6 ± 0.8
Всего	607.8 ± 26.3	717.8 ± 21.3	595.2 ± 13.5	476.2 ± 15.3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Исследования показали, что качественный состав жирных кислот масла *Morus* был идентичен для всех образцов, но наблюдались незначительные отличия в количественном составе. Однако была выявлена межвидовая и внутривидовая изменчивость семян *Morus* по суммарному содержанию антиоксидантов, где высокие показатели продемонстрировал *M. alba* (белоплодная форма). Кроме того, все формы *Morus alba* (белоплодная, черноплодная и розовоплодная) отличались как высоким содержанием масла, так и суммарным содержанием фитостеринов. На основании полученных данных следует, что семена шелковицы – вторичное сырье, образующееся при переработке плодов шелковицы, – представляют собой дополнительный природный источник антиоксидантов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН (This paper has been supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Исламова Ф.И., Мусаев А.М., Раджабов Г.К. Структура изменчивости некоторых пряно-ароматических растений по содержанию суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте // Овоши России. 2019. № 3. С. 87–90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-87-90>

Яшин А.Я., Яшин Я.И. Прибор для определения антиоксидантной активности растительных лекарственных экстрактов и напитков // МИС-РТ. 2004. № 34. С. 10–14.

Bajpai P.K., Warghat A.R., Yadav A., Kant A., Srivastava R.B., Stobdan T. High phenotypic variation in *Morus alba* L. along an altitudinal gradient in the Indian trans-Himalaya // J. Mt. Sci. 2015. V. 12. № 2. P. 446–455. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2875-2>

Brown A.J., Galea A.M. Cholesterol as an evolutionary response to living with oxygen // Evolution. 2010. V. 64. № 7. P. 2179–2183. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2010.01011.x>

Carrillo C., Cavia M., Alonso-Torre S.R. Efecto antitumoral del ácido oleico; mecanismos de acción: revisión científica // Nutr Hosp. 2012. V. 27. № 6. P. 1860–1865. <http://hdl.handle.net/10259.4/2522>

Carta G., Murru E., Lisai S., Sirigu A., Piras A., Colalu M., Banni S. Dietary triacylglycerols with palmitic acid in the sn-2 position modulate levels of

- N-acyl ethanolamides in rat tissues // PLoS One. 2015. V. 10. № 3. P. e0120424.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120424>
- Cox B.D., Whichelow M.J., Prevost A.T. Seasonal consumption of salad vegetables and fresh fruit in relation to the development of cardiovascular disease and cancer // Public Health Nutr. 2000. V. 3. № 1. P. 19–29.
<https://doi.org/10.1017/S1368980000000045>
- Del Rio D., Borges G., Crozier A. Berry flavonoids and phenolics: bioavailability and evidence of protective effects // Br.J. Nutr. 2010. V. 104. № 3. P. S67–S90.
<https://doi.org/10.1017/S0007114510003958>
- Dillard C.J., German J.B. Phytochemicals: nutraceuticals and human health // J. Sci. Food Agric. 2000. V. 80. № 12. P. 1744–1756.
[https://doi.org/10.1002/1097-0010\(20000915\)80:12<1744::AID-JS-FA725>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20000915)80:12<1744::AID-JS-FA725>3.0.CO;2-W)
- Evstatieva L., Todorova M., Antonova D., Staneva J. Chemical composition of the essential oils of *Rhodiola rosea* L. of three different origins // Pharmacogn. Mag. 2010. V. 6. № 24. P. 256.
<https://doi.org/10.4103/0973-1296.71782>
- Garcia-Closas R., Gonzalez C.A., Agudo A., Riboli E. Intake of specific carotenoids and flavonoids and the risk of gastric cancer in Spain // Cancer Causes & Control. 1999. V. 10. № 1. P. 71–75.
<https://doi.org/10.1080/01635589809514734>
- Gecgel U., Velioglu S.D., Velioglu H.M. Investigating some physicochemical properties and fatty acid composition of native black mulberry (*Morus nigra* L.) seed oil // J. Am. Oil Chem. Soc. 2011. V. 88. № 8. P. 1179–1187.
<https://doi.org/10.1007/s11746-011-1771-6>
- Guil-Guerrero J.L. Stearidonic acid (18: 4n-3): Metabolism, nutritional importance, medical uses and natural sources // Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2007. V. 109. № 12. P. 1226–1236.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.200700207>
- Guil-Guerrero J.L., García Maroto F.F., Gimenez Gimenez A. Fatty acid profiles from forty-nine plant species that are potential new sources of γ -linolenic acid. // J. Am. Oil Chem. Soc. 2001. V. 78. № 7. P. 677–684.
<https://doi.org/10.1007/s11746-001-0325-9>
- Gurib-Fakim A. Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow // Mol. Aspects Med. 2006. V. 27. № 1. P. 1–93.
<https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.008>
- Hu J., Vinothkanna A., Wu M., Ekumah J.N., Akpabli-Tsigbe N.D.K., Ma Y. Tracking the dynamic changes of a flavor, phenolic profile, and antioxidant properties of *Lactiplantibacillus plantarum*-and *Saccharomyces cerevisiae*-fermented mulberry wine // Food Sci. Nutr. 2021. V. 9. № 11. P. 6294–6306.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2590>
- Huang D., Ou B., Prior R.L. The chemistry behind antioxidant capacity assays // J. Agric. Food Chem. 2005. V. 53. № 6. P. 1841–1856.
<https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Iso H., Sato S., Umemura U., Kudo M., Koike K., Kitamura A., Imano H., Okamura T., Naito Y., Shimamoto T. Linoleic acid, other fatty acids, and the risk of stroke // Stroke. 2002. V. 33. № 8. P. 2086–2093.
<https://doi.org/10.1161/01.STR.0000023890.25066.50>
- Kelly F.D., Sinclair A.J., Mann N.J., Turner A.H., Abedin L., Li D. A stearic acid-rich diet improves thrombogenic and atherogenic risk factor profiles in healthy males // Eur. J. Clin. Nutr. 2001. V. 55. № 2. P. 88–96.
<https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601122>
- Kim B.S., Kim H., Kang S.S. In vitro anti-bacterial and anti-inflammatory activities of lactic acid bacteria-bio-transformed mulberry (*Morus alba* Linnaeus) fruit extract against *Salmonella Typhimurium* // Food Control. 2019. V. 106. P. 106758.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106758>
- Kim H., Chung M.S. Antiviral activities of mulberry (*Morus alba*) juice and seed against influenza viruses // J. Evidence-Based Complementary Altern. Med. 2018. V. 2018. P. 1–10.
<https://doi.org/10.1155/2018/2606583>
- Li X., Xin Y., Mo Y., Marozik P., He T., Guo H. The Bio-availability and Biological Activities of Phytosterols as Modulators of Cholesterol Metabolism // Molecules. 2022. V. 27. № 2. P. 523.
<https://doi.org/10.3390/molecules27020523>
- Pieszka M., Migdal W., Gąsior R., Rudzińska M., Bederska-Łojewska D., Pieszka M., Szczurek P. Native oils from apple, blackcurrant, raspberry, and strawberry seeds as a source of polyenoic fatty acids, tocopherols, and phytosterols: A health implication // Journal of Chemistry. 2015. V. 2015. P. 1–8.
<https://doi.org/10.1155/2015/659541>
- Prior R.L., Cao G. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications // HortScience. 2000. V. 35. № 4. P. 588–592.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.4.588>
- Prior R.L., Wu X., Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements // J. Agric. Food Chem. 2005. V. 53. № 10. P. 4290–4302.
<https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Rahal A., Deb R., Latheef S.K., Tiwari R., Verma A.K., Kumar A., Dhama K. Immunomodulatory and therapeutic potentials of herbal, traditional/indigenous and ethnoveterinary medicines // Pak. J. Biol. Sci. 2012. V. 15. № 16. P. 754–774.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2012.754.774>
- Rahman M.M., Akther A., Moinuddin M., Yeasmin M.S., Rahman M.M., Rahman M.S., Ferdousi S.A., Sayeed M.A. Investigation some physicochemical properties, lipids, glycerides and fatty acid composition of mulberry (*Morus alba* L.) seed oil of three different regions of Bangladesh // Am.J. Appl. Chem. 2014. V. 2.

- P. 38–41.
<https://doi.org/10.11648/j.ajac.20140203.11>
- Sanchez-Salcedo E.M., Sendra E., Carbonell-Barrachina A.A., Martínez J.J., Hernandez F.* Fatty acids composition of Spanish black (*Morus nigra* L.) and white (*Morus alba* L.) mulberries // *Food Chemistry*. 2016. V. 190. P. 566–571.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.008>
- Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T., Sochor J.* Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries // *Int. J. Mol. Sci.* 2015. V. 16. № 10. P. 24673–24706.
<https://doi.org/10.3390/ijms161024673>
- Upadhyay U.P.P.D.D., Chikitsa P., Sansthan V.V.E.G.A.* Clinical drug interactions: a holistic view // *Pak. J. Biol. Sci.* 2013. V. 16. № 16. P. 751–758.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.751.758>
- Van Hoed V., Barbouche I., De Clercq N., Dewettinck K., Slah M., Leber E., Verhe R.* Influence of filtering of cold pressed berry seed oils on their antioxidant profile and quality characteristics // *Food Chemistry*. 2011. V. 127. № 4. P. 1848–1855.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.134>
- Van Hoed V., De Clercq N., Echim C., Andjelkovic M., Leber E., Dewettinck K., Verhe R.* Berry seeds: a source of specialty oils with high content of bioactives and nutritional value // *J. Food Lipids*. 2009. V. 16. № 1. P. 33–49.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2009.01130.x>
- Vivancos M., Moreno J.J.* β -Sitosterol modulates antioxidant enzyme response in RAW 264.7 macrophages // *Free Radic. Biol. Med.* 2005. V. 39. № 1. P. 91–97.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2005.02.025>
- Wang T., Hicks K.B., Moreau R.* Antioxidant activity of phytosterols, oryzanol, and other phytosterol conjugates // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2002. V. 79. № 12. P. 1201–1206.
<https://doi.org/10.1007/s11746-002-0628-x>
- Wargovich M.J.* Anticancer properties of fruits and vegetables // *HortScience*. 2000. V. 35. № (4). P. 573–575.
<https://doi.org/10.21273/hortsci.35.4.573>
- Weng X.C., Wang W.* Antioxidant activity of compounds isolated from *Salvia plebeia* // *Food Chemistry*. 2000. V. 71. № 4. P. 489–493.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00191-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00191-6)
- Yang B., Ahotupa M., Maatta P., Kallio H.* Composition and antioxidative activities of supercritical CO₂-extracted oils from seeds and soft parts of northern berries // *Food Res. Int.* 2011. V. 44. № 7. P. 2009–2017.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.025>
- Zhang H., Ma Z.F., Luo X., Li X.* Effects of mulberry fruit (*Morus alba* L.) consumption on health outcomes: A mini-review // *Antioxidants*. 2018. V. 7. № 5. P. 69.
<https://doi.org/10.3390/antiox7050069>

Composition of fatty acids, phytosterols and Total Content of Antioxidants of *Morus* L. seeds

F. I. Islamova¹, G. K. Radzhabov^{1, #}, S. V. Goriainov², F. Hajjar², A. M. Aliev¹

¹Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, 75 M. Yaragsky, Makhachkala, 367000 Russia

²FSAEI RUDN (“Peoples’ Friendship University of Russia”), 6 Miklukho-Maclay, Moscow, 117198 Russia

[#]e-mail: chemfarm@mail.ru

This paper presents for the first time the results of studying the total content of antioxidants in the seeds of *Morus* L. The composition of fatty and steric acids of the seeds of mulberry fruits *Morus* L. was also studied: polymorphic species *Morus alba* (white-fruited, pink-fruited, black-fruited) and *Morus nigra* (Khartut variety). As a result of the studies, 12 fatty acids were identified. The main ones were linoleic acid, palmitic oleic acid, and stearic acid. The predominant fatty acid in all samples was linoleic, which varied from 67.5 to 79.0%. 15 sterols were found, among which β -Sitosterol accounts for about 90%. Determination of the total antioxidant content of *Morus alba* seeds (white-fruited, pink-fruited, black-fruited forms) and *Morus nigra* (Khartut variety) revealed the accumulation of antioxidants in all samples. The highest total content of antioxidants was observed in *Morus nigra* (4.40 mg/g) and the white-fruited form of *Morus alba* (5.56 mg/g).

Key words: mulberry, *Morus alba*, *Morus nigra* (Khartut variety), antioxidants, fatty acids, phytosterols, linoleic acid.