

## ОСОБЕННОСТИ ПЛОДОВ МУШМУЛЫ (*MESPILUS GERMANICA*) В СВЯЗИ С АДАПТАЦИЕЙ К ГОРНЫМ УСЛОВИЯМ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Т.В. Иванова<sup>1</sup>, А.С. Воронков<sup>1,2</sup>, Э.И. Кузнецова<sup>1</sup>, Т.Х. Кумахова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия, [itv\\_2006@mail.ru](mailto:itv_2006@mail.ru)

<sup>2</sup>Государственное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Государственный гуманитарно-технологический университет», Орехово-Зуево, Россия, [voronkov\\_as@mail.ru](mailto:voronkov_as@mail.ru)

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия, [tkumachova@yandex.ru](mailto:tkumachova@yandex.ru)

**Аннотация.** Изучены структурные и функциональные особенности плодов *Mespilus germanica* L., произрастающих в горах Северного Кавказа на разных высотах (500, 800, 1200 м) над уровнем моря. Выявлены некоторые физиолого-биохимические приспособления к условиям произрастания в горных экосистемах с разными экологическими составляющими.

**Ключевые слова:** *Mespilus germanica*, жирные кислоты, конденсированные полифенолы  
**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-370-374

Многие дикорастущие виды растений отличаются высокой экологической пластичностью, что позволяет им успешно произрастать в разных экосистемах, в том числе и в горных. Эта особенность позволяет растениям выживать в условиях повышающегося антропогенного прессинга и изменяющихся условий их обитания. К группе таких видов растений относится мушмула германская (*Mespilus germanica* L.), широко распространенная в горных экосистемах южных регионов России и на сопредельных территориях. Поэтому цитологическое и физиологическое исследование репродуктивных органов *M. germanica* представляет большой интерес.

*M. germanica* – листопадный кустарник или небольшое деревце (высотой 1,5–6 м), принадлежит монотипному роду Мушмула (*Mespilus* L.) подсемейства Яблоневые (*Maloideae*) семейства Розоцветные (*Rosaceae*). Известны два экотипа дикорастущей мушмулы германской: ксерофильный, приуроченный к открытым местообитаниям, и мезофильный, лесной [Жуковский, 1971; Камелин, 2006; Растительные ресурсы России, 2009]. Ценность мушмулы известна с глубокой древности. Как витаминоносное и лекарственное растение она широко вошла в культуру многих стран Передней и Малой Азии, Восточного Средиземноморья и Западной Европы. В настоящее время в вегетативных и репродуктивных органах *M. germanica* найдены тритерпеноиды, фенолкарбоновые кислоты, флавоноиды, катехины, органические кислоты и их производные, алифатические альдегиды, высшие жирные кислоты (ЖК), до 10% жирного масла в семенах [Буданцев, 2009]. Интерес к *M. germanica* в последние годы стабильно растет, что можно объяснить выраженными антиоксидантными свойствам ее плодов, благодаря которым они могут быть использованы в пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности.

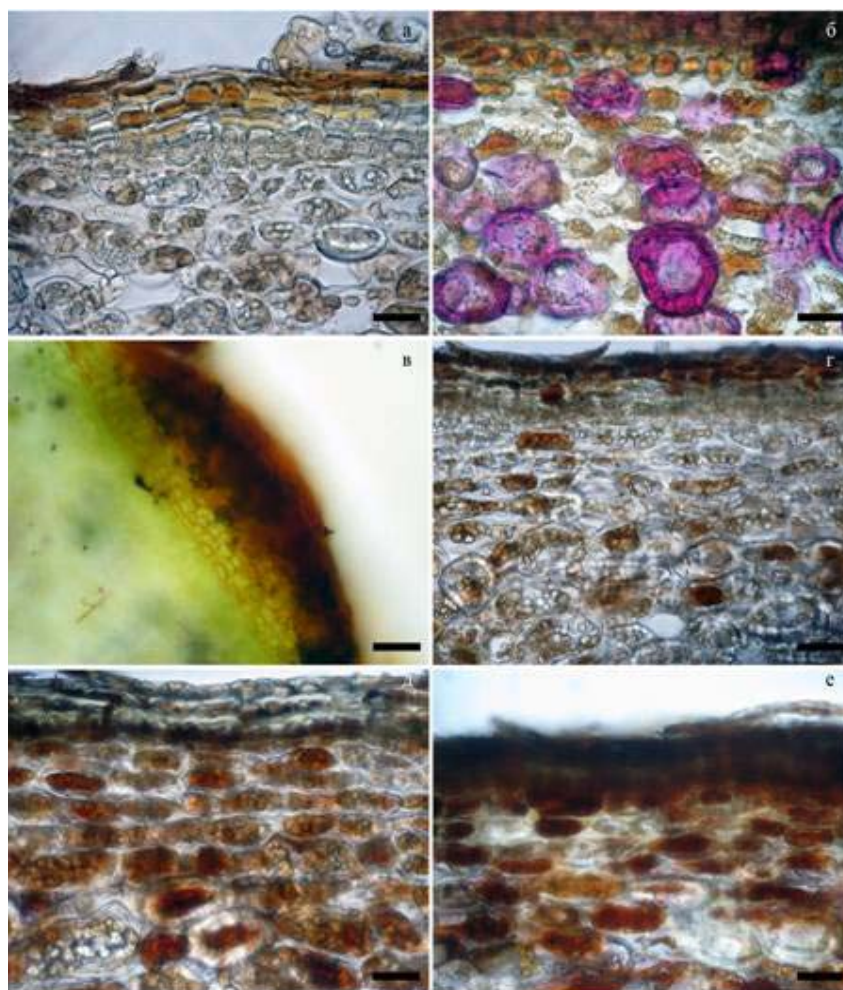
**Материалы и методы.** Образцы зрелых плодов дикорастущей *M. germanica* собирали из средней части кроны трех модельных деревьев с высот ~ 500 м, ~ 800 м, и ~ 1200 м над уровнем моря, произрастающих в предгорной и лесогорной зонах Северного Кавказа.

Гистохимические исследования околоплодника проводили на микроскопе AxioImager D1 (Carl Zeiss, Германия) в проходящем свете. Поперечные срезы

изготавливали с помощью микротомы «Thermo Scientific, Microm HM 650V» с вибрирующим лезвием (толщина срезов – 50 мкм). Для выявления лигнифицированных (одревесневших) клеточных стенок срезы обрабатывали флороглюцином и соляной кислотой (HCl). Суданом III выявляли липофильные компоненты. Микрофотографии получены с помощью камеры Canon A650 IS. Редактирование микрофотографий производили в программе ZEN lite 2012.

Для определения состава ЖК липидов наружные ткани и паренхимную часть околоплодника плодов *M. germanica* фиксировали по отдельности в кипящем изопропанол (предварительно смыв поверхностные воска хлороформом), содержащем 0,001% ионола, и гомогенизировали. Абсолютное содержание и ЖК-состав суммарных липидов в полученных гомогенатах определяли, как описано ранее [Сидоров и др., 2012]. Идентификацию и определение количественного содержания метиловых эфиров ЖК (МЭЖК) выполняли с помощью ГЖХ-МС на приборе Agilent 7890A GC (США). Для оценки уровня ненасыщенности ЖК в липидах околоплодника рассчитывали индекс ненасыщенности (ИН). Абсолютное содержание липидов выражали в микромолях этерифицированных ЖК в расчёте на 1 г сырой массы [Иванова и др., 2016].

**Результаты и обсуждение.** В околоплоднике *M. germanica* выявлены покровная и паренхимная зоны (рис. 1).



**Рис. 1.** Поперечные срезы околоплодника *Mespilus germanica* при гистохимическом исследовании: а – контрольный (неокрашенный); б – склереиды; в – суберинизированные стенки клеток и чечевичка; г, д, е – конденсированные полифенолы в клетках плодов с высот 500, 800 и 1200 м над уровнем моря, соответственно. Бар=20 мкм.

Гистохимические исследования тканей околоплодника *M. germanica* (рис. 1) выявили многочисленные крупные клетки – склереиды с одревесневшими стенками малиново-красного цвета, локализованные, главным образом, в паренхимной части (рис. 1б). При окрашивании срезов Суданом III выявлены суберинизированные стенки клеток наружной зоны (4–5 слоев) и многочисленных чечевичек (рис. 1в). Помимо суберина, в клетках околоплодника обнаружены и иные липофильные компоненты.

Состав ЖК суммарных липидов плодов *M. germanica*, произрастающих на разных высотах приведен в табл. 1. В липидах плодов мушмулы со всех трех исследуемых высот (500, 800 и 1200 м) содержалось 23 индивидуальных вида C<sub>12</sub>-C<sub>24</sub>-ЖК, главными из которых были пальмитиновая (C<sub>16:0</sub>), стеариновая (C<sub>18:0</sub>), олеиновая (C<sub>18:1</sub>) и линолевая (C<sub>18:2</sub>) кислоты. В паренхимной части плода из этих же образцов, а также в наружном слое на высоте 1200 м одной из главных ЖК была α-линоленовая (C<sub>18:3</sub>) кислота.

Таблица 1.

ЖК липидов плодов *Mespilus germanica* на разных высотах, % от суммы МЭЖК

ЖК	Наружные слои			Паренхима			Семена <sup>1</sup>		
	500 м	800 м	1200м	500 м	800 м	1200м	500 м	800 м	1200м
C <sub>12:0</sub>	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
C <sub>14:0</sub>	2,4	1,5	1,1	1,1	2,0	1,6	0,4	0,3	0,5
C <sub>15:0</sub>	0,7	0,7	0,5	0,3	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3
C <sub>16:0</sub>	38,5	38,2	30,6	27,7	24,2	24,0	11,8	10,6	12,2
Δ7-C <sub>16:1</sub>	0,3	0,7	0,6	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4
Δ9-C <sub>16:1</sub>	0,6	0,5	0,5	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2
C <sub>18:0</sub>	21,1	15,1	12,1	12,7	24,0	16,3	3,6	4,2	4,1
Δ7-C <sub>18:1</sub>	0,1	0,3	0,2	–	0,3	0,3	–	0,4	0,3
Δ9-C <sub>18:1</sub>	15,6	11,3	7,7	3,0	5,4	8,0	28,8	32,0	32,6
Δ11-C <sub>18:1</sub>	1,1	1,0	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7
Δ9,12-C <sub>18:2</sub>	4,2	23,0	23,3	41,7	29,9	31,1	51,1	48,1	46,2
C <sub>19:0</sub>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2
Δ9,12,15-C <sub>18:3</sub>	0,1	0,9	18,2	10,6	11,9	14,8	0,5	0,3	0,3
C <sub>20:0</sub>	6,2	3,6	2,6	0,9	0,8	1,0	1,4	1,6	1,3
Δ11-C <sub>20:1</sub>	0,1	0,2	0,2	–	–	–	0,5	0,6	0,4
C <sub>21:0</sub>	сл.	0,1	сл.	–	–	0,1	сл.	сл.	сл.
C <sub>22:0</sub>	6,1	1,9	1,3	0,3	–	0,2	0,2	0,2	0,1
C <sub>24:0</sub>	2,4	0,4	0,1	–	–	сл.	сл.	сл.	–
<b>ИН</b>	0,265	0,627	1,110	1,195	1,020	1,164	1,342	1,313	1,280
<b>ΣЖКОДЦ</b>	14,8	6,2	4,2	1,2	0,8	1,3	2,1	2,4	1,8

<sup>1</sup>содержались также C<sub>13:0</sub> (следы) и Δ10-C<sub>17:1</sub> (0,1%).

Из данных табл. 1 видно, что различия качественного и количественного состава ЖК в липидах паренхимы и семян *M. germanica* на всех высотах незначительны, а явные различия были обнаружены лишь в наружных слоях плодов. С повышением высоты произрастания *M. germanica* до 1200 м имеет место заметное увеличение величины ИН по сравнению с высотой 500 м. Это увеличение объясняется повышением содержания в наружных слоях *M. germanica* C<sub>18:2</sub> и C<sub>18:3</sub> кислот. Что касается содержания липидов, включающих ЖК с очень длинной цепью (ЖКОДЦ), то их доля снижается с 14,8% на высоте 500 м до 6,2 и 4,4% на 800 и 1200 м соответственно. Известно, что рост ненасыщенности ЖК и длины их цепей вызывает падение текучести мембраны, тем самым обуславливая адаптационный эффект снижения проницаемости мембран [Иванова и др., 2009]. Вероятно, этот механизм позволяет, несмотря на разные

условия на разных высотах произрастания, поддерживать оптимальную проницаемость мембран в клетках околоплодника.

Абсолютное содержание суммарных липидов в покровной и паренхимной зонах околоплодника возрастало с высотой произрастания *M. germanica*. В наружных слоях наблюдается увеличение содержания липидов в 1,4 раза, в то время как в паренхиме данный показатель практически не изменяется (табл. 2).

Таблица 2.

Абсолютное содержание липидов в околоплоднике *M. germanica* с разных высот (микромоль этерифицированных ЖК в расчёте на 1 г сырой массы).

Высота над уровнем моря	500 м	800 м	1200 м
Топографические зоны			
Наружная	7,390	9,920	10,510
Паренхимная	3,805	3,529	4,186

Таким образом, можно заключить, что адаптация плодов *M. germanica* в горных экосистемах происходит как за счет структурных, так и физиолого-биохимических изменений в наружной зоне околоплодника, которая непосредственно контактирует с динамично изменяющимися, зачастую суровыми условиями окружающей среды. Поскольку паренхима плода и генетический материал *M. germanica*, заключенный в её семенах, не подвергаются прямому воздействию специфических, порой неблагоприятных, эколого-климатических факторов, то их качественные и количественные показатели остаются без существенных изменений на всех исследуемых высотах.

#### Литература

- Жуковский П. М. Культурные растения и их сородичи. – Л.: Колос, 1971. – 750 с.
- Иванова Т.В., Майорова О.В., Орлова Ю.В., Кузнецова Э.И., Халилова Л.А., Мясоедов Н.А., Балнокин Ю.В., Цыдендамбаев В.Д. Ультраструктура и жирнокислотный состав липидов клеток вегетативных органов *Chenopodium album* L. в условиях солевого стресса // Физиология растений. – 2016. – Т. 63, № 6. – С. 783–795.
- Иванова Т.В., Мясоедов Н.А., Пчёлкин В.П., Цыдендамбаев В.Д., Верещагин А.Г. Повышенное содержание жирных кислот с очень длинной цепью в липидах вегетативных органов галофитов // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 6. – С. 871–878.
- Камелин Р.В. Розоцветные (*Rosaceae*). – Барнаул: АГУ, 2006. – 100 с.
- Буданцев А.Л. (ред). Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Санкт-Петербург, Москва: Товарищество научных изданий КМК, 1989. – Т. 2. – 513 с.
- Сидоров Р. А., Жуков А. В., Верещагин А. Г., Цыдендамбаев В. Д. Низшие алкиловые эфиры жирных кислот из плодов бересклета // Физиология растений. – 2012. – Т. 59, № 3. – С. 362–368.

## FEATURES OF *MESPILUS GERMANICA* FRUIT IN CONNECTION WITH THE ADAPTATION TO MOUNTAIN ECOSYSTEMS

T.V. Ivanova<sup>1</sup>, A.S. Voronkov<sup>1,2</sup>, E.I. Kuznetsova<sup>1</sup>, T.H. Kumakhova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia, *itv\_20006@mail.ru*

<sup>2</sup>Moscow Regional Institution of Higher Education "University for Humanities and Technologies", Orekhovo-Zuyevo, Russia, *voronkov\_as@mail.ru*

<sup>3</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University", Moscow, Russia, *tkumachova@yandex.ru*

**Abstract.** We have studied the structural and functional features of *Mespilus germanica* L. fruit which grow in the mountains of North Caucasus at height of 500, 800 and 1200 m above sea level. Our group has identified some physiological and biochemical adapts to environmental conditions in mountains ecosystems with different ecological components.

**Keywords:** *Mespilus germanica*, fatty acids, condensed polyphenols