

Н.А. Трусов

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ СЫРОГО ЖИРА В ПЛОДАХ *EUONYMUS MACROPTERUS* RUPR.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук

Представители рода *Euonymus* L. накапливают в семенах и ариллусах жирное масло и представляют интерес как высокомасличные растения. Актуально изучение формирования плодов и накопления в них сухого вещества и сырого жира. У плодов *E. macropterus* Rupr. наибольшее содержание сухого вещества в перикарпиях. Накопление его идет по ломаной кривой, схожей с сигмоидной. Накопление сухого вещества в семенах и ариллусах идет параллельно по двойной сигмоидной кривой или почти линейно, в ариллусах быстрее, но в меньших количествах. Динамика накопления сырого жира в ариллусах и семенах описывается сигмоидной кривой. Максимальное значение его в ариллусах превышает таковое в семенах, но достигается на 1–2 недели позже.

Ключевые слова: *Euonymus macropterus*, плод, перикарпий, ариллус, семя, сухое вещество, масличность

Цитирование: Трусов Н.А. Закономерности накопления сырого жира в плодах *Euonymus macropterus* Rupr. // Промышленная ботаника. 2026. Вып. 26, № 3. С. 98–109. DOI: 10.5281/zenodo.23499753

Введение

В лесах европейской части России, на Дальнем Востоке России и на Кавказе среди растений второго яруса леса можно выделить бересклеты – небольшие деревца или кустарники. В СССР в 1930–1960-х гг. был повышенный интерес к представителям рода *Euonymus* L. (Celastraceae R.Br.) из-за содержания в их коре гутты [3, 7, 8, 18], для последующего получения гуттаперчи. При этом уделялось внимание изучению особенностей роста и развития бересклетов, в том числе плодоношения. Изучали морфолого-анатомическое строение вегетативных органов. Разрабатывали агротехнику выращивания бересклетов. В связи с тем, что для получения гутты растения подлежали вырубке, а развитие химической промышленности позволило получать схожие по свойствам синтетические материалы, интерес к бересклетам как к промышленным гуттаперченосам снизился.

Но, благодаря исследованиям тех лет, было получено много данных о произрастании бересклетов в естественных условиях, их урожайности, даны рекомендации о сборе плодов.

В то время исследователи задумывались о безотходности выращивания бересклетов и получении максимальной хозяйственной выгоды. Известно, что семена бересклетов содержат до 50–70 % жирного масла [1, 17]. Жирные масла, получаемые из семян *E. europaeus* L. и *E. verrucosus* Scop., можно использовать для технических целей, в мыловарении и маргариновом производстве, а масло из семян *E. verrucosus* может заменить пищевое подсолнечное масло [2]. Жирное масло семян *E. europaeus* обладает лекарственными свойствами: его рекомендуют при дерматомикозах, экземе, как противопаразитное, рвотное и слабительное [17].

В плодах бересклетов жирное масло накапливается не только в семенах, но и в ариллусах – сочных внесеменных частях [16]. Кроме того, в ариллусах содержатся каротиноиды. В ариллусах *E. europaeus* были обнаружены зеаксантин, криптоксантин и антероксантин [1, 31].

Масла из семян и ариллузов ритительно отличаются по жирнокислотному составу. Масла семян бересклетов богаты непредельными кислотами: олеиновой, линолевой и линоленовой [1, 6, 17, 22]. В масле семян преобладают моноацетотриглицерины. При этом показано, что остаток уксусной кислоты связан с глицерином в третьем положении вместо жирной кислоты [10, 23, 26]. В триацилглицеринах масла ариллузов присутствуют остатки 6 основных кислот: пальмитиновой, стеариновой, гексадеценовой, октадеценовой, линолевой и линоленовой [34].

В настоящее время представляется актуальным более подробно изучить развитие плодов бересклетов в связи с накоплением в их семенах и ариллусах масла. Род *Euonymus* насчитывает более 200 видов, относящихся к 5 и более секциям [25, 35]. При этом ариллусы у представителей разных секций имеют свои морфологические и анатомические особенности, и даже разную морфологическую природу [37]. Для более полного изучения развития плодов бересклетов и установления закономерностей накопления масла в их частях, предполагается отдельное исследование модельных видов из каждой секции. Представители секции *Kalonymus* Beck произрастают на Дальнем Востоке России, в Юго-Восточной Азии и на Кавказе. Характерной особенностью их плодов является наличие больших крыловидных выростов, причем не обеспечивающих анемохорию, а скорее увеличивающих фотосинтезирующую поверхность плода [9]. Исключением является *E. oxyphyllus* Miq., имеющий шаровидные плоды без выростов. Наиболее длинные крыловидные выросты относительно длины тела плода характерны для *E. macropterus* Rupr. Этот вид и стал модельным в данном исследовании.

Считается, что накопление сырого и сухого вещества в плодах происходит по сигмоидной

кривой [13, 28, 29, 36]. У *Phaseolus vulgaris* L. накопление сырого вещества в перикарпии происходит по сигмоидной кривой, а в семенах – по двойной сигмоидной кривой [20]. У развивающегося плода *Punica granatum* L. сначала наблюдается активное накопление сухого вещества в перикарпии, потом содержание сухого вещества в перикарпии сокращается, а в семенах увеличивается, вместе с этим активно растет саркотеста [24]. У *Lupinus albus* L. содержание сырого и сухого вещества возрастает в перикарпии развивающегося боба, но снижается перед созреванием, на фоне увеличения в семенах [30]. Для *Gossypium* L. характерно увеличение сухого вещества семян и волосков вплоть до созревания и снижение накопления сухого вещества коробочек перед созреванием [33]. Установлено, что стенки плодов *Brassica campestris* L. осуществляют промежуточный запас веществ [19].

У сочных масляных плодов (плодов, накапливающих масло в сочных внесеменных частях) активное накопление жирного масла в перикарпии наблюдается с окончанием увеличения его клеток [13, 32] и описывается сигмоидной кривой [13, 21, 27]. При этом депонирование масла в сочных внесеменных частях происходит после активного накопления его в семенах и их изоляции. У некоторых сортов *Olea europaea* L. динамику накопления масла в плодах отражает двойная сигмоидная кривая [21]. Динамика маслообразования в семенах описывается сигмоидной кривой [4]. Для плодов растений, семена которых имеют ариллусы, четкая информация о взаимосвязях в накоплении веществ в частях плодов в процессе их развития отсутствует.

Цель и задачи исследований

Целью работы было установление закономерностей накопления сырого жира в перикарпии, ариллусе и семенах *E. macropterus* в процессе развития плода. В задачи исследования входило описание динамики содержания воздушно-сухого вещества, сырого жира и абсолютного содержания сырого жира в частях развивающихся плодов.

Объекты и методики исследований

Плоды *E. macropterus* собирали в дендрарии Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина с начала июня до начала сентября с недельным интервалом в течение четырех лет (2006–2007 гг. и 2018–2019 гг.). Для проведения биохимических исследований плоды высушивали при комнатной температуре. Воздушно-сухие плоды разделяли на части: перикарпии, ариллу-сы и семена. При этом проводили их подсчет.

Для определения воздушно-сухого вещества (далее – ВСВ) сырье высушивали до постоянной массы при температуре 60 °С. Для изучения динамики накопления ВСВ в перикарпиях, ариллусах и семенах производили расчеты ВСВ/100 шт. перикарпиев, ариллусов и семян, соответственно. Определение содержания ВСВ при изучении динамики накопления ВСВ в перикарпиях, ариллусах и семенах проводили без повторностей, ввиду малого количества материала.

Содержание сырого жира определяли методом сухого обезжиренного остатка [5]. Обезжиривание измельченных образцов сырья, высушенных до постоянной массы при температуре 60 °С, проводили в аппарате Сокслета, хлороформом. Повторность анализов 4-х кратная. Вычисляли содержание сырого жира в воздушно-сухом веществе (СЖ, % ВСВ).

Вычисляли абсолютное содержание сырого жира (АСЖ) – содержание сырого жира в воздушно-сухом веществе в расчете на 1 перикарпий, ариллус и семя. Подобный расчет наиболее адекватно отражает динамику маслообразования [4].

Результаты исследований и их обсуждение

В результате исследований было установлено, что наступление полной спелости плодов колеблется по годам, разница в сроках созревания может составлять две недели. В ответ на погодные условия года при созревании плодов можно выделить 2 стратегии: растягивание и сокращение периода морфогенеза. Далее плоды, массово созревающие в конце августа – начале сентября, будут обозначаться как плоды с растянутым периодом морфогенеза (ПРПМ),

а массово созревающие в середине августа – плоды с сокращенным периодом морфогенеза (ПСПМ).

В 2006 и 2019 гг. лето было теплым, но без экстремальной жары. Для этих годов характерно наличие ПРПМ. ПСПМ наблюдали в 2007 и 2018 гг., отличающихся жарким и сухим августом.

Наибольшее количество ВСВ в расчете на 1 шт. накапливается в перикарпии. В семени и в ариллусе уровень ВСВ существенно ниже (табл. 1–2, рис. 1). При этом нужно учитывать, что в плоде развивается до 4-х семян.

Динамику накопления ВСВ в перикарпии можно описать ломаной кривой, схожей с сигмоидной. Такое графическое отображение увеличения сухого вещества в перикарпии характерно для большинства растений [11, 28, 29, 36]. Отсутствие четкой закономерности в увеличении ВСВ в перикарпии *E. macropterus* можно объяснить относительно коротким периодом морфогенеза плода и, как следствие, – небольшим периодом наблюдений. При этом можно выделить некоторые общие тенденции, иногда различающиеся по годам у плодов с разной длительностью периода морфогенеза.

Наблюдается 3 периода более активного накопления ВСВ.

1. Конец первой декады июля – середина июля – 759,21→877,61 мг/100 шт., характерно для ПСПМ, или середина июля – начало августа – 717,91→933,58 мг/100 шт., характерно для ПРПМ.

2. Середина третьей декады июля – конец июля – 886,87→958,61 мг/100 шт., характерно для ПСПМ, или конец первой декады августа – середина августа – 889,84→986,82 мг/100 шт., характерно для ПРПМ.

3. Середина первой декады августа – начало второй декады августа – 984,76→1257,87 мг/100шт., характерно для ПСПМ, или середина третьей декады августа – конец августа – 1003,19→1197,98 мг/100 шт., характерно для ПРПМ.

Между периодами быстрого накопления ВСВ отмечены периоды менее активного накопления ВСВ. У ПРПМ содержание ВСВ даже

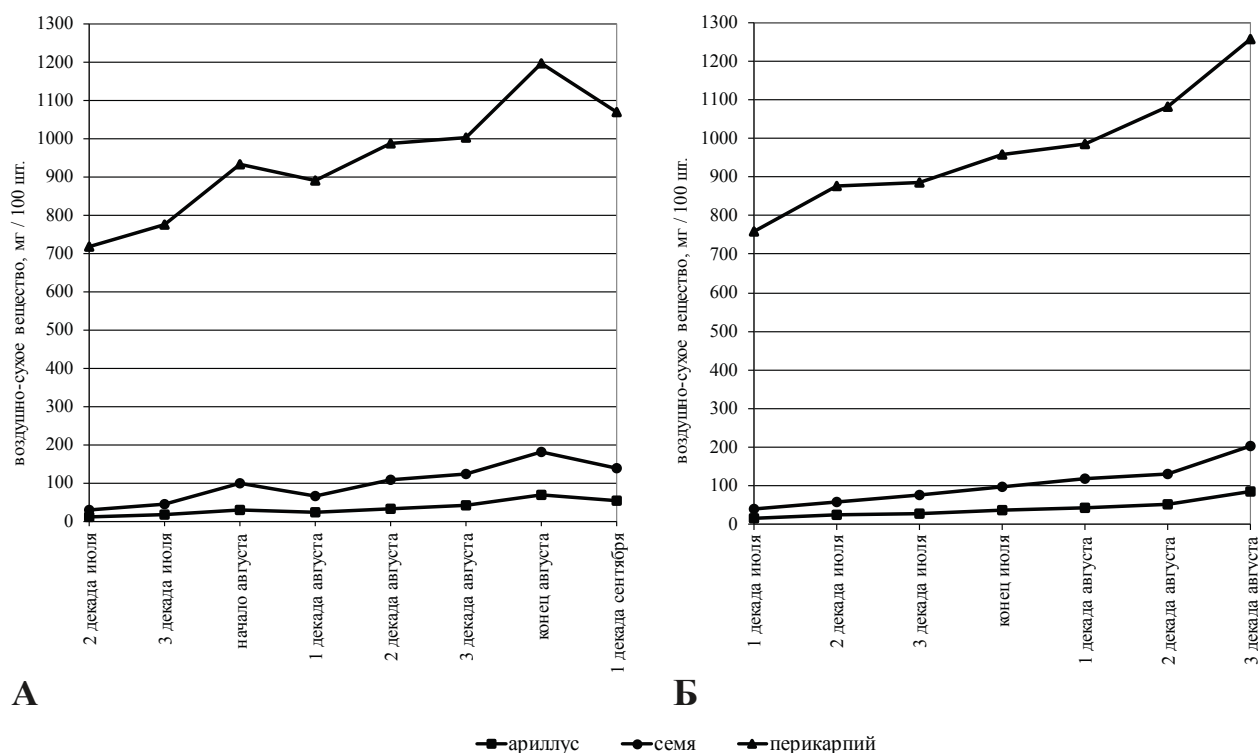


Рис. 1. Динамика накопления воздушно-сухого вещества в частях плодов *E. macropterus*: А – плоды с растянутым периодом морфогенеза, Б – плоды с сокращенным периодом морфогенеза

Fig. 1. Dynamics of accumulation of air-dry substance in the fruit parts of *E. macropterus*: А – fruits with an extended morphogenesis period, Б – fruits with a shortened morphogenesis period

Таблица 1. Содержание воздушно-сухого вещества в перикарпии, семени и ариллусе *E. macropterus* у ПРПМ, мг/100 шт.

Время сбора	Перикарпий	Семя	Ариллус
II декада июля	717,91	30,03	11,27
III декада июля	774,48	45,18	16,39
начало августа	933,58	97,61	30,42
I декада августа	889,84	66,90	22,07
II декада августа	986,82	107,41	32,03
III декада августа	1003,19	123,70	40,20
конец августа	1197,98	181,11	67,31
I декада сентября	1069,72	137,77	53,75

Таблица 2. Содержание воздушно-сухого вещества в перикарпии, семени и ариллусе *E. macropterus* у ПСПМ, мг/100 шт.

Время сбора	Перикарпий	Семя	Ариллус
I декада июля	759,21	40,45	11,27
II декада июля	877,61	58,98	16,39
III декада июля	886,87	76,79	30,42
конец июля	958,61	96,44	22,07
I декада августа	984,76	117,50	32,03
II декада августа	1080,54	129,88	40,20
III декада августа	1257,87	202,68	67,31

немного снижается в начале августа и перед вскрыванием плодов, конец августа – начало сентября – 1197,98→1069,72 мг/100 шт. У ПСПМ не наблюдается снижения содержания ВСВ.

Динамику накопления ВСВ в семени у ПРПМ можно описать двойной сигмоидной кривой. Накопление ВСВ в семенах при ПРПМ наблюдалось с середины июля до начала сентября (30,03→137,77 мг/100 шт.). В конце июля отмечается резкое возрастание содержания ВСВ и последующее его снижение к первой декаде августа (середина третьей декады июля – 45,18 мг/100 шт., начало августа – 97,61 мг/100 шт., конец первой декады августа – 66,90 мг/100 шт.). В течение августа содержание ВСВ снова возрастает. Особенно интенсивное накопление происходит в третьей декаде августа (123,70→181,11 мг/100 шт.). Перед вскрыванием плода (начало сентября) количество ВСВ уменьшается до 137,77 мг/100 шт.

У ПСПМ накопление ВСВ с конца первой декады июля до середины августа происходит почти линейно (40,45→129,88 мг/100 шт.). Особенно интенсивное накопление ВСВ наблюдается в начале третьей декады августа (202,68 мг/100 шт.). В третьей декаде августа плод вскрывается. При этом снижения содержания ВСВ перед вскрыванием нет.

Увеличение сухого вещества семян по двойной сигмоидной кривой, при возрастании сухого вещества перикарпия по простой сигмоидной кривой показано для перикарпия и семян *Phaseolus vulgaris* [20]. Авторы отмечают, что увеличение сухого вещества семян по двойной сигмоидной кривой характерно для многих растений, но часто период снижения увеличения составляет несколько дней, и поэтому не всегда заметен. Почти линейное увеличение ВСВ у ПСПМ, возможно, связано с коротким периодом морфогенеза плода.

У ПРПМ динамику накопления ВСВ в ариллусе можно описать двойной сигмоидной кривой. Накопление ВСВ наблюдалось с середины июля до начала сентября (11,27→53,75 мг/100 шт.). Небольшое снижение ВСВ происходит в первой декаде августа (30,42→

22,07 мг/100 шт.). Начиная со второй декады августа и до конца августа содержание ВСВ снова возрастает (22,07→67,31 мг / 100 шт.). Перед вскрыванием плода количество ВСВ уменьшается (53,75 мг/100 шт.). У ПСПМ накопление ВСВ с конца первой декады июля до середины августа происходит почти линейно (16,80→51,66 мг/100 шт.). Особенно интенсивное накопление ВСВ наблюдается в конце во второй декаде августа, перед вскрыванием плода (86,54 мг/100 шт.).

Содержание ВСВ в семени превышает такое в ариллусе на всем протяжении морфогенеза плода. Накопление ВСВ в семенах и в ариллусах идет параллельно, несмотря на различия в динамике накопления ВСВ по годам.

Накопление СЖ в частях плода *E. macropterus*, % от ВСВ представлено в таблицах 3 и 4.

Содержание СЖ перикарпия на протяжении всего периода формирования плода изменяется без видимой закономерности и колеблется в пределах 4,48–6,87 % от ВСВ. Содержание СЖ при вскрывании плода наибольшее.

Содержание СЖ в семени было высоким во время всего исследованного периода формирования плода. Накопление СЖ в семенах можно описать сигмоидной кривой. У ПРПМ содержание СЖ более активно увеличивалось с конца второй декады июля до начала августа (36,59→43,88 % от ВСВ), у ПСПМ – с конца первой декады июля до середины третьей декады июля (40,59→44,73 % от ВСВ). Затем содержание СЖ сохранялось на том же уровне в течение 1–2 недель и слегка снижалось ко времени созревания и вскрывания плода (до 41,06–41,47 % от ВСВ).

Содержание СЖ в ариллусе у ПРПМ возрастает с конца второй декады июля до начала августа (36,86→54,11 % от ВСВ), а у ПСПМ с конца первой декады июля до конца первой декады августа (48,86→60,98 % от ВСВ). При этом во втором случае содержание СЖ остается на том же уровне до вскрывания плода (59,04 % от ВСВ). Динамику накопления СЖ в ариллусе можно описать сигмоидной кривой. У ПРПМ содержание СЖ снижается к концу первой декады августа (47,29 % от ВСВ), а затем, к се-

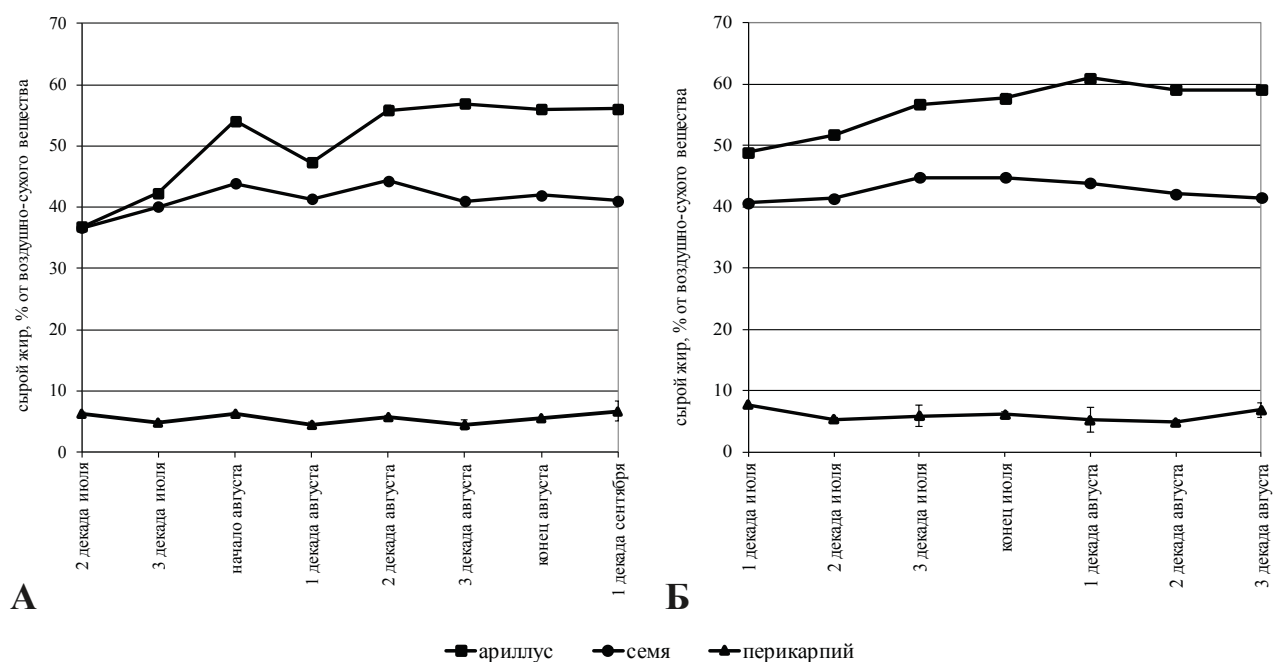


Рис. 2. Динамика накопления сырого жира в частях плодов *E. macropterus*: А – плоды с растянутым периодом морфогенеза, Б – плоды с сокращенным периодом морфогенеза

Fig. 2. Dynamics of accumulation of crude fat in the fruit parts of *E. macropterus*: А – fruits with an extended morphogenesis period, Б – fruits with a shortened morphogenesis period

Таблица 3. Содержание сырого жира в перикарпии, семени и ариллусе *E. macropterus* у ПРПМ ($M \pm m_M$), % от ВСВ

Время сбора	перикарпий	семя	ариллус
II декада июля	6,35±0,39	36,59±0,48	36,86±1,26
III декада июля	4,82±0,74	40,11±0,41	42,35±1,03
начало августа	6,27±0,71	43,88±0,43	54,11±0,77
I декада августа	4,51±0,83	41,33±0,92	47,29±1,33
II декада августа	5,83±0,27	44,34±1,19	55,79±1,69
III декада августа	4,48±1,72	41,00±0,91	56,93±0,75
конец августа	5,50±0,36	41,95±0,34	55,96±1,53
I декада сентября	6,75±3,27	41,06±0,40	56,11±1,10

Таблица 4. Содержание сырого жира в перикарпии, семени и ариллусе *E. macropterus* у ПСПМ ($M \pm m_M$), % от ВСВ

Время сбора	перикарпий	семя	ариллус
I декада июля	7,64±0,07	40,59±0,74	48,86±0,47
II декада июля	5,25±0,82	41,40±0,80	51,74±0,95
III декада июля	5,87±3,49	44,73±0,64	56,69±1,53
конец июля	6,13±0,71	44,75±0,91	57,70±1,60
I декада августа	5,23±3,91	43,85±0,57	60,98±0,46
II декада августа	4,84±0,64	42,05±0,23	59,07±1,47
III декада августа	6,87±2,37	41,47±0,62	59,04±0,62

редине августа, снова достигает того же уровня (55,79 % от ВСВ) и остается на нем до вскрытия плода (56,11 % от ВСВ).

Содержание СЖ в ариллусе выше содержания СЖ в семени на всем протяжении морфогенеза. Содержание СЖ в ариллусе достигает максимального значения на 1–2 недели позже, чем в семени. Такое запаздывание накопления масла во внесеменных частях, вероятнее всего, объясняется изоляцией семени при продолжающемся поступлении к нему ассимилятов. Активное накопление масла в сочной части плода после изоляции семени описывается для сочных масляных плодов: облепихи (*Hippophae* L.), бузины (*Sambucus* L.) и дерена (*Cornus* L.) [11, 12, 14, 15].

АСЖ в частях плода *E. macropterus* представлено в таблицах 5 и 6.

В динамике АСЖ перикарпия не установлено каких-либо закономерностей. У ПРПМ АСЖ увеличивалось с 45,59 мг/шт. (конец второй декады июля) до 72,20 мг/шт. (начало сентября). Но в третьей декаде июля АСЖ снижалось

до 37,33 мг/шт. У ПСПМ АСЖ увеличилось с 58,00 мг/шт. (конец первой декады июля) до 86,42 мг/шт. (начало третьей декады августа). При этом в середине июля АСЖ снижалось до 46,07 мг/шт.

У ПРПМ АСЖ возрастает с конца второй декады июля до начала августа (10,99→42,78 мг/шт.) В течение первой декады августа наблюдается снижение АСЖ (27,65 мг/шт.). Затем АСЖ снова увеличивается, вплоть до конца августа (27,65–75,98 мг/шт.). Перед вскрытием плода АСЖ опять снижается (56,57 мг/шт.).

Увеличение АСЖ семени у ПСПМ со второй декады июля до конца первой декады августа происходит почти прямолинейно (16,42→51,52 мг/шт.). К середине августа интенсивность увеличения АСЖ слегка уменьшается (54,61 мг/шт.), а к созреванию (начало третьей декады августа) вновь возрастает (84,05 мг/шт.).

У ПРПМ АСЖ ариллуса возрастает с середины июля до начала августа (4,15→16,46 мг/шт.) В течение первой декады августа наблюдается снижение АСЖ (10,44 мг/шт.). Затем АСЖ

Таблица 5. Абсолютное содержание сырого жира в перикарпии, семени и ариллусе *E. macropterus* у ПРПМ, мг/шт.

Время сбора	перикарпий	семя	ариллус
II декада июля	45,59	10,99	4,15
III декада июля	37,33	18,12	6,94
начало августа	58,54	42,78	16,46
I декада августа	40,13	27,65	10,44
II декада августа	57,53	47,63	17,87
III декада августа	44,94	50,72	22,89
конец августа	65,89	75,98	37,67
I декада сентября	72,20	56,57	30,16

Таблица 6. Абсолютное содержание сырого жира в перикарпии, семени и ариллусе *E. macropterus* у ПСПМ, мг/шт.

Время сбора	перикарпий	семя	ариллус
I декада июля	58,00	16,42	8,21
II декада июля	46,07	24,42	12,16
III декада июля	52,06	34,35	16,37
конец июля	58,76	43,16	21,18
I декада августа	51,50	51,52	26,63
II декада августа	52,30	54,61	30,52
III декада августа	86,42	84,05	51,09

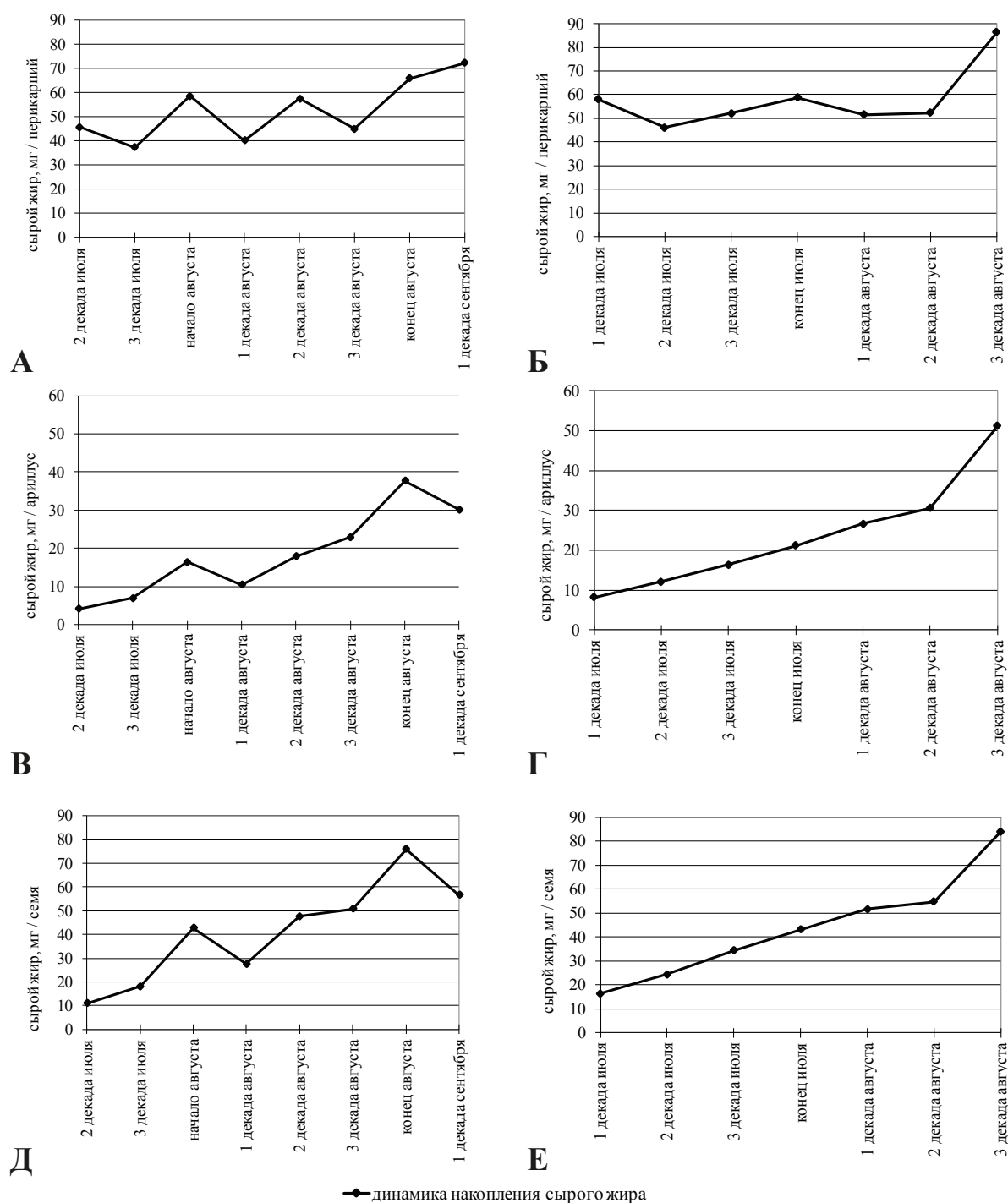


Рис. 3. Динамика абсолютного содержания сырого жира в частях плодов *E. macropterus*: А – перикарпий плодов с растянутым периодом морфогенеза, Б – перикарпий плодов с сокращённым периодом морфогенеза, В – ариллузы плодов с растянутым периодом морфогенеза, Г – ариллузы плодов с сокращённым периодом морфогенеза, Д – семена плодов с растянутым периодом морфогенеза, Е – семена плодов с сокращённым периодом морфогенеза.

Fig. 3. Dynamics of absolute content of crude fat in the fruit parts of *E. macropterus*: А – pericarps of fruits with an extended morphogenesis period, Б – pericarps of fruits with a shortened morphogenesis period, В – arils of fruits with an extended morphogenesis period, Г – arils of fruits with a shortened morphogenesis period, Д – seeds of fruits with an extended morphogenesis period, Е – seeds of fruits with a shortened morphogenesis period.

снова возрастает, вплоть до конца августа (10,44→37,67 мг/шт.). Перед вскрыванием плода АСЖ снижается (30,16 мг/шт.).

Увеличение АСЖ ариллуса у ПСПМ от первой декады июля до середины августа происходит почти прямолинейно (8,21–30,52 мг/шт.). К созреванию (начало третьей декады августа) АСЖ увеличивается более интенсивно (51,09 мг/шт.).

АСЖ в семени превышает АСЖ в ариллусе на всем протяжении развития плода, как у плодов с растянутым периодом морфогенеза, так и с сокращенным.

Накопление АСЖ семени и ариллуса у ПРПМ происходит по сигмоидной кривой. При этом накопление АСЖ семян и ариллусов идет сходным образом в каждом конкретном году, но меняется в зависимости от продолжительности периода морфогенеза плода.

Выводы

1. У *E. macropterus*, в зависимости от погодных условий вегетационного периода, можно выделить 2 стратегии в развитии плодов: растягивание и сокращение периода морфогенеза. В зависимости от стратегии развития, периоды морфогенеза плодов проходят в относительно разные сроки.

2. Наибольшее количество воздушно-сухого вещества в плоде накапливается в перикарпии – около 1200 мг/100 шт. Динамика его накопления в перикарпии описывается ломаной кривой, схожей с сигмоидной, с тремя периодами активного накопления. Динамика накопления воздушно-сухого вещества в семенах и ариллусах плодов с растянутым периодом морфогенеза описывается двойной сигмоидной кривой, у плодов с сокращенным периодом накопление происходит почти линейно. При обеих стратегиях наибольшее содержание воздушно-сухого вещества в семенах приходится на третью декаду августа, а в ариллусах – на вторую декаду августа. Содержание воздушно-сухого вещества в семенах превышает таковое в ариллусах: 180–200 мг/100 шт. против 67–86 мг/100 шт. При этом, накопление воздушно-сухого вещества в семенах и ариллусах идет параллельно при обеих стратегиях.

3. Содержание сырого жира в перикарпии следовое – 4,48–6,87 % от воздушно-сухого вещества. В процессе развития плода оно слегка колеблется без видимых закономерностей. Накопление сырого жира в семенах и ариллусах можно описать сигмоидной кривой. У плодов с растянутым периодом морфогенеза в семенах наиболее быстрое накопление наблюдается с конца второй декады июля до конца августа, в ариллусах – с конца второй декады июля до начала августа. У плодов с сокращенным периодом морфогенеза в семенах – с конца первой декады июля до середины третьей декады июля, в ариллусах – с конца первой декады июля до конца первой декады августа. Затем скорость накопления выходит на «плато» или даже содержание сырого жира снижается. Содержание сырого жира в ариллусе достигает максимального значения на 1–2 недели позже, чем в семени. При этом превышает таковое в семени на всем протяжении развития плода. В зрелом плоде 56–59 % от воздушно-сухого вещества против 41–43 %.

4. В динамике абсолютного содержания сырого жира в перикарпии каких-либо закономерностей не прослеживается. Накопление абсолютного содержания сырого жира в семенах и ариллусах плодов с растянутым периодом морфогенеза происходит по сигмоидной кривой, у плодов с сокращенным периодом морфогенеза – прямолинейно, еще более возрастающая ближе к созреванию. Абсолютное содержание сырого жира в семени превышает таковое в ариллусе на всем протяжении развития плода.

Исследования частично выполнены в рамках государственного задания ГБС РАН по теме «Биологическое разнообразие, ресурсный потенциал и сохранение природной и культурной флоры в условиях климатических и антропогенных изменений», № 126020916823-0.

1. Бандюкова В.А., Сергеева Н.С. Состояние химического изучения растений порядка Celastrales // Растительные ресурсы. 1977. Т. 13, Вып. 3. С. 560–569.

2. Богомаз В.А. Бересклет бородавчатый и бересклет европейский как масличные растения // Труды Института леса АН СССР. 1953. Т. 11. С. 285–291.
3. Букиштынов А.Д. Гуттоносы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1957. 199 с.
4. Верещагин А.Г. Липиды в жизни растений. М.: Наука, 2007. 78 с.
5. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И., Мурри И.К. Методы биохимического исследования растений. М.; Л.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1952. 520 с.
6. Луканов В.А., Макаревич И.Ф., Кисличенко С.Г., Резниченко А.А. Химическое изучение семян *Euonymus czernjaevii* // Химия природных соединений. 1974. N 5. С. 618–620.
7. Моисеенко С.Н. Бересклеты Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 1954. 56 с.
8. Правдин Л.Ф. Очередные задачи научно-исследовательской и опытно-производственной работы по гуттаперченосным бересклетам // Труды Института леса Академии Наук СССР. 1958. Т. 1. С. 5–7.
9. Савинов И.А., Трусов Н.А., Соломонова Е.В., Ноздрина Т.Д. Структура, морфогенез и эволюционные преобразования плодов с крыловидными выростами у представителей семейства Celastraceae R. Br. // Turczaninowia. 2015. Т. 18, N 1. С. 60–66.
10. Сидоров Р.А., Трусов Н.А., Жуков А.В., Пчёлкин В.П., Верещагин А.Г., Цыдендамбаев В.Д. Накопление нейтральных ацилглицеринов в ходе формирования морфолого-анатомической структуры плодов бересклетов // Физиология растений. 2013. Т. 60, N 6. С. 843–855.
11. Созонова Л.И. Закономерности роста сочных масличных плодов в семействах кизилевых и бузиновых в связи с накоплением масла // Физиология и биохимия растений. Нижний Новгород, 1992. С. 48–59.
12. Созонова Л.И. Плод облепихи: закономерности развития и строения в связи с накоплением масла. Нижний Новгород, 1991. 257 с.
13. Созонова Л.И. Сочные масличные плоды. Закономерности развития и строения в связи с накоплением масла: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1992. 36 с.
14. Созонова Л.И. Сочные плоды бузины и свидины, накапливающие масло // Биология, селекция и агротехника облепихи. Горький, 1988. С. 71–83.
15. Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Тюкавина О.Н. Особенности роста и развития плодов бузины красной (*Sambucus racemosa* L.) в условиях Московского региона // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. N 5. С. 20–33.
16. Трусов Н.А. Бересклеты России как перспективные масличные растения // Актуальные проблемы современной биологии. Тезисы Российской студенческой конференции (Астрахань, 20 апреля 2005 г.). Астрахань, 2005. С. 14–16.
17. Шагова Л.И., Буданцев А.Л., Орлова Т.А. Семейство Celastraceae // Растительные ресурсы России: дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae – Apiaceae / отв. ред. А.Л. Буданцев. М.; СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. С. 130–136.
18. Щепотьев Ф.Л. Агротехника и селекция бересклета. Харьков: Харьковское книжное издательство, 1939. 150 с.
19. Biswas A.K., Mandal S.K. Regulation of monocarpic senescence of *Brassica campestris* by developing pods // Physiologia Plantarum. 1987. Vol. 71, N 1. P. 89–94.
20. Carr D.J., Skene K.G.M. Diauxic growth curves of seeds, with special reference to french beans (*Phaseolus vulgaris* L.) // Australian Journal of Biological Sciences. 1961. Vol. 14, N 1. P. 1–12.
21. Farinelli D., Boco M., Tombesi A. Evoluzione della sintesi dell'olio in alcune varietà di olivo // Frutticoltura. 2000. N 10. P. 81–87.
22. Hilditch T.P., Williams P.N. The Chemical Constitution of Natural Fats. London: Chapman & Hall, 1964. 745 p.

23. Kleiman R., Miller R.W., Earle F.R., Wolff I.A. (S)-1,2-Diacyl-3-acetins: optically active triglycerides from *Euonymus verrucosus* seed oil // *Lipids*. 1967. Vol. 2, N 6. P. 473–478.
24. Kumar B.P., Purohit A.G. Studies on Fruit Growth and Development in Pomegranate // *Journal of the Maharashtra Agricultural Universities*. 1989. Vol. 14, N 2. P. 187–189.
25. Li Y.-N., Xie L., Li J.-Y., Zhang Z.-X. Phylogeny of *Euonymus* inferred from molecular and morphological data // *Journal of Systematics and Evolution*. 2014. Vol. 52, N 2. P. 149–160.
26. Milcamps A., Tumaney A.W., Paddock T., Pan D., Ohlrogge J., Pollard M. Isolation of a Gene Encoding a 1,2-Diacylglycerol-*sn*-Acetyl-CoA Acetyltransferase from developing seeds of *Euonymus alatus* // *Journal of Biological Chemistry*. 2005. N 280. P. 5370–5377.
27. Nergiz C., Engez Y. Compositional variation of olive fruit during ripening // *Food Chemistry*. 2002. N 69. P. 55–59.
28. Ognjanov V., Vujanić-Varga D., Mišić P.D., Verešbaranji I., Macet K., Tešović Ž., Krstić M., Petrović N. Anatomical and biochemical studies of fruit development in peach // *Scientia Horticulture*. Vol. 64, N 1–2. P. 33–48.
29. Opara L.U. Fruit growth measurement and analysis // *Horticultural Reviews*. 2000. Vol. 24. P. 373–431.
30. Pate J.S., Sharkey P.J., Atkins C.A. Nutrition of a developing legume fruit: functional economy in terms of carbon, nitrogen, water // *Plant Physiology*. 1977. Vol. 59, N 3. P. 506–510.
31. Pešina K. Vliv arillu a doby výsevu na klíčení semen brslenu evropského (*Euonymus europaea* L.) // *Preslia*. 1957. N 29. S. 186–192.
32. Rallo P., Rapoport H.F. Early growth and development of the olive fruit mesocarp // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2001. Vol. 76, N 4. P. 408–412.
33. Rao M.R.K., Deshmukh R.K. Dry matter distribution during boll development in cotton // *Seed Research*. 1989. Vol. 17, N 1. P. 75–77.
34. Sidorov R.A., Pchelkin V.P., Zhukov A.V., Vereščagin A.G., Tsydendanbaev V.D. Positional-species composition of triacylglycerols from the arils of mature *Euonymus* fruits // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2014. Vol. 91, N 12. P. 2053–2063.
35. Simmons M.P., McKenna M.J., Bacon C.D., Yakobson K., Cappa J.J., Archer R.H., Ford A.J. Phylogeny of Celastraceae tribe *Euonymeae* inferred from morphological characters and nuclear and plastid genes // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2012. Vol. 62. P. 9–20.
36. Singh P., Singh I.S. Physico-chemical Changes During Fruit Development in Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) // *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. 1995. Vol. 29, N 3. P. 252–255.
37. Trusov N.A. Evolution of the arils of *Euonymus* in comparison with some other genera of Celastraceae // *Turczaninowia*. 2023. Vol. 26, N 3. P. 14–27.

Поступила в редакцию: 06.07.2026

UDC 581.471:582.766.5:581.134.3

**PATTERNS OF ACCUMULATION OF CRUDE FAT IN THE FRUITS
OF *EUONYMUS MACROPTERUS* RUPR.**

N.A. Trusov

*Federal State Budgetary Institution for Sciences the Main Botanical Garden
named after N.V. Tsitsin of Russian Academy of Sciences*

Representatives of the genus *Euonymus* L. accumulate fatty oil in their seeds and arils and are of interest as high-oil-bearing plants. Studying fruit formation and the accumulation of dry matter and crude fat is important. The fruits of *E. macropterus* Rupr. have the highest dry matter content in the pericarp. Dry matter accumulation follows a broken curve similar to a sigmoid curve. Dry matter accumulation in seeds and arils occurs in parallel along a double-sigmoid curve or is nearly linear; in arils it is faster but in smaller quantities. The dynamics of crude fat accumulation in arils and seeds are described by a sigmoid curve. The maximum value in arils exceeds that in seeds, but is reached 1–2 weeks later.

Key words: *Euonymus macropterus*, fruit, pericarp, aril, seed, dry matter, oil content

Citation: Trusov N.A. Patterns of accumulation of crude fat in the fruits of *Euonymus macropterus* Rupr. // Industrial Botany. 2026. Vol. 26, N 3. P. 98–109. DOI: 10.5281/zenodo.23499753
