

Состав основных жирных кислот плодовой мякоти и семян сортообразцов облепихи различного экологического происхождения

Зубарев Ю.А.¹, Гунин А.В.¹, Дж. Томас Морсель², Земцова А.Я.¹

¹НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко

²UBF GmbH, Германия

niilisavenko@yandex.ru, thomas.moersel@ubf-research.com, anna-krysova@mail.ru

Аннотация

Исследован состав основных жирных кислот плодовой мякоти и семян сортообразцов облепихи различного экологического происхождения. В составе липидов мякоти плодов облепихи содержание пальмитиновой и пальмитолеиновой кислоты было преобладающим по отношению к другим жирным кислотам. Отличительной особенностью семян облепихи является содержание линолевой и линоленовой кислот и наличие цис-вакценовой кислоты. Наибольшие отличия в жирнокислотном составе липидов мякоти плодов и семян облепихи проявились для Дунайского экотипа.

Введение

Признанным мировым центром по селекции облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) является НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко (г. Барнаул). В настоящее время селекционерами института создано 48 сортов облепихи. Коллекция насчитывает более 700 сортообразцов, в геноме которых присутствуют источники из различных экологических групп, в том числе с берегов рек Катунь, Чулышман, Чуя, из Бурятии и Красноярского края, а также имеются образцы, полученные с помощью химического мутагенеза. Наряду с сортообразцами местной селекции, коллекция представлена рядом инорайонных форм.

Значительное разнообразие генетического материала предопределяет необходимость его систематизации. Несмотря на то, что, согласно общепринятой классификации, все сорта облепихи селекции института относятся к подвиду *Hippophae rhamnoides* ssp. *mongolica*, существуют альтернативные мнения о систематической принадлежности сортообразцов с выделением их в экологические группы, географические формы, экотипы, климатипы и т.д. [1, 2, 3, 4, 5].

Установить наличие генетических различий между группами сортов позволяют известные методы молекулярного анализа, которые дополняют классические подходы, основанные на морфологических и эколого-географических исследованиях и достаточно широко используются на практике. Дополнительным звеном в доказательной идентификации определенной систематической группы может являться специфический биохимический состав отдельных частей растения, в частности плодов и семян.

Как известно, современные методы биохимических анализов позволяют определить не только общее содержание биохимических компонентов, но и их фракционный состав. Изучение фракционного состава позволяет установить содержание химических соединений различной природы и произвести поиск маркерных показателей (либо их комплекса), которые являются более или менее стабильными и зависящими только от генотипа.

Облепиха является одним из тех растений, которые накапливают в плодах значительное количество масла. Несомненный практический интерес в этой связи имеет изучение жирнокислотного состава липидов в качестве хемосистематического признака. Предпосылкой к этому является установленная рядом авторов особенность, что жирнокислотный состав липидов, выделенных из масла мякоти, кожицы и семян плодов облепихи различных подвидов, индивидуален и может использоваться для идентификации образцов облепихи в коллекционных насаждениях [6, 7, 8, 9].

Несмотря на то, что работы по изучению содержания жирных кислот в плодах различных подвидов облепихи, произрастающих по всему миру, проведены в большом объеме, комплексный анализ этого показателя в условиях Алтайского края на достаточно близком с точки зрения видовой принадлежности, но существенно различающимся по экологическому происхождению сортообразцах, не проводился. В связи с этим целью нашей работы является анализ состава основных жирных кислот

плодовой мякоти и семян сортообразцов облепихи различного экологического происхождения, и возможности использования этого показателя для уточнения наличия либо отсутствия систематических групп внутри подвида *H. rhamnoides ssp. mongolica*.

Материалы, методы и объекты исследования

В качестве объектов исследования выбраны плоды сортообразцов облепихи различного эколого-географического происхождения.

В пределах подвида *H. rhamnoides ssp. mongolica*:

42-68-2, Живко	Красноярская-22 х саянский экотип;
Великан, Янтарная	Щербинки-1 х катунский экотип;
Дар Катуня, Новость Алтая	катунский экотип;
Чуйская	чуйский экотип;
Чулышманка, Любимая	Щербинки-1хчулышманский экотип;
Заря Дабат	бурятский экотип;
Елизавета, Иня	сорта, полученные с помощью химического мутагенеза.

Из подвидов, отличных от *H. rhamnoides ssp. mongolica*:

Ютландская	ютландский экотип;
КП-686	киргизский экотип;
Дунайская	дунайский экотип;

Для определения жирнокислотного состава использовали мякоть и семена плодов облепихи. Плоды отбирали в 2014 году в три срока (14 августа, 28 августа, 9 сентября). В обсуждении представлены средние значения показателей за три срока. Определение жирнокислотного состава проводили по методикам, используемым в странах Евросоюза [10, 11].

Определение жирных кислот проводили на газовом хроматографе Shimadzu GC-14 A, оснащенном пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой SP 2380 0,25 мм x 30 м с использованием в качестве неподвижной фазы силикагель (0,25 мкм). Анализ проводили при скорости потока гелия 20 см³/с, температуре колонки 75°C, инжектора и детектора – 250°C. Жирные кислоты идентифицировали по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (Supelco 37 Component FAME Mix. Lot Nummer XA10868V) и оценивали в процентах от их общего содержания.

Результаты и обсуждение

Полученные хроматограммы имели вид, представленный на рисунке 1, где в качестве примера приведены результаты газохроматографического разделения липидов мякоти плодов и семян для сорта облепихи Заря Дабат. Нами были определены следующие жирные кислоты: С 16:0 (пальмитиновая), С 16:1 (пальмитолеиновая), С 18:0 (стеариновая), С 18:1 (олеиновая), С 18:1-п7 (цис-вакценовая), С 18:2 (линолевая), С 18:3 (линоленовая).

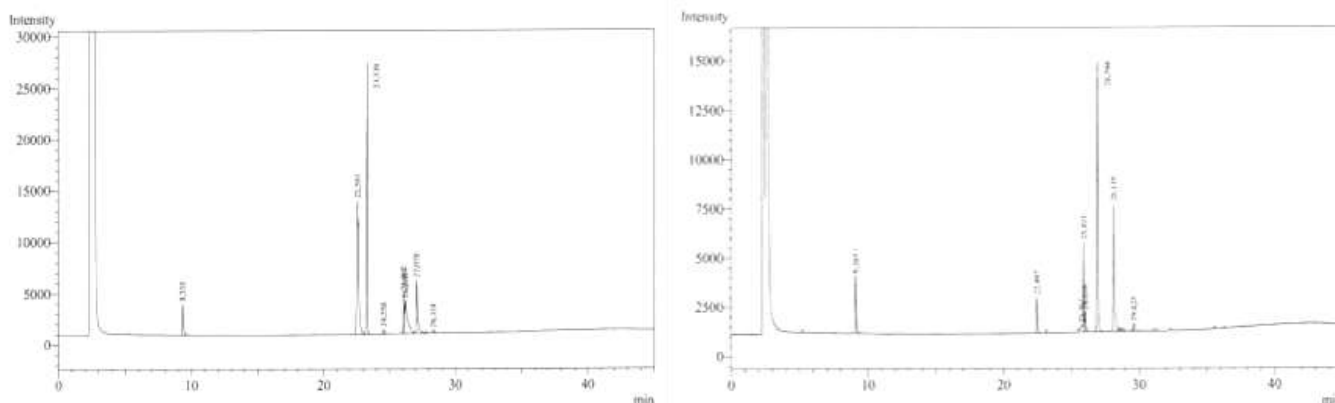


Рисунок 1. Хроматограмма разделения жирных кислот в мякоти (слева) и семени (справа) облепихи сорта Заря Дабат

Содержание пальмитиновой кислоты (16:0) в мякоти плодов облепихи варьировало по сортам от 18,74 до 42,08%. Максимальное количество этой кислоты наблюдалось в мякоти плодов облепихи сорта Чуйская, минимальное в сортах Елизавета (23,25%) и Иня (18,74%) (таблица 1).

Таблица 1 – Состав основных жирных кислот липидов мякоти плодов облепихи

Сорт, гибрид	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3
42-68-2	30,06±0,64	44,08±1,40	2,71±0,13	10,89±1,98	11,66±0,39	0,61±0,11
Великан	35,62±1,24	41,03±1,67	3,03±0,19	10,25±0,01	9,09±0,64	1,00±0,01
Дар Катуни	34,35±0,43	41,27±0,14	3,28±0,11	11,48±0,26	9,00±0,25	0,62±0,01
Дунайская	34,88	20,44	17,49	23,01	4,18	0,00
Елизавета	23,25±1,74	55,80±6,45	2,82±0,41	7,93±3,54	10,21±3,25	0,00
Живко	33,82±1,56	35,57±1,16	4,56±0,49	12,88±0,55	12,52±0,50	0,65±0,06
Заря Дабат	34,12±0,62	37,02±1,32	4,89±0,26	12,29±0,25	10,94±0,42	0,73±0,01
Иня	18,74±0,52	62,42±1,97	1,90±0,33	5,27±3,08	11,67±1,60	0,00
КП - 686	29,74±0,12	40,01±0,35	4,50±0,61	13,44±0,07	11,87±0,10	0,44±0,31
Любимая	36,78±0,76	41,58±1,29	5,88±1,54	10,53±1,17	4,92±1,00	0,93±0,31
Новость Алтая	31,84±0,45	43,77±0,54	1,70±0,13	10,71±0,07	10,87±0,07	1,11±0,02
Чуйская	42,08±2,32	35,33±3,23	2,69±0,46	7,68±0,79	12,21±1,25	0,00
Чулышманка	34,74±1,05	39,18±0,88	2,33±0,24	10,35±0,37	12,48±0,18	0,92±0,05
Ютландская	32,99±0,34	35,98±1,04	12,07±2,50	14,21±2,19	3,91±0,34	0,86±0,06
Янтарная	34,69±0,38	46,03±0,59	2,47±0,37	8,20±0,39	7,67±0,51	0,95±0,04
X ± m	32,51±1,43	41,30±2,44	4,82±1,12	11,27±1,04	9,55±0,78	0,59±0,10
min-max	18,74-42,08	20,44-62,42	1,70-17,49	5,27-23,01	3,91-12,52	0,00-1,11
V, %	17,09	22,87	89,91	35,73	31,81	68,97

В семени содержание пальмитиновой кислоты было в основном невысоким во всех образцах (6,51-11,78%). Сортообразцы Дунайская и Чулышманка отличились более высоким ее содержанием (11,78 и 11,19 % соответственно) (таблица 2).

В семенах также наблюдалось низкое содержание пальмитолеиновой кислоты (16:1), не превышающее 2,09%. У сортов Дунайская, Новость Алтая и Янтарная было отмечено отсутствие этой жирной кислоты. В то же время, в плодовой мякоти пальмитолеиновая кислота, наряду с пальмитиновой, была преобладающей и ее содержание значительно варьировало – в пределах от 20,44 до 62,42%. Максимальное содержание пальмитолеиновой кислоты отмечено у сортов, полученных с помощью химического мутагенеза Иня (62,42%) и Елизавета (55,80%), минимальное у сорта Дунайская (20,44%).

Содержание стеариновой кислоты (18:0) в мякоти плодов облепихи изменялось по сортам от 1,70% (Новость Алтая) до 17,49% (Дунайская). В целом образцы Дунайского и Ютландского экотипов отличались повышенным содержанием этой кислоты. В липидах семени стеариновая кислота отсутствовала в сортообразце Дунайская. В сортообразцах Великан, Елизавета, Иня, Живко, Любимая, Новость Алтая, Чуйская, Ютландская содержание этой насыщенной кислоты было ниже среднего значения (<2,21%). Семена сорта Чулышманка отличились высоким содержанием стеариновой кислоты (7,51%).

Высоким содержанием олеиновой кислоты (18:1) в липидах мякоти и семени плодов облепихи был выделен образец Дунайская (23,01 и 25,82% соответственно). Также по содержанию этой кислоты в семени выделился сортообразец 42-68-2 (21,96%) и сорт Чуйская (21,82%). В липидах мякоти плодов низким содержанием олеиновой кислоты характеризовались сорта Иня, Чуйская, Елизавета и Янтарная (5,27, 7,68, 7,93 и 8,20% соответственно).

Отличительной особенностью семян облепихи является высокое содержание линолевой (18:2) и линоленовой (18:3) кислот и наличие цис-вакценовой кислоты (18:1n-7). Содержание линолевой и линоленовой кислот в семени изменялось незначительно – от 34,20 % (Чулышманка) до 46,01 % (Дар Катуни) и от 24,71 % (Дунайская) до 33,20 % (КП-686) соответственно.

Таблица 2 – Состав основных жирных кислот липидов семени облепихи

Сорт, гибрид	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:1-n7	C 18:2	C 18:3
42-68-2	6,63±0,18	0,40±0,20	2,24±0,28	21,96±2,79	2,05±0,68	39,56±0,84	28,52±2,27
Великан	7,33±0,35	0,37±0,06	1,92±0,19	13,47±0,18	1,80±0,01	41,96±1,52	33,16±1,54
Дар Катуни	7,94±0,85	1,31±0,97	2,30±0,21	13,49±0,34	3,08±0,87	46,01±1,82	25,88±0,49
Дунайская	11,78	0,00	0,00	25,82	0,00	37,69	24,71
Елизавета	6,89±0,07	0,49±0,08	1,88±0,06	18,06±1,96	2,02±0,15	39,69±1,38	30,96±1,14
Живко	8,00±0,23	0,88±0,69	1,78±0,27	13,86±0,32	2,84±0,62	43,31±0,74	29,34±1,38
Заря Дабат	7,02±0,10	0,24±0,08	2,91±0,46	15,31±1,83	1,90±1,23	44,48±0,86	28,29±1,37
Иня	7,18±0,23	0,31±0,10	2,04±0,68	16,61±0,50	4,27±0,63	40,07±0,29	31,08±0,80
КП - 686	8,65±0,24	2,09±1,05	2,60±0,01	13,57±1,48	2,45±1,23	39,72±1,11	33,20±0,07
Любимая	6,51±0,29	0,36±0,12	1,56±0,26	16,93±1,43	1,12±0,56	40,77±2,80	33,00±1,07
Новость Алтая	6,93±0,29	0,00	0,94±0,47	13,31±0,39	4,37±0,35	45,46±1,02	28,97±1,43
Чуйская	7,86±1,55	1,10±0,32	1,50±0,25	21,82±4,51	1,34±0,67	39,05±3,54	27,33±0,98
Чулышманка	11,19±4,11	0,37±0,19	7,51±4,75	19,42±2,67	2,28±1,31	34,20±6,78	25,04±3,71
Ютландская	7,11±0,06	0,56±0,14	1,59±0,12	18,55±1,13	2,42±0,54	36,89±1,63	32,90±2,27
Янтарная	7,18±0,18	0,00	2,32±0,11	17,01±3,66	4,12±0,22	39,68±3,44	29,70±0,07
X ± m	7,88±0,41	0,57±0,15	2,21±0,42	17,28±0,97	2,40±0,31	40,57±0,84	29,47±0,75
min-max	6,51-11,78	0,00-2,09	0,00-7,51	13,31-25,82	0,00-4,37	34,20-46,01	24,71-33,20
V, %	19,98	100,77	73,63	21,71	50,23	7,98	9,89

Низким содержанием линолевой кислоты в мякоти плодов отличались сортообразцы Ютландская (3,91%), Дунайская (4,18%) и Любимая (4,92%). Высокое содержание этой кислоты отмечено у образцов Живко, 42-68-2, Чуйская, Чулышманка, КП-686, Иня, Елизавета, Заря Дабат (10,21-12,52%).

В липидах плодовой мякоти облепихи наблюдалось низкое содержание линоленовой кислоты (18:3), которое не превышало 1,11%. Ее наличие не было зафиксировано в сортообразцах Елизавета, Иня, Дунайская и Чуйская. Относительно высоким уровнем содержания линоленовой кислоты отличались образцы Ютландская, Чулышманка, Любимая, Янтарная, Великан, Новость Алтая (от 0,86 до 1,11%).

Содержание цис-вакценовой кислоты (18:1n-7) в семени облепихи варьировало от полного отсутствия (Дунайская) до 4,37% (Новость Алтая). Высокое содержание цис-вакценовой кислоты установлено в сортах Дар Катуни, Янтарная, Иня, Новость Алтая (от 3,08 до 4,37%).

Переходя к анализу жирнокислотного состава в разрезе экотипов, можно отметить значительные отличия в липидах мякоти облепихи Дунайского экотипа, которые выражались в низком содержании пальмитолеиновой и линолевой кислот, повышенном содержании стеариновой и олеиновой кислот и отсутствии линоленовой кислоты. Отличия липидов мякоти плодов облепихи сортов, полученных с помощью химического мутагенеза, выражались в повышенном содержании пальмитолеиновой кислоты и пониженном содержании пальмитиновой и олеиновой кислот в сравнении с другими образцами. Ютландский экотип характеризуется сравнительно высоким, относительно других экотипов, содержанием стеариновой и олеиновой кислот и пониженным содержанием линолевой кислоты в липидах мякоти плодов облепихи (таблица 3).

Таблица 3 – Жирнокислотный состав мякоти плодов облепихи разных экотипов

Экотипы	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3
Бурятский	34,12±0,62	37,02±1,32	4,89±0,26	12,29±0,25	10,94±0,42	0,73±0,01
Дунайский	34,88	20,44	17,49	23,01	4,18	0,00
Катунский	33,10±1,26	42,52±1,25	2,49±0,79	11,09±0,38	9,94±0,94	0,87±0,25
Киргизский	29,74±0,12	40,01±0,35	4,50±0,61	13,44±0,07	11,87±0,10	0,44±0,31
Красноярская-22 х саянский	31,94±1,88	39,82±4,25	3,63±0,93	11,88±1,00	12,09±0,43	0,63±0,02
Мутагены	21,00±2,26	59,11±3,31	2,36±0,46	6,60±1,33	10,94±0,73	0,00
Чуйский	42,08±2,32	35,33±3,23	2,69±0,46	7,68±0,79	12,21±1,25	0,00
Щербинка-1 х катунский	35,15±0,46	43,53±2,50	2,75±0,28	9,23±1,03	8,38±0,71	0,97±0,03
Щербинка-1 х чулышманский	35,76±1,02	40,38±1,20	4,11±1,78	10,44±0,09	8,70±3,78	0,92±0,01
Ютландский	32,99±0,34	35,98±1,04	12,07±2,50	14,21±2,19	3,91±0,34	0,86±0,06
X ± m	33,08±1,68	39,41±3,00	5,70±1,59	11,99±1,44	9,32±0,97	0,54±0,13
min-max	21,00-42,08	20,44-59,11	2,36-17,49	6,60-23,01	3,91-12,21	0,00-0,97
V, %	16,10	24,07	88,29	38,03	33,02	74,56

Наибольшие отличия в жирнокислотном составе липидов семян облепихи проявились для Дунайского экотипа, что выражалось в повышенном уровне накопления пальмитиновой и олеиновой кислот, низким уровнем линоленовой кислоты и отсутствием пальмитолеиновой, стеариновой и цис-вакценовой кислот (таблица 4).

Таблица 4 – Жирнокислотный состав семян облепихи разных экотипов

Экотипы	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:1-n7	C 18:2	C 18:3
Бурятский	7,02±0,10	0,24±0,08	2,91±0,46	15,31 ± 1,83	1,90±1,23	44,48±0,86	28,29±1,37
Дунайский	11,78	0,00	0,00	25,82	0,00	37,69	24,71
Катунский	7,44±0,50	0,66±0,66	1,62±0,68	13,40±0,09	3,72±0,65	45,74±0,28	27,43±1,55
Киргизский	8,65±0,24	2,09±1,05	2,60±0,01	13,57±1,48	2,45±1,23	39,72±1,11	33,20±0,07
Красноярская-22 х саянский	7,31±0,68	0,64±0,24	2,01±0,23	17,91±4,05	2,45±0,40	41,44±1,88	28,93±0,41
Мутагены	7,04±0,14	0,40±0,09	1,96±0,08	17,34± 0,72	3,15±1,13	39,88±0,19	31,02±0,06
Чуйский	7,86±1,55	1,10±0,32	1,50±0,25	21,82±4,51	1,34±0,67	39,05±3,54	27,33±0,98
Щербинка-1 х катунский	7,26±0,08	0,19±0,19	2,12±0,20	15,24±1,77	2,96±1,16	40,82±1,14	31,43±1,73
Щербинка-1 х чулышманский	8,85±2,34	0,37±0,01	4,53±2,97	18,17±1,25	1,70±0,58	37,49±3,28	29,02±3,98
Ютландский	7,11±0,06	0,56±0,14	1,59±0,12	18,55±1,13	2,42±0,54	36,89±1,63	32,90±2,27
X ± m	8,03±0,47	0,62±0,19	2,08±0,37	17,71±1,21	2,21±0,33	40,32±0,93	29,42±0,85
min-max	7,02-11,78	0,00-2,09	0,00-4,53	13,40-25,82	0,00-3,72	36,89-5,74	24,71-3,20
V, %	18,31	96,08	55,65	21,57	47,44	7,26	9,15

Степень варьирования линолевой и линоленовой кислот липидов семян невелика (коэффициент вариации 7,26 и 9,15 % соответственно) и не может являться достоверным критерием при идентификации генотипической принадлежности.

Закключение

Установлен качественный состав жирных кислот липидов, выделенных из мякоти и семян плодов облепихи различных сортов и экотипов. Существенные различия по содержанию большинства жирных кислот установлены между отдаленными подвидами (*H. rhamnoides sbsp. mongolica* и подвидами из

группы ютландский, дунайский экотип). Внутри подвида *tungolica* существенные отличия отмечены лишь в группе мутагенов (пониженное содержание в мякоти плодов пальмитиновой и повышенное паль-митолеиновой кислот), в то время как между другими экотипами не просматривается достоверных различий. Таким образом при предварительной идентификации систематических групп внутри подвида *tungolica* использование качественного состава жирных кислот не может являться критерием достоверности.

Библиографический список

1. Гатин Ж.И. Облепиха. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 159 с.
2. Елисеев И.П. Некоторые соображения о систематике рода *Hippophae* L. // Плодоваягодные культуры. – Горький, 1974. – Т.77. – С. 60-71.
3. Пантелеева Е.И. Облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides* L.): монография / РАСХН. Сиб. отделение. НИИСС. – Барнаул, 2006. – 249 с.
4. Созонова Л.И., Конарев А.В., Елисеев И.П. Иммунохимический анализ белков семян лоховых в связи с систематикой семейства // Биохимические аспекты интродукции, селекции и агротехники облепих. – Горький, 1985. – С. 31-35.
5. Трофимов Т.Т. Облепиха в культуре. – М., 1967. – 69 с.
6. Гаранович И.М. Идентификация сортовой принадлежности облепихи на основании данных жирнокислотного анализа плодов // Труды Белорусского государственного университета: научный журнал. – 2006. – Т.1, Часть 1.
7. Baoru Yang, Heikki Kallio. Lipophilic components of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seeds and berries. // Seabuckthorn (*Hippophae* L.): A Multipurpose Wonder Plant, Vol. 2 (v. Singh, Editor-in-Chief., 2005), p. 70-97, Daya Publishing House, New Delhi, India
8. Lu Rongsen. Biochemical characteristics of Seabuckthorn (*Hippophae* L.) // Seabuckthorn (*Hippophae* L.): A Multipurpose Wonder Plant, Vol. 2 (V. Singh, Editor-in-Chief., 2005), p. 98-107, Daya Publishing House, New Delhi, India
9. Tahira Fatima, Crystal L. Snyder, William R. Schraeder, Dustin Cram, Raju Datla, David Wishart, Randall J. Weselake, Priti Krishna. Fatty acid composition of developing sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry and the transcriptome of the mature seed // PLOS ONE. – 2012. – 7(4).
10. Fettsauremethylester (TMSH-Method) DGF-Einheitsmethoden C - VI 11e, 1998.
11. Analyse von fetten mittels GC als FSME AOCS Methode Ce 1-62, 1981.