

Генетика и селекция

УДК 633.812:631.527.5:581.192:577.13:665.53

doi: 10.15389/agrobiologia.2018.3.547rus

МЕЖВИДОВАЯ ГИБРИДИЗАЦИЯ В СЕЛЕКЦИИ (*Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel.) НА КАЧЕСТВО ЭФИРНОГО МАСЛА***В.Д. РАБОТЯГОВ, А.Е. ПАЛИЙ, Ю.С. ХОХЛОВ**

Лавандины (*Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel.) — стерильные межвидовые гибриды *Lavandula angustifolia* Mill. × *L. latifolia* Medic. представляют большой интерес для эфиромасличной промышленности. Они превосходят используемые сорта лаванды по урожайности растительного сырья и выходу эфирного масла в 1,5-2,0 раза, а по сбору эфирного масла с единицы площади — в 4 раза. Мировое производство лавандинового масла составляет 1200 тыс. т, тогда как лавандового — 200 тыс. т. Однако у лавандина по сравнению с лавандой качество эфирного масла ниже вследствие присутствия значительных количеств камфары, 1,8-цинеола и борнеола, кроме того, дальнейшее вовлечение лавандина в селекцию невозможно из-за стерильности растений. Основная задача в селекции лавандина — улучшение качества за счет снижения содержания нежелательных компонентов в сырье до минимума. С целью создания лавандина с высоким качеством эфирного масла мы впервые экспериментально синтезировали тетраплоидные формы *L. angustifolia* и *L. latifolia* и выполнили скрещивания между ними. В результате была преодолена стерильность F₁ и выделены фертильные амфидиплоиды для дальнейшего использования при получении новых высокопродуктивных гибридов. Скрещивание Амфидиплоида № 48 с сортами лаванды (Белянка, Рекорд, Прима) позволило выделить комбинации и создать на их основе лавандины с минимальным количеством камфары, борнеола и 1,8-цинеола. Как оказалось, гибриды по этим признакам часто занимают промежуточное положение относительно родительских форм, поэтому при подборе родительских пар следует использовать исходные формы с высоким содержанием линалилацетата, линалоола и низким — нежелательных компонентов. В комбинации Амфидиплоид № 48 × Белянка получили лавандины с высоким (до 68,8 %) содержанием линалоола. Часть гибридов имела содержание борнеола (до 0,5 %), камфары (1,9 %) и 1,8-цинеола (до 1,8 %), приближающееся к таковому у родительских форм. При скрещивании Амфидиплоид № 48 × сорт Прима выделились гибриды с высоким содержанием линалоола (до 57,9 %) и линалилацетата (до 32,8 %) и низким — камфары (до 0,2 %), борнеола (до 1,6 %) и 1,8-цинеола (до 0,9 %). Результаты исследований показывают, что в случае с борнеолом имеется возможность получить лавандины с содержанием ниже, чем у исходных форм. Депрессия по накоплению 1,8-цинеола и камфары не выходит за пределы промежуточного типа наследования. Можно предположить, что предельно низким содержанием 1,8-цинеола и камфары служит его величина у отбираемых для селекции хемотипов лаванды узколистной. Гибридные растения (*L.* × *intermedia*) могут лишь приближаться к *L. angustifolia* по этим признакам. Приведенные данные свидетельствуют, что лучшие лавандины по составу эфирного масла получены при скрещивании наиболее близкородственных с биологической точки зрения хемотипов с доминантными аллелями генов линалоола и линалилацетата и рецессивными — камфары и 1,8-цинеола у *L. angustifolia*, что возможно при создании лавандинов с двумя геномами *L. angustifolia* и одним *L. latifolia*.

Ключевые слова: аллотриплоид, *Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel., лавандин, гибрид, эфирное масло, компонентный состав.

Селекция лавандина (*Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel.), перспективного для эфирномасличного производства, связана с получением межвидовых гибридов F₁ на диплоидном уровне от скрещивания лаванды узколистной (*L. angustifolia* Mill.) с лавандой широколистной (*L. latifolia* Medic.). Полученные при этом гибриды характеризуются гетерозисом по содержанию эфирного масла и урожайности (1-3), чем и обусловлен интерес к ним. Однако качество эфирного масла лавандинов ниже, чем у лаванды, из-за наличия отрицательно влияющих на него компонентов — цинеола, борнеола, камфары, наследуемых от лаванды широколистной (4-7). Известны работы, посвященные более подробной характеристике состава эфирного масла межвидовых гибридов (8, 9).

Основная задача в селекции лавандина (наряду с увеличением ва-

* Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ (№ 14-5000079).

лового сбора эфирного масла с 1 га) — снижение количества нежелательных компонентов в сырье (10-12). Однако теоретического обоснования по подбору родительских пар отсутствует, что затрудняет целенаправленное получение гибридов с заданными свойствами у этой культуры. По нашему мнению, перспективным подходом может быть создание гибридных генотипов посредством межвидовой гибридизации с привлечением индуцированных полиплоидных форм (13-17). При этом требуется предварительное изучение закономерностей наследования признаков в подобных комбинациях скрещивания.

В настоящем сообщении нами впервые предложены теоретические подходы к подбору родительских пар для скрещивания лавандинов при селекции на улучшение состава эфирного масла. Представлены результаты получения индуцированных амфидиплоидных форм *L. × intermedia*, гибридного потомства на их основе и проанализирован характер наследования целевых признаков.

Целью исследования был выбор родительских форм, разработка схемы скрещиваний лавандина при селекции на качество и сравнение проявления целевых признаков у полученных гибридных генотипов и их родителей.

Методика. Исходными родительскими формами лаванды узколистной служили следующие сорта: Беянка — линалоольного типа с общим содержанием линалоола и линалилацетата около 80 % и преобладанием линалоола (до 67 %), Прима — линалилацетатно-линалоольного типа с общим содержанием этих компонентов около 80 % и преобладанием линалилацетата (до 50 %), Рекорд — с примерно равным содержанием линалоола и линалилацетата, составляющими суммарно 70 % эфирного масла. Для этих сортов лаванды характерно сравнительно низкое содержание камфары (не более 1,9 %), борнеола (не более 3,5 %) и цинеола (не более 0,3 %). Амфидиплоид № 48 был получен колхицинированием стерильного лавандина F₁ и относится к линалоольному типу с высоким содержанием линалоола (до 62,5 %), средним — линалилацетата (до 12,9 %), камфары (10,6 %), цинеола (3,4 %) и борнеола (5,8 %).

В исследованиях использовали следующие комбинации скрещивания: Амфидиплоид № 48 × Беянка, Амфидиплоид № 48 × Рекорд, Амфидиплоид № 48 × Прима (Амфидиплоид № 48 послужил материнской формой). Гибриды и исходные формы выращивали в одинаковых условиях на коллекционных участках Никитского ботанического сада (Крым). В статье приведены средние данные за 2015-2017 годы.

Цитологический анализ гибридов проводили по методике З.П. Паушевой (18), используя микроскоп Jenamed («Carl Zeiss Jena GmbH», Германия, увеличения ×900).

Массовую долю эфирного масла определяли по Гинзбергу (Государственная фармакопея СССР. М., 1987) методом гидродистилляции из свежесобранного сырья. Время отгонки эфирного масла — 1 ч, повторность опытов 3-кратная. Компонентный состав эфирного масла исследовали на газовом хроматографе 6890N («Agilent Technology, Inc.», США) с масс-спектрометрическим детектором 5973N. Колонка HP-1 длиной 30 м, внутренний диаметр — 0,25 мм. Температура термостата программировалась от 50 до 250 °С со скоростью изменения 4 °С/мин. Температура инжектора — 250 °С, газ-носитель гелий, скорость потока 1 см³/мин. Температура переходной линии от газового хроматографа к детектору 230 °С, температура источника ионов — 200 °С. Электронную ионизацию проводили при 70 eV при m/z от 29 до 450 (19). Компоненты

эфирного масла идентифицировали по результатам сравнения с данными библиотеки масс-спектров NIST 05 (<http://nistmassspeclibrary.com/>) и WILEY2007 (<http://www.sisweb.com/software/ms/wiley.htm>) (всего около 500000 масс-спектров).

Для статистической обработки полученных данных использовали программное приложение STATISTICA v.6.0 («StatSoft Inc.», США). Рассчитывали средние (M) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$). Достоверность различий между вариантами оценивали по среднему арифметическому и коэффициенту вариации при $P < 0,05$.

Результаты. Исходные родительские формы имели разные хемотипы. От скрещивания Амфидиплоида № 48 с диплоидом лаванды узколистной получили гибридные генотипы, которые имеют соматическое число

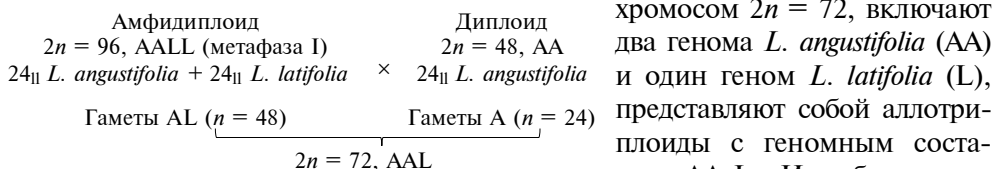
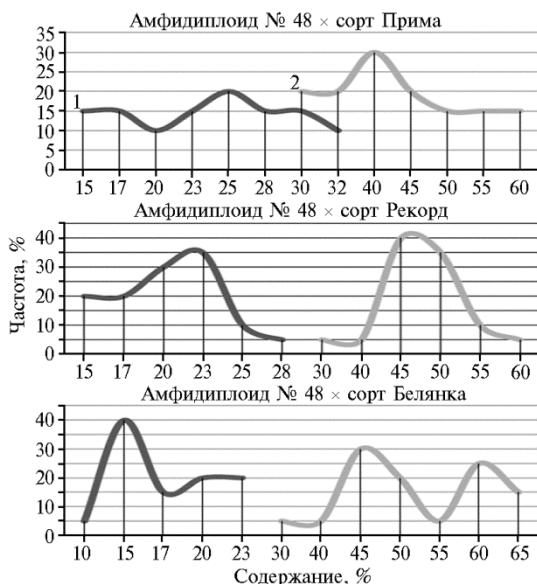


Рис. 1. Комбинация скрещивания амфидиплоида (лавандина) с диплоидами лаванды *Lavandula* sp., использованная при гибридизации для селекции лавандина.

хромосом $2n = 72$, включают два генома *L. angustifolia* (AA) и один геном *L. latifolia* (L), представляют собой аллотриплоиды с геномным составом AA-L. Их образование можно представить следующим образом (рис. 1).

Цитологическое изучение гибридов F_1 показало, что все они стерильны и имеют число хромосом $2n = 72$, то есть в их образовании участвовали сбалансированные 24-хромосомные гаметы лаванды узколистной и 48-хромосомные Амфидиплоида № 48. Проведенное исследование подтвердило гибридную природу полученных от скрещивания растений и показало, что это аллотриплоиды. Таким образом, изученные гибриды (всего 96 генотипов) не различались по числу хромосом, что исключает влияние указанного фактора на содержание и состав эфирного масла.

Рис. 2. Распределение межвидовых гибридов F_1 лаванды (*Lavandula angustifolia* + *L. latifolia*) \times *L. angustifolia* по содержанию линалиацетата (1) и линалоола (2) в разных комбинациях скрещиваний.



У гибридов во всех вариантах скрещиваний наблюдали значительное увеличение варьирования по содержанию эфирного масла (13, 20). Основная часть гибридов наследовала этот признак по промежуточному типу с приближением средних значений по выборке к высокомасличным формам независимо от типа скрещивания. Уклонение гибридов к высоко-

масличной форме наблюдали при использовании сорта Рекорд в качестве отцовского компонента. Таким образом, содержание эфирного масла наследуется в направлении форм с большим проявлением этого признака при определенном влиянии отцовской формы (20).

При анализе закономерностей изменчивости и наследования состава эфирного масла (рис. 2-4) мы рассматривали только его основные компоненты — линалоол и линалилацетат (см. рис. 2), а также соединения, снижающие его качество, — цинеол, камфара и борнеол (см. рис. 3).

При скрещивании Амфидиплоида № 48 и сортов лаванды узколистной Рекорд и Прима, использованных в качестве опылителей, накопление линалоола у гибридов оказалось примерно одинаковым. По содержанию линалилацетата для всех гибридов был характерен промежуточный тип наследования, причем средние показатели смещались в сторону материнской формы.

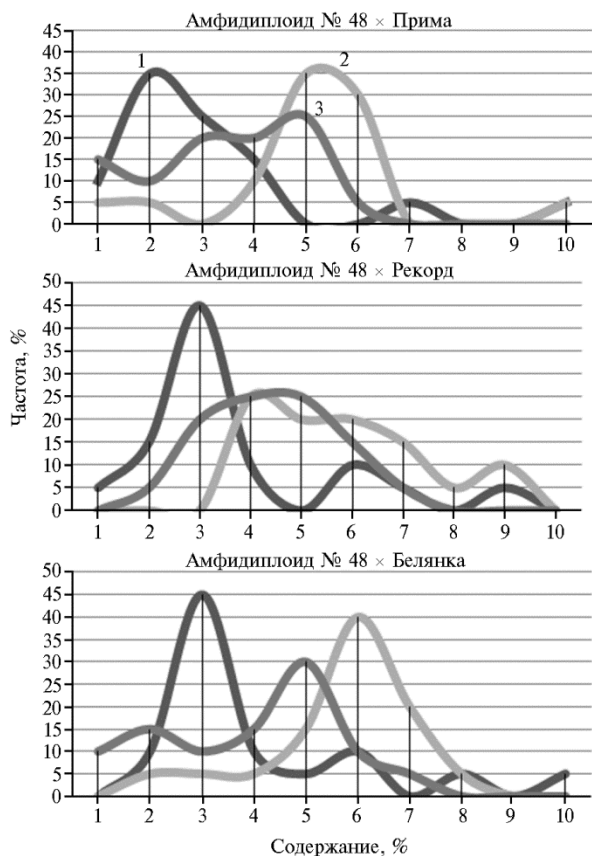


Рис. 3. Распределение межвидовых гибридов F₁ лаванды (*Lavandula angustifolia* + *L. latifolia*) × *L. angustifolia* по содержанию терпенов — 1,8-цинеола (1), камфары (2) и борнеола (3) в разных комбинациях скрещиваний.

Наследование нежелательных компонентов характеризовалось более выраженным промежуточным типом. Лишь небольшая доля растений имела содержание борнеола, цинеола и камфары ниже, чем родительские формы, но величина депрессии была весьма незначительной — 3%. Эти растения выявили в комбинации скрещивания с использованием лаванды узколистной сорта Белянка в качестве отцовской формы (табл. 1).

В целом наследование рассматриваемых компонентов в использованных

вариантах скрещивания носило преимущественно промежуточный характер с отклонением в сторону материнской линии и проявлением по ней гетерозисного эффекта в отношении содержания линалоола.

1. Варьирование содержания основных компонентов эфирного масла у межвидовых гибридов F₁ лаванды ♀ (*Lavandula angustifolia* + *L. latifolia*) × ♂ *L. angustifolia*, полученных с участием сорта Белянка, в сравнении с родительскими формами (M±SEM, n = 32, Никитский ботанический сад, 2015-2017 годы)

Компонент	Содержание, %	♂ Сорт Белянка	♀ Амфидиплоид № 48	F ₁
Линалоол	Среднее	63,7±1,7	60,3±2,1	54,6±1,8
	Пределы варьирования	60,1-64,3	57,5-62,5	51,5-68,8
	Сv, %	4,5±0,5	6,8±0,9	15,1±1,4
Линилилацетат	Среднее	13,9±0,7	9,4±0,9	10,4±0,8
	Пределы варьирования	9,8-15,4	7,5-12,9	9,7-16,2
	Сv, %	11,5±0,8	6,7±0,5	22,8±2,9
Цинеол	Среднее	2,7±0,2	3,4±0,3	3,6±0,5
	Пределы варьирования	2,1-2,9	3,1-5,2	1,8-9,6
	Сv, %	2,2±0,1	6,5±0,4	57,2±4,9

Борнеол	Среднее	1,8±0,3	5,8±0,3	3,6±0,4
	Пределы варьирования	1,6-2,1	4,7-7,2	0,5-6,8
	Cv, %	6,5±0,4	9,2±0,3	49,1±5,6
Камфара	Среднее	2,1±0,1	10,6±0,9	5,3±0,3
	Пределы варьирования	1,6-2,3	9,8-12,0	1,9-7,2
	Cv, %	7,5±0,2	8,7±0,8	26,8±2,1

Примечание. Cv — коэффициент вариации при P < 0,05.

Скрещивание использованных хемотипов не дало гибридов с высоким качеством эфирного масла. Лишь в гибридном потомстве Амфидиплоид № 48 × сорт Прима часть растений по содержанию линалилацетата немного превосходила взятый в качестве стандарта основной промышленный сорт лаванды Рекорд (табл. 2). При использовании в качестве отцовских форм сортов Рекорд, Прима и Беянка у гибридных растений наблюдалось широкое варьирование по содержанию линалоола (36,7-68,8 %).

2. Варьирование содержания основных компонентов эфирного масла у межвидовых гибридов F₁ лаванды ♀(*Lavandula angustifolia* + *L. latifolia*) × ♂ *L. angustifolia*, полученных с участием сорта Рекорд (стандарт), в сравнении с родительскими формами (M±SEM, n = 32, Никитский ботанический сад, 2015-2017 годы)

Компонент	Содержание, %	♂ Сорт Рекорд	♀ Амфидиплоид № 48	F ₁
Линалоол	Среднее	40,5±0,4	60,3±2,1	46,3±1,1
	Пределы варьирования	39,0-42,0	57,5-62,5	39,8-58,2
	Cv, %	8,2±0,7	6,8±0,9	10,4±0,8
Линалилацетат	Среднее	32,2±0,2	9,4±0,9	19,7±0,7
	Пределы варьирования	30,0-34,0	7,5-12,9	15,3-28,6
	Cv, %	5,5±0,3	6,7±0,5	15,8±1,1
Цинеол	Среднее	0,2±0,1	3,4±0,3	3,1±0,4
	Пределы варьирования	0,1-0,4	3,1-5,2	0,9-8,1
	Cv, %	2,5±0,1	6,5±0,4	60,8±5,8
Борнеол	Среднее	3,5±0,2	5,8±0,3	3,9±0,3
	Пределы варьирования	2,0-4,0	4,7-7,2	1,7-6,8
	Cv, %	2,4±0,2	9,2±0,3	34,0±3,5
Камфара	Среднее	1,4±0,1	10,6±0,9	6,4±0,4
	Пределы варьирования	0,4-1,9	9,8-12,0	4,1-10,1
	Cv, %	4,1±0,2	8,7±0,8	20,7±2,1

Примечание. Cv — коэффициент вариации при P < 0,05.

Одинаковый характер наследования с промежуточными значениями показателя выявили у гибридов и по накоплению 1,8-цинеола и камфары. По всем вариантам скрещивания доля растений с меньшим содержанием камфары, чем у стандарта, составила 60 %. По количеству борнеола депрессию отмечали у 9 % гибридного потомства. Таким образом, во всех сочетаниях хемотипов наблюдается влияние особенностей материнской формы на характер наследования состава эфирного масла.

Гибридизация линалоольно-линалилацетатного и линалоольно-камфарного хемотипов (табл. 3) позволила получить часть гибридов, у которых содержание линалоола выше, линалилацетата — примерно равное, а борнеола — ниже по сравнению с показателями у промышленного сорта лаванды Рекорд. При этом количество 1,8-цинеола у полученных гибридов (пределы варьирования 0,9-9,7 %) было значительно выше, чем у стандарта — сорта Рекорд (0,01-0,04 %).

3. Варьирование содержания основных компонентов эфирного масла у межвидовых гибридов F₁ лаванды ♀(*Lavandula angustifolia* + *L. latifolia*) × ♂ *L. angustifolia*, полученных с участием сорта Прима, в сравнении с родительскими формами (M±SEM, n = 32, Никитский ботанический сад, 2015-2017 годы)

Компонент	Содержание, %	♂ Сорт Прима	♀ Амфидиплоид № 48	F ₁
Линалоол	Среднее	32,8±0,4	60,3±2,1	46,8±1,6
	Пределы варьирования	31,0-33,0	57,5-62,5	36,7-57,9
	Cv, %	3,8±0,2	6,8±0,9	14,8±1,3

Линалилацетат	Среднее	46,6±0,3	9,4±0,9	23,4±1,2
	Пределы варьирования	44,1-50,4	7,5-12,9	15,5-32,8
	Cv, %	9,8±0,5	6,7±0,5	22,3±1,9
Цинеол	Среднее	0,3±0,1	3,4±0,3	2,7±0,5
	Пределы варьирования	0,2-0,4	3,1-5,2	0,9-9,7
	Cv, %	2,8±0,2	6,5±0,4	81,8±8,9
Борнеол	Среднее	0,8±0,2	5,8±0,3	2,9±0,4
	Пределы варьирования	0,2-1,3	4,7-7,2	1,6-5,4
	Cv, %	3,4±0,4	9,2±0,3	55,6±7,1
Камфара	Среднее	0,4±0,9	10,6±0,9	5,2±0,4
	Пределы варьирования	0,1-0,9	9,8-12,0	0,2-6,8
	Cv, %	5,1±0,4	8,7±0,8	30,4±3,6

Примечание. Cv — коэффициент вариации при $P < 0,05$.

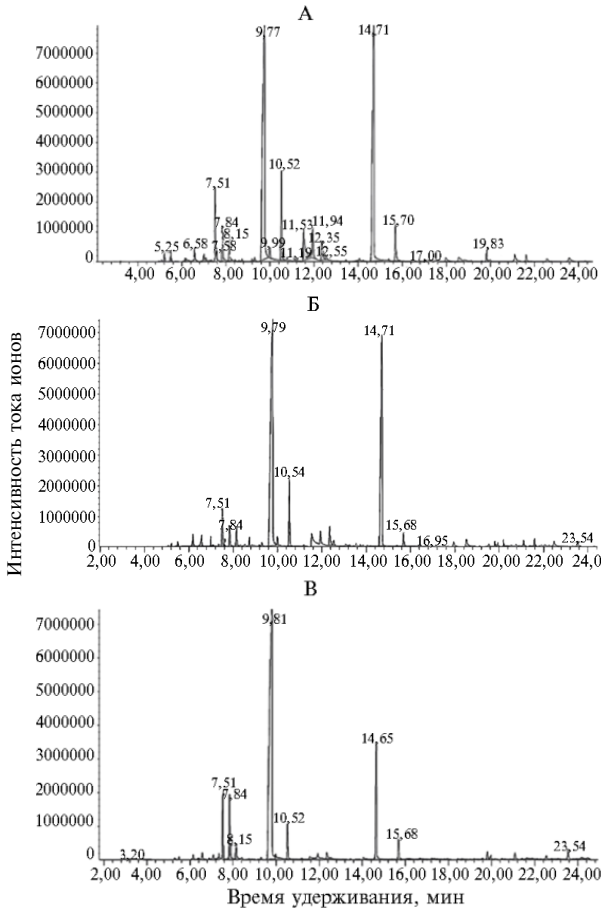


Рис. 4. Эфирные масла межвидовых гибридов F_1 лаванды (*Lavandula angustifolia* × *L. latifolia*) × *L. angustifolia* в комбинациях скрещивания Амфидиплоид № 48 × сорт Прима (А), Амфидиплоид № 48 × сорт Рекорд (Б) и Амфидиплоид № 48 × сорт Белянка (В) (Никитский ботанический сад, 2015-2017 годы).

Пики: 1,8-цинеол (7,51), линалоол (9,77-9,81), камфара (10,52-10,54), борнеол (11,58), линалилацетат (14,65-14,71). Газовый хромато-масс-спектрометр 6890N, «Agilent Technology, Inc.», США.

Гибриды от скрещивания с сортом Белянка, имеющим примерно одинаковое содержание линалоола и линалилацетата с материнскими растениями (Амфидиплоид № 48) линалоольного хемотипа, тоже проявляли наследование по этим показателям с отклонением в сторону материнской формы (Амфидиплоид № 48).

В отношении нежелательных компонентов от-

мечали депрессию у большинства гибридных генотипов во всех использованных комбинациях. Например, имело место сниженное количество борнеола (от 9 до 48 %). Тем не менее, по содержанию камфары и 1,8-цинеола ни один из гибридов фактически не улучшил показатели стандарта. В то же время в варианте Амфидиплоид № 48 × сорт Белянка у довольно значительной части потомства F_1 (56 %), наоборот, проявился гетерозисный эффект по этим признакам, особенно по содержанию 1,8-цинеола.

Основная часть гибридов характеризовалась депрессией по содержанию линалоола во всех вариантах скрещивания, но некоторые обнаруживали по этому показателю гетерозисный эффект, достигающий 127,9-131,0 %. При использовании сорта Белянка выход растений с гетерозисным эффектом был максимальными и составил 18 % (см. рис. 2). Небольшой

гетерозисный эффект проявлялся и по содержанию линалилацетата, но лишь в комбинации Амфидиплоид № 48 × сорт Прима и только у 3 % полученных гибридов.

Отметим, что комбинация Амфидиплоид № 48 × сорт Прима дает значительный выход гибридных растений, приближающихся по качеству эфирного масла к стандарту — сорту Рекорд, а 100 % гибридов от скрещивания Амфидиплоид № 48 × сорт Белянка были лучше сорта Рекорд по содержанию линалоола.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие предположения о возможностях селекции лавандинов с определенным содержанием и составом эфирного масла. Исходные формы лаванды узколистной и Амфидиплоида № 48 имеют ряд генетических особенностей. Хемотипы лаванды узколистной характеризуются наличием доминантных аллелей, контролирующих синтез линалоола (Л) и линалилацетата (А), рецессивные аллели, контролирующие биосинтез цинеола (ц), борнеола (б) и камфары (к). У Амфидиплоида № 48 доминантные аллели контролируют биосинтез линалоола (Л), борнеола (Б) и камфары (К). Биосинтез линалилацетата не характерен для этого клона и контролируется рецессивной аллелью (а).

В предыдущих исследованиях нами было показано, что Амфидиплоид № 48 как донор признака высокого выхода эфирного масла необходимо использовать в качестве отцовской формы, так как признак содержания эфирного масла наследуется по отцовской линии (13, 20). В то же время высокое содержание линалоола и линалилацетата может достигаться лишь в тех случаях, когда в качестве материнской формы берутся хемотипы лаванды узколистной. Это обстоятельство особенно важно в отношении селекции на содержание линалилацетата, биосинтез которого не характерен для Амфидиплоида № 48. Таким образом, при селекции лавандинов возможно одновременное сочетание положительных результатов как по содержанию, так и по составу эфирного масла. В зарубежной литературе не приводятся данные по оценке комбинаций скрещивания, а дается только химический анализ эфирного масла уже полученных лавандинов (21-25). Сравнение результатов исследования компонентного состава эфирного масла лавандинов, полученных нами и иностранцами исследователями, показало, что по качеству масла наши гибриды превосходят зарубежные (10, 11, 26-28).

На исход селекции в значительной степени влияет правильный выбор хемотипов пар. При селекции на содержание эфирного масла следует обратить внимание на то, что гетерозисный эффект обнаруживается при определенной степени проявления этого признака у исходных форм. Ориентировочно появление гетерозисных по содержанию эфирного масла гибридов наиболее вероятно при его содержании не менее 5 % от сухой массы сырья для лаванды узколистной и 10 % — для Амфидиплоида № 48.

Амфидиплоид № 48, как и сорт Белянка, имеет доминантные аллели, контролирующие биосинтез линалоола. Как следствие, гетерозис по этому компоненту наблюдался во всех комбинациях скрещивания. Максимум содержания линалоола пропорционален его количеству в обеих исходных формах — у сорта Белянка и у Амфидиплоида № 48. Гетерозис по содержанию линалилацетата — более редкое явление и он имеет место, очевидно, только при сочетании высокого содержания и линалилацетата, и линалоола у материнской формы. Необходимо отметить, что наследование высокого содержания линалилацетата и линалоола не совмещается, так как высокие значения по линалоолу достигаются при использовании Амфиди-

плоида № 48 в качестве материнской формы, а по линалилацетату — в качестве отцовской. Это обстоятельство может быть использовано в направленной селекции на содержание одного из этих компонентов.

Ранее мы сообщали, что улучшение гибридов по содержанию нежелательных компонентов эфирного масла — 1,8-цинеола, борнеола и камфары более вероятно при использовании Амфидиплоида № 48 как отцовской формы (13, 20). Однако только в случае борнеола имеется возможность получить гибридные растения с депрессией его содержания до величины, которая ниже, чем у исходных форм. Депрессия по содержанию 1,8-цинеола и камфары не выходит за пределы промежуточного типа наследования. Таким образом, можно предположить, что содержание 1,8-цинеола и камфары у отбираемых для селекции хемотипов лаванды узколистной соответствует предельно низкому количеству этих соединений у представителей вида. Гибридные растения способны лишь приближаться к этим значениям. Наиболее целесообразным при селекции лавандинов на высокое качество эфирного масла представляется подбор хемотипов амфидиплоида с низким содержанием 1,8-цинеола и камфары при высоком накоплении линалилацетата.

Итак, мы показали, что лучшие результаты по содержанию эфирного масла и его составу получены в комбинациях скрещиваний Амфидиплоида № 48 с близкородственными с биологической точки зрения хемотипами лаванды узколистной, несущими доминантные аллели линалилацетата и линалоола (сорт Прима) или доминантный аллель линалоола (сорт Белянка). Эти сочетания дают гибриды с максимальным содержанием линалоола и линалилацетата. Кроме того, здесь же наибольший выход гибридов, гетерозисных по желательным признакам. Изучение комбинационной способности родительских пар показало, что для получения гибридов с высоким качеством эфирного масла необходимо проводить направленные межвидовые скрещивания Амфидиплоида № 48 с *Lavandula angustifolia* сортов Рекорд и Прима, что позволяет синтезировать аллотриплоиды с двумя геномами *L. angustifolia* и одним геномом *L. latifolia*, у которых массовая доля эфирного масла составляет до 3,6 % от сырой массы сырья (или 10,25 % в расчете на абсолютно сухое вещество). Лучшей комбинацией скрещивания оказалась пара Амфидиплоид № 48 × сорт Прима. Она позволяет создавать аллотриплоиды с высоким качеством эфирного масла, содержащего до 32,8 % линалилацетата при минимальном количестве 1,8-цинеола (3,7 %) и камфары (5,6 %). Кроме того, в комбинации Амфидиплоид № 48 × сорт Белянка были получены гибриды с высоким содержанием линалоола (до 68,8 %) для эфиромасличной промышленности. В результате отбора нами выделены сортообразцы с содержанием линалоола до 68,8 % (гибрид Амфидиплоид № 48 × сорт Белянка) и линалилацетата — до 32,8 % (гибрид Амфидиплоид № 48 × сорт Прима).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lis-Balchin M. *Lavander. The genus Lavanda*. Taylor & Francis Group, London, NY, 2002.
2. Wiesenfeld E. *Aroma profiles of various Lavandula species*. Noville, South Hackensack, NY, 1999.
3. Kara N., Bayadar H. Essential oil characteristics of lavandins (*Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel.) of Isparta province, Kuyucak district, where lavender production center of Turkey. *Journal of Selcuk Agriculture and Food Sciences*, 2011, 25(4): 41-45.
4. Guitton Y.L., Nicole F., Moja S., Valot N., Jullien F., Legendre L. Differential accumulation of volatile terpene and terpene synthase mRNAs during lavender (*Lavandula angustifolia*

- and *L. × intermedia*) inflorescence development. *Physiologia Plantarum*, 2010, 138(2): 150-163 (doi: 10.1111/j.1399-3054.2009.01315.x).
5. ISO 3054:2017 Essential oil of lavandin Abrial (*Lavandula angustifolia* Mill. × *Lavandula latifolia* Medik.), French type. 2017. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/67961.html>. Дата обращения 19.06.2018.
 6. Renaud E.N.C., Charles D.J., Simon J.E. Essential oil quantity and composition from 10 cultivars of organically grown Lavender and Lavandin. *J. Essent. Oil Res.*, 2011, 13(4): 269-273 (doi: 10.1080/10412905.2001.9699691).
 7. Jianu C., Pop G., Gruia A.T., Horhat F.G. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*) and lavandin (*Lavandula × intermedia*) grown in Western Romania. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2013, 15(4): 772-776.
 8. Boeckelmann A. Monoterpene production and regulation in lavanders (*Lavandula angustifolia × Lavandula × intermedia*). Master thesis. University of British Columbia, Vancouver, 2008.
 9. Bajalan I., Rouzbahani R., Pirbalouti A.G., Maggi F. Chemical composition and antibacterial activity of Iranian *Lavandula × hybrida*. *Chem. Biodiversity*, 2017, 14(7): e1700064 (doi: 10.1002/cbdv.201700064).
 10. Blazekovic B., Vladimir-Knezevic S., Brantner A., Stefan M.B. Evaluation of antioxidant potential of *Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel. 'Budrovka': a comparative study with *L. angustifolia* Mill. *Molecules*, 2010, 15(9): 5971-5987 (doi: 10.3390/molecules15095971).
 11. Палий А.Е., Работягов В.Д. Сравнительный анализ терпеновых соединений эфирных масел и этанольных экстрактов *Lavandula hybrida* (Lamiaceae). *Химия растительного сырья*, 2015, 3: 77-81 (doi: 10.14258/jcprm.201503752).
 12. Woronuk G., Demissie Z., Rheault M., Mahmoud S. Biosynthesis and therapeutic properties of *Lavandula* essential oil constituents. *Planta Medica*, 2011, 77(1): 7-15 (doi: 10.1055/s-0030-1250136).
 13. Работягов В.Д., Акимов Ю.А. Наследование содержания и состава эфирного масла при межвидовой гибридизации лаванды. *Генетика*, 1986, 22(7): 1163-1172.
 14. Urwin N.A.R., Horsnell J., Therese M. Generation and characterization of colchicine autotetraploid *Lavandula angustifolia*. *Euphytica*, 2007, 156(1-2): 257-266 (doi: 10.1007/s10681-007-9373-y).
 15. Urwin N.A.R. Generation and characterization of colchicine-induced polyploidy *Lavandula × intermedia*. *Euphytica*, 2014, 197(3): 331-339 (doi: 10.1007/s10681-007-9373-y).
 16. Tsuro M., Ito Y., Morisue T., Nakao Y. Induction and characterization of chromosome-doubled Lavandin (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.) by colchicine treatment of leaf-derived callus. *Horticultural Research (Japan)*, 2011, 10(3): 303-308 (doi: 10.2503/hrj.10.303).
 17. Raev R.T., Jordanov R., Zhelezov V. Induced polyploidy in lavender. *Acta Horticulturae*, 1996, 426: 561-572 (doi: 10.17660/ActaHortic.1996.426.61).
 18. Паушева З.П. *Практикум по цитологии растений*. М., 1988.
 19. Adams R.P. *Identification of essential oil compounds by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy*. Allured Pub. Corp., USA, 2007.
 20. Работягов В.Д., Митрофанова О.В. Изменчивость и наследование содержания эфирного масла у аллотриплоидных гибридов лаванды. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, 2016, 118: 18-23.
 21. Adal A.M., Demissie Z.A., Mahmoud S.S. Identification, validation and crossspecies transferability of novel *Lavandula* EST-SSRs. *Planta*, 2015, 241(4): 987-1004 (doi: 10.1007/s00425-014-2226-8).
 22. Cavanagh H.M.A., Wilkinson J.M. Lavender essential oil: a review. *Australian Infection Control*, 2005, 10(1): 35-37 (doi: 10.1071/HI05035).
 23. Carrasco A., Martinez-Gutierrez R., Tomas V., Tudela J. Lavandin (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loiseleur) essential oil from Spain: determination of aromatic profile by gas chromatography—mass spectrometry, antioxidant and lipoxygenase inhibitory bioactivities. *Nat. Prod. Res.*, 2016, 30(10): 1123-1130 (doi: 10.1080/14786419.2015.1043632).
 24. Tsuro M., Ikedo H. Changes in morphological phenotypes and essential oil components in lavandin (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.) transformed with wildtype strains of *Agrobacterium rhizogenes*. *Scientia Horticulturae*, 2011, 130(3): 647-652 (doi: 10.1016/j.scienta.2011.08.011).
 25. Bombarda I., Dupuy N., Le Van Da J.P., Gaydou E. Comparative chemometric analyses of geographic origins and compositions of lavandin var. Grosso essential oils by midinfrared spectroscopy and gas chromatography. *Anal. Chim. Acta*, 2008, 613(1): 31-39 (doi: 10.1016/j.aca.2008.02.038).
 26. Работягов В.Д., Хохлов Ю.С., Палий А.Е. Морфобиологическая характеристика перспективных лавандина (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel). *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, 2017, 123: 83-89.
 27. Kivrak S. Essential oil composition and antioxidant activities of eight cultivars of Lavender and Lavandin from western Anatolia. *Industrial Crops and Products*, 2018, 117: 88-96 (doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.089).

28. Barocelli E., Calcina F., Chiavarini M., Impicciatore M., Brunib R., Bianchib A., Ballabeni V. Antinociceptive and gastroprotective effects of inhaled and orally administered *Lavandula hybrida* Reverchon 'Grosso' essential oil. *Life Sci.*, 2004, 76(2): 213–223 (doi: 10.1016/j.lfs.2004.08.008).

ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени
Никитский ботанический сад —
Национальный научный центр РАН,
298648 Россия, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита,
ул. Никитский спуск, 52,
e-mail: onlabor@yandex.ru, runastep@mail.ru ✉, aomor@mail.ru

Поступила в редакцию
12 апреля 2018 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2018, V. 53, № 3, pp. 547–556

INTERSPECIFIC HYBRIDIZATION IN LAVANDIN (*Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel.) BREEDING FOR ESSENTIAL OIL QUALITY

V.D. Rabotyagov, A.E. Palii, Yu.S. Khokhlov

Nikita Botanical Gardens — National Scientific Center RAS, Federal Agency for Scientific Organizations, 52, ul. Nikitskii spusk, pgt Nikita, Yalta, Republic of Crimea, 298648 Russia, e-mail onlabor@yandex.ru, runastep@mail.ru
(✉ corresponding author), aomor@mail.ru

ORCID:

Rabotyagov V.D. orcid.org/0000-0002-0139-5089

Khokhlov Yu.S. orcid.org/0000-0001-8591-9208

Palii A.E. orcid.org/0000-0002-5234-3393

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation (grant № 14-5000079)

Received April 12, 2018

doi: 10.15389/agrobiol.2018.3.547eng

Abstract

Lavandin cultivars (*Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel.) are sterile interspecies hybrids *Lavandula angustifolia* Mill. × *L. latifolia* Medic. They are of great interest for the essential oil industry. Lavandin cultivars express 1.5–2-fold higher yields of raw biomass and essential oil production, as well as 4-fold higher essential oil yield per area unit as compared to the used lavender cultivars. World production of lavandin essential oil is 1200 thousand tons, and lavender oil production is only 200 thousand tons. However, the quality of lavandin essential oil is lower compared to lavender one because of camphor, 1,8-cineole and borneol significant amounts. Besides, it is impossible to use lavandin cultivars in further breeding works, as they are sterile. The main trend in lavandin breeding is to improve the essential oil quality by reducing unwanted components to a minimum. In order to create lavandin hybrids characterized by high essential oil quality we had first synthesized tetraploid forms of *L. angustifolia* and *L. latifolia* and then crossed these forms with each other. As the result, their sterility was overcome and amphidiploid hybrids were obtained. Those hybrids were further used to create new highly effective cultivars. Crossing between amphidiploid hybrid № 48 and lavender cultivars (Belyanka, Record, Prima) let us to select cross combinations and create lavandin cultivars with minimum amount of camphor, borneol and 1,8-cineol. It was revealed that obtained plants often demonstrated intermediate when compared to their parental forms. Thus, initial forms with high content of linalool and linalyl acetate and lower content of unwanted compounds should be used in breeding works. In cross combinations Amphidiploid 48 × Belyanka, Lavandin hybrids with high content of linalool (up to 68.8 %) were derived. Some hybrids had the content of borneol (up to 0.5 %), camphor (1.9 %) and 1,8-cineole (1.8 %) similar to that of parental forms. In cross combination Amphidiploid 48 × Prima hybrids were obtained with high content of linalool (up to 57.9 %) and linalyl acetate (up to 32.8 %) and low content of camphor (0.2 %), borneol (1.6 %) and 1,8-cineole (up to 0.9 %). The results of our investigations demonstrated that it is possible to create Lavandin hybrids with borneol amount lower than in the original forms. Camphor and 1,8-cineole content depression was not beyond the intermediate type of inheritance. We suppose that the extremely low content of 1,8-cineole and camphor in the lavender chemotypes selected for breeding corresponds to their lower biological limit of these metabolites. Hybrid plants (*L.* × *intermedia*) can only approximate these characteristics of *L. angustifolia*. Lavandin hybrids with the best essential oil composition have been obtained by crossings between the most closely related, from a biological point of view, chemotypes with dominant alleles of linalool and linalyl acetate and recessive alleles of camphor and 1,8-cineole in *L. angustifolia*, which is possible under creating Lavandin hybrids with two genomes of *L. angustifolia* and one genome of *L. latifolia*.

Keywords: allotriploid, Lavandin, *Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel., hybrid, essential oil composition.