

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

Представлены данные о содержании фенольных соединений в опаде и корнях плодовых растений семейства Rosaceae Juss. Показано, что фенольные соединения являются фактором аллелопатического последствия деревьев в плодовых садах.

Характерной особенностью плодовых растений является образование большого количества фенольных соединений (ФС) — веществ вторичного метаболизма, содержащих в своей молекуле ароматическое (бензольное) ядро и 1-2 или более гидроксильных групп [1, 27]. В растениях обнаружены и идентифицированы более 5 тыс. фенольных соединений [18]. Простые фенолы — монооксибензол, диоксибензолы (пирокатехин, резорцин, гидрохинон) и триоксибензолы (пирогаллол, флороглюцин, оксигидрохинон) встречаются в растениях очень редко. Чаще других обнаруживаются гидрохинон и флороглюцин, а также их гликозиды — арбутин и флорин. Другие группы мономерных ФС — оксibenзойные и оксикоричные кислоты, альдегиды, спирты, кумарины и флавоноиды — широко распространены в растительном мире. Наиболее многочисленной группой фенольных веществ являются флавоноиды — катехины, дигидрохалконы, флаваноны, флавоны, флавонолы и др. [14, 15].

Вещества фенольной природы выполняют разнообразные функции в растительном организме. Оксibenзойные и оксикоричные кислоты, дигидрохалконы, кумарины, флаваноны и другие ФС принимают участие в регуляции ростовых процессов — накапливаясь в высоких концентрациях, они ингибируют прорастание семян и рост растений.

Механизм действия ФС на ростовые процессы связывают с их влиянием на гормональный обмен и в частности на ауксиновую систему (3-индолилуксусная кислота (ИУК)—оксидаза ИУК). В модельных опытах было показано, что моногидроксилированные фенолы выступают кофакторами ауксиноксидазы и, разрушая ауксин, тормозят рост растений. Дигидроксилированные фенолы, наоборот, ведут себя как ингибиторы ауксиноксидазы и, предохраняя ауксины от разрушения, стимулируют рост. Фенольные ингибиторы обнаружены в плодах, корнях, побегах, почках и листьях яблони, персика и других плодовых культур.

Фенолы оказывают защитное действие при инфицировании растений. Многие фитоалексины (антибиотические вещества, образующиеся в пораженной ткани в ответ на проникновение инфекции) относятся к фенольным соединениям [15, 19].

Фенольным соединениям отводится важная роль в химическом взаимодействии растений. А.М. Гродзинский считал, что они в значительной мере обуславливают аллелопатическую напряженность в фитоценозах [12, 13]. Э. Райс отмечал, что фенолы являются наиболее распространенными токсинами высших растений, принимающими участие в аллелопатическом взаимодействии [32]. Поэтому при изучении химической природы аллелопатически активных веществ опада и корневых остатков плодовых культур мы уделили основное внима-

ние фенольным веществам. Эти исследования были инициированы А.М. Гродзинским в 1965 г. с целью выяснения причин почвоутомления в плодовых садах.

В спиртовых и водных экстрактах из обрезанных побегов, опада (лепестков, плодов, листьев) и корней исследуемых плодовых культур с помощью хроматографических методов выявлены различные фенольные соединения — флавонолы, катехины, халконы, оксибензойные и оксикоричные кислоты, оксикумарины [5, 9, 20, 21].

Анализы показали, что опад и корни плодовых культур содержат довольно много фенольных веществ (табл. 1). Количество ФС в побегах колеблется в пределах от 18,3 мг/г массы абсолютно сухого вещества у миндаля до 28,0 мг/г у яблони; в лепестках — от 10,4 мг/г у миндаля до 21,3 мг/г у айвы; в плодах — от 10,5 мг/г у миндаля до 27,6 мг/г у яблони; в листьях — от 21,8 мг/г у миндаля до 32,4 мг/г у персика и яблони. Наибольшее количество фенолов накапливается в корнях. По суммарному количеству ФС в корнях выделяются вишня (40,8 мг/г), яблоня (41,9 мг/г) и персик (56,7 мг/г); наименьшее содержание фенолов характерно для корней айвы и миндаля — соот-

ветственно 26,6 и 23,2 мг/г [21, 28]. Как видно из данных табл. 1, наименьшим количеством ФС отличаются растительные остатки айвы и миндаля, а наибольшим — яблони и персика.

В почвенно-климатических условиях Украины плодовые растения продуцируют большую фитомассу. По нашим данным, в Лесостепи и Степи масса надземной части одного 40—50-летнего дерева черешни, груши, яблони достигает 400—600 кг, а корневой системы — 150—300 кг, что составляет при схеме посадки 8 × 8 м соответственно 62—93 и 23—47 т/га. Кроме того, ежегодно в почву поступает значительное количество наземного опада (листья, цветки, лепестки, завязь, незрелые плоды, мелкие веточки) — 1,8—6,0 т/га (сырой массы) в зависимости от культуры. Основную часть опада в садах составляют листья: 91—92% у косточковых и 77—95% у семечковых культур. Таким образом, если учесть эти данные, а также высокую аллелопатическую активность фенолов, то становится очевидным, что поступление в почву столь больших количеств фенольных соединений и их аккумуляция в корнеобитаемой среде не может не иметь серьезных экологических последствий [28].

При изучении качественного состава фенольных соединений плодовых культур (в связи с выяснением их роли в регуляции ростовых процессов) наибольшее внимание уделялось яблоне и ее основному веществу — флоризину.

Флоризин (2',4',6',4'-тетраоксидигидрохалкон-2'-гликозид) — является специфическим фенольным веществом яблони, химическим маркером рода *Malus Mill.* (его продуцируют и дикорастущие виды) и поэтому представляет интерес как один из факторов почвоутомления и аутоинтолерантности этой культуры. Содержание флоризина зависит от сорта, подвоя, условий произрастания и достигает в корнях 12% абсолютно сухой массы, в листьях — 4%. Корни, отмирающие в процессе корнепада, и корневые остатки выкорчеванных деревьев

Таблица 1. Суммарное содержание фенольных соединений в опаде и корнях плодовых культур, мг/г массы абс. сух. в-ва

Культура, сорт	Побеги	Лепестки	Плоды	Листья	Корни
Абрикос, 'Литовченко'	21,6	19,1	16,3	26,9	37,2
Айва, №4-8-7	23,9	21,3	11,9	27,4	26,6
Алыча, 'Десертная'	22,5	20,2	21,4	28,1	32,0
Вишня, 'Лотовка'	20,9	14,5	18,6	29,3	40,8
Груша, 'Бере Боск'	24,8	13,7	19,8	30,5	36,1
Миндаль, сеянец	18,3	10,4	10,5	21,9	23,2
Персик, 'Дружба'	25,2	12,8	21,9	32,4	56,7
Слива, 'Анна Шпет'	23,7	19,6	23,5	27,0	34,8
Черешня, 'Гедельфингер'	19,3	10,5	20,2	21,8	27,5
Яблоня, 'Ренет Симиренко'	28,0	19,2	27,6	32,4	41,9

яблони являются основным источником поступления флоризина в почву [20, 22, 25, 28]. В других остатках яблони содержание флоризина значительно ниже (табл. 2), да и масса их меньше по сравнению с массой корневой системы.

Необходимо отметить, что наибольшее количество флоризина накапливается в коре корней. Виды яблони отличаются по содержанию этого фенольного соединения: яблоня Сиверса — 133,8 мг/г массы абс. сух. в-ва, я. Холла — 137,9 мг/г, я. низкая (парадизка) — 143,3 мг/г, я. домашняя — 152,9 мг/г, я. гансуйская — 164,2 мг/г, я. обильноцветущая — 176,5 мг/г, я. туркменов (баба-арабская) — 192,5 мг/г, я. лесная — 199,6 мг/г, я. восточная — 216,4 мг/г, я. сливолистная — 248,7 мг/г [29].

Биосинтез флоризина зависит от условий произрастания деревьев. Листья и корни 10-летних деревьев сорта 'Джонатан' (подвой М9), произрастающих в Западной Лесостепи в зоне достаточного увлажнения, содержали соответственно 29,7 и 93,6 мг/г флоризина; в Крыму, где влагообеспеченность не соответствует требованиям яблони, эти показатели были выше — соответственно 35,9 и 116,4 мг/г. Следует подчеркнуть, что повышенное накопление веществ фенольной природы является ответной реакцией растительного организма на целый ряд неблагоприятных факторов, таких как засуха, засоление, недостаток или избыток минеральных элементов, радиоактивное облучение, метаболические яды, гербициды и т.д. [21]. С увеличением продолжительности бессменной культуры яблони в питомнике в листьях и корнях саженцев возрастает в 2—6 раз содержание свободных оксикоричных кислот, в 1,3—3,0 раза — флоризина [9, 11].

Минеральное питание способствует снижению накопления флоризина в листьях и корнях яблони. Причем эффект обусловлен в основном азотом (табл. 3).

Объясняется это тем, что фенилаланин является общим исходным продуктом био-

Таблица 2. Содержание флоризина в побегах, опале и корнях 24-летних деревьев яблони на семенном подвое, мг/г массы абс. сух. в-ва

Сорт	Побеги	Лепестки	Листья	Корни
Кальвиль снежный	33,1 ± 1,6	45,3 ± 1,6	34,8 ± 1,8	107,0 ± 2,5
Ренет				
Симиренко	31,7 ± 1,4	43,6 ± 1,4	32,6 ± 1,4	98,0 ± 2,3
Папировка	30,0 ± 1,3	41,8 ± 1,7	27,3 ± 1,2	90,7 ± 2,6

Таблица 3. Влияние условий минерального питания на содержание флоризина в листьях и корнях яблони сорта 'Кальвиль снежный' на семенном подвое

Вариант опыта	Листья		Корни	
	мг/г абс. сух. в-ва	%	мг/г абс. сух. в-ва	%
Контроль (без удобрений)	42,1	100,0	104,1	100,0
Фосфор + калий	45,8	108,7	97,8	93,9
Азот + фосфор + + калий	29,9	71,0	75,3	72,3

синтеза белков и флавоноидов. При избытке азота фенилаланин используется в основном в процессе биосинтеза белка. Если вследствие ухудшения азотного питания синтез белка снижается, то возрастает доля фенилаланина, используемого растением для синтеза флавоноидов.

Таким образом, оптимизация условий произрастания деревьев яблони — это один из путей снижения количества флоризина, поступающего в почву яблоневого сада [2, 21, 28].

В опавших листьях и корнях яблони обнаружены фенолкарбоновые кислоты, а также флавонол-гликозиды — кверцетин-3-рамнозид и кверцетин-3-галактозид [20, 22]. Суммарное содержание их в листьях составляет 3,6—4,7 мг/г массы абс. сух. в-ва, в коре корней — 4,2—6,8 мг/г (табл. 4).

Таблица 4. Содержание фенолкарбоновых кислот в опавших листьях яблони 'Ренет Симиренко', мкг/г массы абс. сух. в-ва

Кислота	Листья яблони	
	свободные	этерифицированные
п-Оксибензойная	37	30
п-Кумаровая	52	780
Кофейная	302	228
Феруловая	370	440
Флоретиновая	25	50
Хлорогеновая	209	—

Суммарные препараты ФС, выделенные из листьев (ФСЛ) (выход 9% сухой массы) и коры корней (ФСКК) (выход 15%) яблони, в количестве, адекватном содержанию фенолов в водной вытяжке (1:200) из этих остатков, ингибировали рост первичного корня проростков яблони сорта 'Голден делишес' соответственно на 80 и 50%; подавляли общую фосфогидролазную, а также калий-, натрийстимулируемую активность препарата плазмалеммы из клубней картофеля [9, 17]. В комплекс ФСЛ входит флоризин (37,0%), флоретин (24,6%), флоретиновая (0,4%) и п-кумаровая (0,1%) кислоты, значительно меньше (около 0,02%) содержание п-оксибензойной и о-кумаровой кислот. Качественный и количественный состав комп-

лекса ФСКК яблони несколько иной — в нем 73,0% составляет флоризин, идентифицированы также флоретиновая (0,06%) и п-кумаровая (0,02%) кислоты, качественная реакция с ванилиновым реактивом свидетельствует о значительном содержании катехинов. Выделенные препараты фенольных веществ из листьев (520 мг/л) и коры корней (760 мг/л) яблони и флоризин (740 мг/л) тормозили поступление цезия (как аналога калия), марганца и цинка в стебли сеянцев яблони. Перед началом опыта сеянцы выдерживали на питательной среде Мори, обедненной одним из элементов, поглощение которого предполагалось изучить, затем в среду добавляли изотопы цезия ($^{137}\text{Cs}^+$), марганца ($^{54}\text{Mn}^{2+}$) или цинка ($^{67}\text{Zn}^{2+}$), а через 4—5 дней измеряли активность. Флоризин и комплексы фенольных веществ из листьев и корней оказались ингибиторами поглощения изучаемых катионов — поступление марганца снижалось в наибольшей степени — на 54—66%, цинка — на 14—41%, цезия — на 12—21% (табл. 5). Препарат фенольных веществ из листьев задерживал поступление катионов сильнее, чем чистый флоризин и комплекс фенольных веществ из коры корней [9, 10].

Фенольные соединения содержатся не только в опаде и корневых остатках яблони, но и в выделениях живых корней. Установ-

Таблица 5. Поглощение цезия, марганца и цинка сеянцами яблони (радиоактивность, импульсы на 1 мг сухой массы стебля за 25 мин)

Вариант опыта	Цезий		Марганец		Цинк	
	импульсы	%	импульсы	%	импульсы	%
Контроль, чистый питательный раствор	436 ± 26	100	70 ± 13	100	38 ± 4	100
Питательный раствор						
+ флоризин	372 ± 27	85	32 ± 9	46	26 ± 3	68
+ фенольные вещества листьев	341 ± 21	78	24 ± 6	34	21 ± 3	55
+ фенольные вещества коры корней	370 ± 32	88	27 ± 2	39	28 ± 6	74

лено, что за четыре месяца корни яблони массой 218 г выделили 250 мг флоризина, что составляет 2,3% его количества в этих корнях [9].

Под влиянием фенольных соединений изменялась интенсивность водообмена семян плодовых культур [31]. Результаты опытов позволяют предположить, что влияние фенольных соединений на водный режим и поглощение элементов минерального питания может быть одним из механизмов конкуренции растений за воду при совместном произрастании и аллелопатического последствия предшествующих культур в севообороте питомников, а также при возобновлении плодовых насаждений на одной и той же площади.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в вегетирующих и опавших листьях, корнях, обрезанных побегах, опавших лепестках и недозрелых плодах идентифицировано восемь соединений: п-оксибензойная, кофейная, ванилиновая, β-резорциловая, сиреневая, п-кумаровая, бензойная и феруловая кислоты [5, 6].

В общем балансе идентифицированных компонентов наиболее велика доля эфирно-связанных растворимых кислот. В среднем она составляет около 66% от их общего количества. Доля свободных и сильносвязанных кислот существенно ниже — соответственно 20 и 14%.

Наибольшее количество свободных кислот отмечается в корнях и опавших лепестках цветков. Основными компонентами в корнях являются бензойная и сиреневая кислоты, а в лепестках — кофейная и β-резорциловая. Последние две кислоты в других исследованных материалах не обнаружены. В перегнивающих корневых остатках содержание свободных фенолокислот незначительное. По сравнению с вегетирующими листьями в опавших появляется свободная сиреневая кислота, что, вероятно, связано с метаболизмом компонентов лигнина.

Основная масса фенолкарбоновых кислот освобождается после мягкого щелочного

гидролиза. Главными компонентами эфирно-связанных растворимых кислот в этом случае выступают п-кумаровая и бензойная. Они присутствуют во всех образцах, причем содержание этих веществ достигает соответственно 200—300 и 1200—1300 мкг/г растительного материала. В опавших лепестках цветков велико содержание эфирно-связанной β-резорциловой кислоты, феруловой и п-оксибензойной. Последнее вещество обнаружено также в корнях, перегнивающих корневых остатках и обрезанных побегах.

Общее содержание сильносвязанных нерастворимых кислот существенно меньше. В таком состоянии в исследуемых материалах присутствуют п-оксибензойная и ванилиновая кислоты. В опавших листьях и недозрелых плодах отмечается значительное количество сильносвязанной бензойной кислоты. Максимальное содержание п-кумаровой кислоты наблюдается в опавших листьях, а п-оксибензойной — в перегнивающих корневых остатках.

При анализе суммарного количества кислот установлено, что содержание п-кумаровой кислоты в вегетирующих и опавших листьях практически одинаково, а количество бензойной кислоты к периоду листопада намного увеличивается. В то же время бензойная кислота полностью исчезает при перегнивании корневых остатков в почве. Напротив, наиболее стойкие фенольные ингибиторы — п-оксибензойную и п-кумаровую кислоты — этот процесс практически не затрагивает. Наибольшее количество п-кумаровой кислоты содержится в обрезанных побегах, несколько меньшее — в вегетирующих и опавших листьях и лепестках цветков. В последних, как уже было отмечено, довольно много кофейной и β-резорциловой кислот. Наибольшее количество феруловой кислоты наблюдается в опавших лепестках цветков.

Максимальное содержание суммы фенолкарбоновых кислот отмечается в опавших листьях (2285 мкг/г) и лепестках цвет-

ков с учетом бензойной кислоты (2520 мкг/г), а минимальное — в перегнивающих корневых остатках персика (275 мкг/г) и опавших незрелых плодах (360 мкг/г).

В побегах, лепестках цветков, листьях и корнях груши идентифицирован арбутин (гликозид гидрохинона) — характерное для рода *Rugus* L. фенольное соединение. Количество арбутина в побегах составляет 8,4—10,6 мг/г массы абс. сух. в-ва, в опавших лепестках — 2,5—6,1 мг/г, в листьях — 14,7—23,9 мг/г, в корнях — 2,2—4,2 мг/г. Дикорастущие виды груши (*P. communis* L., *P. salicifolia* Pall., *P. elaeagnifolia* Pall., *P. betulifolia* Bge., *P. amygdaliformis* Vill., *P. caucasica* Fed.) отличаются повышенным (до 40 мг/г массы абс. сух. в-ва) содержанием арбутина в листьях по сравнению с культурными сортами. Содержание арбутина зависит от подвоя. Например, в листьях груши сорта 'Бере Боск', привитых на груше обыкновенной, количество арбутина достигало 31,0 мг/г массы абс. сух. в-ва, а на айве — 14,2 мг/г (табл. 6). Результаты наших исследований подтверждают данные других авторов о том, что подвой влияет на содержание фенольных веществ у плодовых культур.

В листьях груши идентифицированы также свободные фенолкарбоновые кислоты — хлорогеновая, п-оксибензойная —

229 мкг/г массы абс. сух. в-ва, п-кумаровая — 156 мкг/г, протокатеховая — 241 мкг/г, ванилиновая — 31 мкг/г и этерифицированные — п-оксибензойная — 215 мкг/г, п-кумаровая — 1927 мкг/г, ванилиновая — 150 мкг/г [21, 28].

В опавших листьях абрикоса нами обнаружен кверцетин-3-глюкорамнозид (рутин), в листьях вишни — хлорогеновая кислота и ее изомеры, 7-оксикумарин (умбеллиферон) [13, 21, 25]. В листьях персика идентифицированы два флавонолгликозида: кверцетин-3-глюкозид (изокверцитрин) и кемпферол-3-глюкозид (астралагин) [25]. Из корней персика выделены катехины и полимерный компонент из группы конденсированных таннинов [4, 21].

Ингибирующее влияние вытяжек из листьев и корней абрикоса, айвы, алычи, вишни, груши, миндаля, персика, сливы, черешни, яблони на рост корней тест-объектов после обработки этилацетатом, в котором растворяется большинство фенольных соединений, или специфическими сорбентами фенолов — поливинилпирролидоном (извлекает фенолы из спиртовых экстрактов) и полиамидом (адсорбирует фенольные вещества из водных вытяжек) значительно снижается или исчезает полностью [21, 25] (табл. 7; рис.).

Аллелопатическая активность ФС зависит от положения оксигрупп в молекуле. Вещества с о-положением сильнее угнетают биотесты, чем вещества с м- и п-положением. При увеличении количества оксигрупп активность ФС снижается. Следует подчеркнуть, что проявление аллелопатической активности фенолов изменяется в зависимости от тест-растения [26].

На аллелопатическую активность фенольных соединений влияют аминокислоты и органические кислоты алифатического ряда. Так, при добавлении аланина, аспарагиновой кислоты, лизина или триптофана (10^{-3} М) к раствору п-кумаровой кислоты (10^{-3} М) ее действие на рост корней кресс-салата изменялось (табл. 8). Смесь п-кума-

Таблица 6. Содержание арбутина в листьях и корнях груши на разных подвоях, мг/г массы абс. сух. в-ва

Сорт	Подвой	
	Груша обыкновенная	Айва обыкновенная
	<i>Л и с т ь я</i>	
Бере Боск	31,0	14,2
Марианна	24,4	11,5
Оливье де-Серр	36,1	17,0
	<i>К о р н и</i>	
Бере Боск	4,9	1,7
Марианна	4,6	1,2
Оливье де-Серр	5,7	2,8

Аллелопатическая функция фенольных соединений плодовых растений

Таблица 7. Влияние этилацетатной фракции водных вытяжек из листьев и коры корней плодовых культур (1:100) на рост первичного корня проростков плодовых растений (длина корня)

Донор колинов	Тест-объект	Контроль, см	Эфирная фракция вытяжки			
			из листьев		из коры корней	
			см	%	см	%
Абрикос Литовченко'	Проростки абрикоса 'Литовченко'	7,8 ± 0,23	5,3 ± 0,13	68	4,2 ± 0,13	54
Айва №4-8-7	Проростки айвы №19-15	4,9 ± 0,10	3,5 ± 0,11	71	3,2 ± 0,08	65
Алыча 'Десертная'	Проростки алычи (подвойная форма)	7,0 ± 0,21	4,8 ± 0,16	69	4,1 ± 0,13	58
Вишня 'Лотовка'	Проростки вишни 'Гриот украинский'	5,7 ± 0,16	3,4 ± 0,11	60	2,9 ± 0,12	51
Груша 'Бере Боск'	Проростки груши 'Александровка'	5,5 ± 0,15	3,6 ± 0,12	65	3,3 ± 0,12	60
Миндаль (сеянец)	Проростки миндаля (подвойная форма)	8,6 ± 0,23	6,7 ± 0,15	78	6,4 ± 0,20	74
Персик 'Дружба'	Проростки персика 'Полесский'	7,3 ± 0,22	4,5 ± 0,17	62	3,0 ± 0,10	41
Слива 'Анна Шпет'	Проростки сливы 'Венгерка обыкновенная'	6,4 ± 0,21	4,0 ± 0,11	63	3,4 ± 0,15	53
Черешня 'Гедельфингер'	Проростки черешни 'Дрогана желтая'	6,0 ± 0,20	3,9 ± 0,12	65	3,7 ± 0,12	62
Яблоня 'Ренет Симиренко'	Проростки яблони 'Антоновка'	5,2 ± 0,16	2,7 ± 0,11	52	1,9 ± 0,07	37

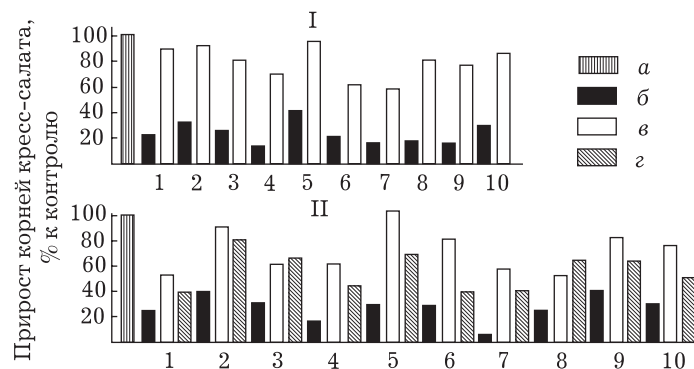
ровой кислоты и анилина слабее тормозила рост корней тест-объекта, а смесь п-кумаровой и аспарагиновой кислот — сильнее, чем сама п-кумаровая кислота. Интересно, что лизин почти не влиял на активность п-кумаровой кислоты, хотя на его растворе корни кресс-салата росли хуже, чем на растворе аспарагиновой кислоты. Активность триптофана была почти такой же, как и п-кумаровой кислоты, а при биотестировании их смеси наблюдалось усиление ингибирующего действия. Напомним, что аланин, аспарагиновая кислота, лизин и триптофан отличаются между собой по строению, количеству аминных и карбоксильных групп и относятся соответственно к моноаминомонокарбоновым, моноаминодикарбоновым, диаминомонокарбоновым и гетероциклическим аминокислотам [21].

Колины плодовых растений поступают в почву с опадом и корневыми остатками.

Таблица 8. Влияние растворов аминокислот (10⁻³ М), п-кумаровой кислоты (10⁻³ М) и их смесей на рост корней кресс-салата

Вариант опыта	Прирост корней кресс-салата	
	мм	%
Контроль	19 ± 1,2	100
Аланин	17 ± 1,1	89
Аспарагиновая кислота	16 ± 1,3	84
Лизин	14 ± 1,0	74
Триптофан	7 ± 0,6	37
п-Кумаровая кислота	8 ± 1,7	42
+ аланин	12 ± 0,3	63
+ аспарагиновая кислота	6 ± 0,5	31
+ лизин	9 ± 0,6	47
+ триптофан	5 ± 0,3	26

Поглотительная способность почвы обеспечивает аккумуляцию колинов в корнеоби-



Аллелопатическая активность вытяжек из листьев (I) и корней (II) плодовых культур и фракции фенольных соединений из корней: 1 — абрикос; 2 — айва; 3 — алыча; 4 — вишня; 5 — груша; 6 — миндаль; 7 — персик; 8 — слива; 9 — черешня; 10 — яблоня; а — контроль; б — исходная вытяжка; в — вытяжка, обработанная полиамидом; г — фракция фенольных соединений корней

таемом слое почвы, вследствие этого формируется видоспецифический аллелопатический режим и возникает почвоутомление. Поглощение ФС зависит от содержания гумуса, реакции почвенного раствора и механического состава почвы, особенно от такой фракции, как физическая глина (сумма частичек меньше 0,01 см) [3, 21].

Фенольные вещества обнаружены в почве из вегетационных сосудов, в которых росли сеянцы плодовых растений. Во всех вариантах, где в почву из под деревьев плодовых культур вносили их корневые остатки, количество ФС превышало контроль в 2,0-2,5 раза. Например, в почве под контрольными сеянцами яблони суммарное со-

держание веществ фенольной природы достигало 184 мг/кг, а в варианте "почва из-под яблони + корни яблони" — 426 мг/кг; под сеянцами черешни соответственно 122 и 270 мг/кг.

В серой оподзоленной почве из-под яблони идентифицированы фенольные вещества: флоризин, флоретин, кверцетин, феруловая, синаповая и салициловая кислоты. В дерновой песчаной почве из-под яблони в горизонте 30—60 см количество флоризина составляет 7,4 мг/кг. При монокультуре яблони в питомнике фенольные соединения накапливаются в почве: после пятилетнего бессменного выращивания саженцев содержание флоретиновой кислоты достигает 595 мкг/г почвы, п-кумаровой — 620 мкг/г, о-кумаровой — 378 мкг/г, а флоризина — 21 мг/кг. Под старыми деревьями абрикоса и черешни, произрастающими в дерновой песчаной почве, содержатся оксибензойные и оксикоричные кислоты; общее количество их в почве под абрикосом достигает 25,50 мг/100 г, под черешней — 14,56 мг/100 г (табл. 9).

Среди коливонов почвы из-под персика, в которой разлагались корни персика, преобладает компонент фенольной природы с высокой аллелопатической активностью. В результате изучения УФ-, ИК-, ПМР- и

Таблица 9. Содержание фенолкарбоновых кислот в почве под плодовыми культурами, мг/100 г

Кислота	Абрикос	Черешня
п-Кумаровая	3,40	1,73
Феруловая	5,04	2,21
Флоретиновая	1,35	1,63
Протокатеховая	4,92	2,14
п-Оксибензойная	3,74	1,12
Ванилиновая	1,65	1,43
м-Кумаровая	2,50	1,90
о-Кумаровая	2,90	2,40
Всего	25,50	14,56

масс-спектров установлено, что данное соединение относится к конденсированным таннинам. Следовательно, при длительном выращивании семечковой или косточковой культуры в почве накапливаются фенольные соединения, которые отличаются высокой аллелопатической активностью и видоспецифичностью действия [5, 7—9, 16, 22—24, 30].

Таким образом, результаты наших исследований свидетельствуют о том, что аллелопатическая активность плодовых культур обусловлена фенольными соединениями. Накопление в почве фенольных веществ является причиной почвоутомления в плодовых садах. Проявление аллелопатической активности фенолов зависит от вида тест-растения, так как обмен веществ видоспецифичен. Следовательно, характер аллелопатического действия экзогенных фенольных веществ, поступающих в среду при разложении опада и корней, в условиях фитоценоза не может быть одинаковым — он изменяется в зависимости от вида растения-акцептора. Различия в химическом составе (флоризин, например, обнаружен только у яблони, арбутин — у груши, умбеллиферон — у вишни, кумарин — у вишни и черешни и т.д.) и видоспецифичность ответной реакции обуславливают отрицательное или положительное последствие предшествующей культуры при замене плодовых насаждений, т.е. фенольные вещества яблони вредны для яблони, фенольные вещества груши вредны для груши, однако рост абрикоса и те, и другие не ингибируют. Ингибирование ростовых процессов возникает вследствие влияния на тест-объект комплекса экзогенных фенолов. Нужно стремиться к полной идентификации продуктов жизнедеятельности растений, прежде всего фенольных соединений и других веществ вторичного происхождения, так как знание их химической природы позволит прогнозировать аллелопатический эффект — чем ближе химический состав колинов растений разных видов,

тем больше вероятность проявления аллелопатической интолерантности при чередовании их в садовом обороте.

1. Бандюкова В.А. Распространение флавоноидов в некоторых семействах высших растений // Растительные ресурсы. — 1969. — Вып. 4. — С. 590—600.

2. Берестецкий О.А., Мороз П.А. Влияние некоторых факторов на содержание флоризина в корнях и листьях яблони в связи с почвоутомлением // Агрехимия. — 1968. — № 6. — С. 66—69.

3. Буколова Т.П., Мороз П.А., Чехова М.Н. Поглощение почвой флоризина и хлорогеновой кислоты // Роль аллелопатии в растениеводстве. — К.: Наук. думка, 1982. — С. 42—46.

4. Грахов В.П. Аллелопатическая роль фенольных сполук *Persica vulgaris* Mill. // Укр. ботан. журн. — 1990. — 47, № 4. — С. 98—100.

5. Грахов В.П. Аллелопатическая функция фенольных соединений персика: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — К., 1991. — 22 с.

6. Грахов В.П., Безменов А.Я., Мороз П.А. Фенолкарбоновые кислоты растительных остатков и опада персиковых деревьев // Физиология и биохимия культурных растений. — 1991. — 23, № 5. — С. 462—468.

7. Грахов В.П., Мороз П.А. О фенольном факторе аллелопатического последствия персика (*Persica vulgaris* Mill.) // Доклады АН УССР. Серия Б. — 1990. — № 8. — С. 62—64.

8. Грахов В.П., Мороз П.А. К проблеме аллелопатического последствия персика // Круговорот аллелопатически активных веществ в биогеоценозах. — К.: Наук. думка, 1992. — С. 28—36.

9. Грикун І.М. Аллелопатичні функції фенольних сполук яблуні: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 1993. — 19 с.

10. Грикун І.М., Мороз П.А., Лагутін І.Г., Троцай В.Ф. Дія екзогенних фенольних сполук на поглинання елементів мінерального живлення сіянцями яблуні // Доповіді НАН України. — 1996. — № 2. — С. 137—140.

11. Грикун І.Н., Мороз П.А., Танкевич В.В., Татаринів А.Н. Фенольные соединения в почве под яблоней // Фитонциды. Бактериальные болезни растений: Матер. конф. Ч.1. — Киев; Львов, 1990. — С. 81.

12. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. — К.: Наук. думка, 1991. — 432 с.

13. Гродзинский А.М., Мороз П.А., Комиссаренко Н.Ф. и др. Аллелопатическая роль феноль-

- ных веществ // V Всесоюз. симпозиум по фенольным соединениям: Тез. докл. А: секция биохимии и физиологии. — Таллинн: Ин-т экспер. биол., 1987. — С. 31—33.
14. Джуренко Н.И., Паламарчук Е.П. Изменчивость флавонолов в листьях плодово-ягодных растений // VI симпозиум по фенольным соединениям: Тез. докл. — М., 2004. — С. 29—30.
15. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений. — М.: Высш. школа, 1974. — 213 с.
16. Крупа Л.И., Мороз П.А. Фенолкарбоновые кислоты в почве под деревьями абрикоса и черешни // Почвоведение. — 1986. — № 1. — С. 124—127.
17. Ладыженская Э.П., Грикун И.Н., Короблева Н.П., Мороз П.А. Влияние фенольных соединений на фосфогидролазную активность препарата растительной цитоплазматической мембраны // Доклады АН УССР. Серия Б. — 1987. — № 6. — С. 66—69.
18. Литвиненко В.И. Этапы развития химии природных соединений // VI симпозиум по фенольным соединениям: Тез. докл. — М., 2004. — С. 9—10.
19. Лихолат Т.В. Регуляторы роста древесных растений. — М.: Лесн. пром-сть, 1983. — 240 с.
20. Мороз П.А. Аллелопатическая роль опавших листьев и корневых остатков яблони и персика: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — К., 1968. — 25 с.
21. Мороз П.А. Аллелопатия в плодовых садах. — К.: Наук. думка, 1990. — 208 с.
22. Мороз П.А. Экологические аспекты аллелопатического последствия эдификаторов садовых фитоценозов: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Днепропетровск, 1995. — 53 с.
23. Мороз П.А., Буколова Т.П. Флоризин в почве под яблоней // Доклады АН УССР. Серия Б. — 1977. — № 5. — С. 447—449.
24. Мороз П.А., Горинова В.И. Флоризин и почвоутомление в яблоневых садах // Роль аллелопатии в растениеводстве. — К.: Наук. думка, 1982. — С. 74—78.
25. Мороз П.А., Грикун И.Н., Осипова И.Ю. Аллелопатическая активность фенольных веществ плодовых растений // Аллелопатия и продуктивность растений. — К.: Наук. думка, 1990. — С. 56—63.
26. Мороз П.А., Комиссаренко Н.Ф. Аллелопатическая активность некоторых фенольных соединений // Роль токсинов растительного и микробного происхождения в аллелопатии. — К.: Наук. думка, 1983. — С. 118—122.
27. Мороз П.А., Осипова И.Ю. Фенольные соединения опада и корней как фактор аллелопатического взаимодействия плодовых растений // VI симпозиум по фенольным соединениям: Тез. докл. — М., 2004. — С. 58.
28. Мороз П.А., Осипова И.Ю., Грикун И.Н. Содержание фенольных веществ в опаде и корнях плодовых культур // Методологические проблемы аллелопатии. — К.: Наук. думка, 1989. — С. 96—104.
29. Мороз П.А., Попивций И.И. Флоризин как химический признак рода яблони // Физиолого-биохимические основы взаимодействия растений в фитоценозах. — 1974. — Вып. 5. — С. 29—31.
30. Мороз П.А., Сердюк Л.С., Шевчук Г.Н. Фенольные вещества в утомленной почве из-под яблони // Химическое взаимодействие растений. — К.: Наук. думка, 1981. — С. 58—62.
31. Шматько И.Г., Мороз П.А., Петренко Н.И., Канивец В.И. Изменения в водообмене побегов и семян плодовых культур под влиянием колинов // Доклады АН УССР. Серия Б. — 1984. — № 9. — С. 77—80.
32. Rice E.L. Allelopathy. — New York: Academic Press, 1984. — 422 p.

Рекомендовал к печати Г.Г. Баранецкий

П.А. Мороз, И.Ю. Осипова, В.А. Деревянко

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка
НАН України, Україна, м. Київ

АЛЛЕЛОПАТИЧНА ФУНКЦІЯ ФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК ПЛОДОВИХ РОСЛИН

Наведено дані про вміст фенольних сполук в опаді і корнях плодкових рослин родини Rosaceae Juss. Показано, що фенольні сполуки є фактором аллелопатичної післядії дерев у плодкових садах.

P.A. Moroz, I.Y. Osipova, V.A. Derevyanko

M.M.Gryshko National Botanical Gardens,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Ukraine, Kyiv

ALLELOPATHIC FUNCTION OF FRUIT TREES PHENOLIC COMPOUNDS

The data about the contents of phenolic compounds in fruit trees falls and roots (Rosaceae Juss.) is set out. It was determined that phenolic compounds are the reason of allelopathic postaction of fruit trees in orchards.