



УДК 581.5

Эколого-биологические аспекты устойчивости *Cissus rhombifolia* Vahl к ароматическим соединениям

И.С. Казимиров, Э.А. Марченко

Изучается токсичность некоторых ароматических соединений (фенол, стирол, бензол, толуол, ксилол) на Cissus rhombifolia Vahl в аспекте его физиолого-биохимических и анатомо-морфологических показателей.

Отмечено достоверное уменьшение содержания суммы хлорофиллов а и b на фоне увеличения концентрации фенольных соединений, водорастворимых белков и растворимых редуцирующих сахаров под воздействием фенола, стирола и бензола, и отсутствие данной достоверности в опытах с толуолом и ксилолом. Наблюдается ярко выраженное утолщение листовой пластинки с проявлением мелкоклеточности мезофилла, кутикулизации под воздействием фенола, стирола и бензола. Высокая токсичность фенола, стирола и бензола проявляется в течение всего года, а токсичность толуола и ксилола в форме ингибирования ростовых процессов отмечается в осенне-зимний период.

Максимально токсичными из изученных ароматических соединений для Cissus rhombifolia Vahl являются фенол, стирол и бензол. Толуол и ксилол проявляют минимальную токсичность.

Введение. Современные темпы техногенных преобразований служат стимулом для развития научных направлений, целью которых является решение индустриально-экологических проблем на различных уровнях.

Среди поллютантов особую роль играют ароматические вещества. Экзогенные ароматические соединения могут деструктурировать клеточные и искусственные фосфолипидные мембраны, что обусловлено наличием дисперсионных сил ароматических молекул. Последние обладают достаточно высокой энергией дисперсионного взаимодействия, а следовательно, мембранолитически наиболее активны. Они могут оказывать губительное воздействие на живые клетки в сравнительно небольших концентрациях [1].

Ксенобиотики указанной природы могут выступать не только как ингибиторы или стимуляторы ростовых процессов, но и влиять на накопление в тканях растений определенных групп соединений вторичного метаболизма. Это приводит к повышению или ослаблению устойчивости вида к воздействию отрицательных факторов окружающей среды. Растения вырабатывают определенные механизмы устойчивости относительно ксенобиотиков. Так, устойчивость растений к воздействию фенола может повышаться как в результате интенсификации синтеза аминокислот, так и в результате гидролиза белковых молекул. Накопление аминокислот в данном случае представляет собой необходимое условие усиления белоксинтетической активности. При этом значение аминокислот в приобретении растением устойчивости является косвенной, поскольку определяется участием в биосинтезе белка [2, 3].

В научной литературе имеются данные о том, что детоксикацию ксенобиотиков ароматической природы в клетках растений выполняет монооксигеназная система [4].

Трудами ряда ученых доказано, что из превращений, не связанных с разрывом бензольного кольца, наиболее тщательно изучены реакции гликозидирования. Так, растения, поглощая фенолы, могут использовать их как агликоны [5].

Следует отметить, что особенности метаболизма фенольных соединений в клетках растений изучались многими авторами [6–9]. Ряд научных работ посвящен изучению устойчивости декоративных растений к воздействию некоторых ароматических соединений [10–13].

Детоксикация фенола в листьях устойчивых видов растений осуществляется посредством адсорбции его на поверхности структур клеток и растворения в липидах. При достижении определенного уровня аккумуляции данного вещества в клетках, оно приводит к их гибели. В листьях неустойчивых видов фенол окисляется ферментами до хинонов (высокотоксичный яд). Последние вступают в необратимые реакции с SH и NH₂-группами белков и приводят к гибели клеток. Одним из критериев визуальной оценки устойчивости вида растения к действию фенола может служить пигментный комплекс [14].

В детоксикации особую роль выполняют соединения, способные к конъюгации фенолов в растениях. Выяснена возможность образования в процессе детоксикации фенола продуктов с сохранением ароматического ядра. Важную роль в конъюгации с фенолами играют пептиды. Фенол-пептидные продукты сочетания являются результатом детоксикации [15, 16].

Относительно глубоко изучено влияние бензола на физиолого-биохимические показатели у растений различных экотипов. Особое внимание уделяется поиску видов, способных поглощать и обезвреживать токсические органические вещества ароматической природы [10, 17, 18].

Установлено, что степень трансформации ароматического ядра ряда соединений зависит как от особенностей строения ксенобиотиков, так и от вида растения. Высказываются предположения, что под действием некоторых фенольных соединений стимулируется синтез окислительных ферментных систем [19].

Одним из показателей газоустойчивости растений может служить характер их водного режима. Признаками устойчивости растений к действию органических поллутантов (фенол, толуол, ксилол и др.) могут являться: повышенная водоудерживающая способность, перераспределение фракционного состава воды в листьях и незначительное повышение водного дефицита растений [13].

Лабораторией ксенобиохимии Института биохимии растений АН Грузинской ССР в 1980-е годы проведены масштабные исследования с целью разработки теоретических основ детоксикации чужеродных соединений ароматической природы. Особое внимание уделялось исследованиям ферментов катаболизма, окислительным превращениям и конъюгации ксенобиотиков. Отмечено, что имеется глубокая связь между механизмами индукции и репрессии синтеза ферментов и их активации под воздействием ксенобиотиков. Благодаря экзогенным ароматическим соединениям в растениях индуцируются или, наоборот, ингибируются ферментные системы, обуславливающие превращение этих соединений. Исследователями получены экспериментальные подтверждения концепции детоксикации многих чужеродных соединений [20].

Цель: изучение токсичности некоторых ароматических соединений (фенол, стирол, бензол, толуол, ксилол) на Циссус ромболистный в аспекте его физиолого-биохимических и анатомо-морфологических показателей.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являлись растения Циссуса ромболистного (*Cissus rhombifolia Vahl*). Трехмесячные почвенные культуры данного растения с длиной побега 60 см и числом листьев на нем равным восьми размещались под стеклянным колпаком объемом 20 дм³. На поверхность колпака равномерным слоем на площади 5 см² микропипеткой наносилось расчетное количество определенного ароматического соединения. Время экспозиции растений под колпаком в условиях естественного режима освещения составляло трое суток.

Контрольные растения располагались под колпаком при таком же режиме освещения. Опыт закладывался в начале июля. В первых числах каждого квартала повторялась экспозиция исследуемых растений под колпаком с изучаемыми ароматическими соединениями.

Масса ароматического соединения, наносимого на поверхность колпака, рассчитывалась соответственно концентрации 750 мг/м³.

Физиолого-биохимические исследования листьев среднего яруса проводились на 3-и и 15-е сутки от начала эксперимента. Новые листья исследовались как на предмет физиолого-биохимических показателей, так и на особенности анатомического строения. В течение последующего года изучались закономерности роста растений эксперимента.

В листьях определялось содержание суммы хлорофиллов *a* и *b*, суммы фенольных соединений, водорастворимого белка и растворимых редуцирующих сахаров общепринятыми методами [21]. Интенсивность фотосинтеза и интенсивность дыхания определялись с помощью газоанализатора «TESTO» (точность определения 10 ppm). Учет нарастания побегов и увеличения числа листьев осуществлялся по [22]. Исследование анатомических характеристик листа проводилось по [22] с помощью микроскопа «Биолам Р-15».

Полученные данные обработаны статистически с использованием рекомендаций Г.Ф. Лакина [23] с помощью табличного процессора Microsoft Excel 2000. Вариационная статистика включала определение среднего арифметического (*M*) и средней ошибки среднего арифметического ($\pm m$) вариационного ряда. Достоверность различий показателей опыта в сравнении с контролем оценена по *t*-критерию Стьюдента при 95%-ном уровне доверительной вероятности.

Результаты и их обсуждение. Характеристика некоторых физиолого-биохимических показателей листьев Циссуса ромболистного под воздействием ароматических соединений представлена в табл. 1. После 3-суточного пребывания в атмосфере с концентрацией 750 мг/м³ отмечается максимальное достоверное снижение содержания суммы хлорофиллов по сравнению с контролем в вариантах с фенолом, стиролом и бензолом. Так, под воздействием стирола по сравнению с контролем снижение содержания хлорофиллов составляет 10,59%, а под воздействием фенола и бензола – соответственно 9,43% и 9,34%. В тоже время толуол и ксилол вызывают незначительное снижение содержания хлорофиллов, которое не вошло в статистические рамки достоверности.

На третьи сутки отмечается достоверное повышение в тканях листа под воздействием фенола, стирола и бензола суммы растительных фенольных соединений по сравнению с контролем. Максимальное повышение отмечается под воздействием фенола

(на 25,16%). В то же время в опыте со стиролом отмечается повышение фенольных соединений на 20,75% относительно контроля. Ксилол и толуол таких существенных изменений в биохимическом составе тканей листа не вызывают. Так, табличное увеличение содержания фенольных соединений под воздействием ксилы составило всего 0,31% от контроля (эта величина не вошла в рамки достоверности).

На 15-е сутки после фумигации отмечается в той или иной степени разной интенсивности восстановление в содержании фенольных соединений у обработанных растений относительно контроля. В опыте с фенолом повышение содержания растительных фенольных соединений составило только 15,67% относительно контроля (достоверный показатель).

По всей очевидности фумигация листьев приводит не только к изменению проницаемости биомембран, смещению рН цитоплазмы в сторону ее подкисления, но и к существенному увеличению концентрации фенольных соединений (как видно из табл. 1). Все это является причинами изменения фотосинтетического аппарата. И прежде всего – содержания суммы хлорофиллов *a* и *b*.

На 15-е сутки восстановление содержания в листьях хлорофиллов в значительной степени отстает от восстановления содержания в листовой пластинке фенольных соединений. Это отмечено в опытах с фенолом, стиролом и бензолом.

Очевидно, резкий скачок в повышении концентрации фенолов в тканях не только листьев, но и апикальной меристемы приводит к существенному снижению хлорофиллов в молодых листьях, которые закладываются сразу же после проведенных фумигаций. При этом отмечается, что относительно контроля, содержание в них суммы хлорофиллов *a* и *b* более низкое, чем на третьи сутки в листьях с оформленным фотосинтетическим аппаратом. При этом более токсичным воздействием обладает стирол (снижение суммы хлорофиллов в молодых листьях относительно контроля составило 15,53%). В вариантах опыта с фенолом, стиролом, бензолом и толуолом отмечается негативное воздействие ароматических соединений на формирование фотосинтетического аппарата молодых листьев.

В молодых листьях отмечается под воздействием фенола, стирола и бензола достоверное повышение содержания суммы растительных фенольных соединений относительно контроля (соответственно на 12,75%, 11,07% и 9,73%).

В опытах с фенолом, стиролом и бензолом на третьи сутки отмечается достоверное повышение концентрации водорастворимых белков по сравнению с контролем (соответственно на 10,95%, 14,45% и 13,52%). На 15-е сутки сохраняется довольно высокое достоверное увеличение концентрации водорастворимого белка в опытах с фенолом и стиролом по сравнению с контролем (на 14,15% и 15,08% соответственно). В то же время в опыте с бензолом наблюдается менее значительное достоверное увеличение концентрации водорастворимого белка относительно контроля (на 9,28%). В молодых листьях отмечается не столь высокая разница в содержании водорастворимого белка относительно контроля, что указывает на адаптивный характер роли водорастворимых белков. По всей очевидности, их физиологическая значимость в большей степени сводится к образованию у изучаемого вида конъюгатов до включения механизма метаболической детоксикации указанных фенолов.

В вариантах с толуолом и ксилолом не обнаруживается таких скачков в повышении содержания водорастворимых белков (отсутствует достоверность полученных результатов относительно контроля).

Концентрация растворимых редуцирующих сахаров повышается в вариантах с фенолом, стиролом и бензолом в достоверных величинах, соответственно на третьи сутки: на 12,85%, 10,46% и 9,59% относительно контроля. На 15-е сутки наблюдается дальнейшее достоверное повышение концентрации сахаров (на 16,01%, 13,38% и 11,40% относительно контроля), что указывает на гидролитическую реакцию в ответ на воздействие этих ароматических соединений.

Анализируя результаты исследований по содержанию растворимых редуцирующих сахаров, можно заключить, что повышение их концентрации является важнейшим механизмом в сохранении тургисцентности тканей листа, что важно при регуляции зияния устьичного аппарата в целях ограничения поступления в лист токсических соединений.

Интенсивность фотосинтеза на третьи сутки резко снижается в достоверных величинах под воздействием стирола и фенола относительно контроля (на 29,65% и 29,57% соответственно). Почти такая же тенденция сохраняется на 15-е сутки и в молодых листьях, что указывает на глубокое воздействие фенола и стирола на фотосинтезирующий аппарат клеток.

В молодых листьях отмечается снижение концентрации хлорофиллов под воздействием фенола и стирола относительно контроля соответственно на 13,62% и 15,53%, что приводит к уменьшению интенсивности фотосинтеза в первом варианте на 24,01%, во втором – на 21,90% по сравнению с контролем.

Под воздействием фенола, стирола и бензола на третьи сутки наблюдается достоверное повышение интенсивности дыхания относительно контроля на 14,24%, 16,16% и 10,88% соответственно, что связано, вероятнее всего, с интенсификацией гидролитических процессов, которые привели в первую очередь к повышению в тканях содержания редуцирующих сахаров.

Интенсивность дыхания в молодых листьях в указанных вариантах достоверно увеличена по сравнению с контролем на 8,19%, 6,93% и 9,61% соответственно. Можно отметить более высокую интенсивность дыхания в молодых листьях под воздействием бензола, чем стирола.

Под влиянием толуола и ксилола не отмечается такого высокого изменения в интенсивности фотосинтеза и дыхания, что указывает на относительно низкую токсичность данных соединений на Циссус ромболистный. Полученный результат по интенсивности фотосинтеза в варианте с ксилолом относительно контроля на 15-е сутки является недостоверным. По интенсивности дыхания относительно контроля в вариантах с толуолом и ксилолом достоверность отсутствует, аналогично, как и по содержанию сахаров.

Анализируя изменение некоторых физиолого-биохимических показателей Циссуса ромболистного под воздействием ароматических соединений, следует отметить высокую токсичность фенола, стирола, бензола и относительно низкую токсичность толуола и ксилола. По всей очевидности, данный вид растения имеет механизмы быстрой утилизации толуола и ксилола, что обусловлено наличием в структуре их молекул метильных групп.

Изученные особенности роста Циссуса ромболистного под воздействием ароматических соединений отражены в табл. 2. В контроле наиболее высокая интенсивность нарастания побегов отмечается во II и III кварталах ($19,63 \pm 0,89$ см и $20,12 \pm 0,91$ см соответственно). В этот же период отмечается максимальное увеличение числа листьев ($4,8 \pm 0,32$ шт. и

5,1±0,42 шт. соответственно). Интенсивность нарастания побегов и увеличения числа листьев определяется соотношением интенсивности фотосинтеза и интенсивности дыхания. В большинстве вариантах опыта наименьшее нарастание побегов и формирование новых листьев отмечено под воздействием стирола. В то же время толуол и ксилол оказывают меньшее ингибирующее влияние на растение.

Толуол и ксилол проявляют большую токсичность в I и IV кварталы года (полученные результаты являются достоверными по сравнению с контролем), а во II и III кварталах их токсичность минимальная (полученные данные недостоверны). Так, в I квартале относительно контроля в опытах с толуолом и ксилолом нарастание побегов соответственно составляет 2,81±0,12 см и 2,95±0,14 см, а число листьев – 1,7±0,42 шт. и 2,1±0,34 шт. В IV квартале под воздействием данных соединений относительно контроля нарастание побегов составило 3,72±0,15 см и 4,05±0,17 см, а число листьев – 2,3±0,42 шт. и 2,5±0,35 шт. соответственно.

Особый интерес представляет изменение некоторых анатомических показателей листьев *Циссуса ромболистного* под воздействием ароматических соединений (табл. 3). Так, под воздействием фенола, стирола и бензола относительно контроля наблюдается достоверное утолщение листовой пластинки на 10,04%, 7,31% и 6,47% соответственно. Толщина столбчатого и губчатого мезофилла достоверно увеличена относительно контроля в вариантах опыта с фенолом, стирилом и бензолом. Так, под воздействием фенола утолщение мезофилла максимально (толщина столбчатого мезофилла увеличена относительно контроля на 9,95%, а губчатого – на 11,98%). У растений, обработанных стирилом, толщина столбчатого мезофилла увеличена на 9,54%, а губчатого – на 7,39% по отношению к контролю. При этом развивается ярко выраженная мелкоклеточность мезофилла. Максимально она проявляется под воздействием фенола, соответственно клетки столбчатого мезофилла относительно контроля уменьшаются на 16,03% и 10,01%, а губчатого – на 12,55% и 8,33%. Под влиянием стирола клетки столбчатого мезофилла уменьшаются на 8,50% и 8,78%, а губчатого – на 7,40% и 8,27% относительно контроля. Данные по проявлению мелкоклеточности под воздействием фенола, стирола и бензола являются достоверными.

Под воздействием фенола, стирола и бензола наблюдается достоверное утолщение как верхнего, так и нижнего эпидермиса за счет ярко выраженной кутикулизации листа. Так, в варианте с фенолом кутикулизация максимальна (толщина кутикулы увеличена относительно контроля в верхнем эпидермисе на 9,09%, в нижнем – на 11,61%). В опыте со стирилом толщина кутикулы увеличена в верхнем эпидермисе на 7,39%, в нижнем – на 10,71% относительно контроля.

В вариантах с толуолом и ксилолом достоверное утолщение листовой пластинки и мезофилла не наблюдается, не проявляется и достоверная мелкоклеточность мезофилла; толщина эпидермиса и кутикулы находится в пределах контрольных величин.

Заключение. Впервые получены данные по влиянию ряда ароматических соединений (фенол, стирол, бензол, толуол, ксилол) на физиолого-биохимические показатели, закономерности строения листа и особенности роста в течение года *Циссуса ромболистного* в условиях эксперимента.

Таблица 1

**Изменение некоторых физиолого-биохимических показателей
листьев *Cissus rhombifolia* Vahl под воздействием ароматических соединений**

Показатель	Вариант	Значения показателей		
		на 3 сутки	на 15 сутки	новые листья
Хл.а + хл.б, мг % АБС	Контроль	35,97±1,09	35,14±1,05	34,52±0,95
	Фенол	32,58±1,06*	31,29±0,86*	29,82±0,88*
	Стирол	32,16±1,12*	31,03±0,85*	29,16±0,87*
	Бензол	32,61±1,02*	32,15±0,97*	29,72±0,84*
	Толуол	34,12±1,08	34,26±1,03	31,62±0,94*
	Ксилол	34,95±1,17	35,03±1,06	32,71±0,91
Сумма феноль- ных соедине- ний, % АБС	Контроль	3,18±0,09	3,19±0,09	2,98±0,06
	Фенол	3,98±0,12*	3,69±0,11*	3,36±0,12*
	Стирол	3,84±0,11*	3,62±0,11*	3,31±0,12*
	Бензол	3,76±0,11*	3,54±0,10*	3,27±0,10*
	Толуол	3,21±0,10	3,32±0,10	3,04±0,09
	Ксилол	3,19±0,09	3,21±0,09	2,98±0,07
Белок водорас- творимый, % АБС	Контроль	4,29±0,11	4,31±0,11	4,61±0,11
	Фенол	4,76±0,12*	4,92±0,12*	4,97±0,14*
	Стирол	4,91±0,15*	4,96±0,11*	4,98±0,13*
	Бензол	4,87±0,11*	4,71±0,12*	4,95±0,12*
	Толуол	4,51±0,12	4,37±0,11	4,68±0,11
	Ксилол	4,32±0,11	4,27±0,12	4,65±0,11
Сахара раство- римые (реду- цирующие), % АБС	Контроль	4,59±0,13	4,56±0,13	4,46±0,12
	Фенол	5,18±0,16*	5,29±0,17*	4,98±0,14*
	Стирол	5,07±0,15*	5,17±0,16*	4,86±0,15*
	Бензол	5,03±0,14*	5,08±0,15*	4,85±0,13*
	Толуол	4,93±0,13	4,95±0,15	4,62±0,14
	Ксилол	4,91±0,15	4,93±0,14	4,59±0,13
\mathcal{T} ф-за, мг CO ₂ / дм ² *час	Контроль	24,18±0,73	23,96±0,65	25,16±0,72
	Фенол	17,03±0,49*	17,26±0,52*	19,12±0,57*
	Стирол	17,01±0,47*	17,56±0,54*	19,65±0,59*
	Бензол	19,16±0,55*	19,93±0,53*	19,75±0,58*
	Толуол	21,34±0,64*	22,12±0,55*	21,18±0,56*
	Ксилол	22,16±0,61*	22,79±0,54	23,19±0,58*
\mathcal{T} дых., мг CO ₂ / дм ² *час	Контроль	6,25±0,15	6,31±0,16	6,35±0,16
	Фенол	7,14±0,17*	6,95±0,18*	6,87±0,17*
	Стирол	7,26±0,16*	6,83±0,16*	6,79±0,15*
	Бензол	6,93±0,18*	6,84±0,17*	6,96±0,16*
	Толуол	6,34±0,17	6,29±0,17	6,54±0,15
	Ксилол	6,28±0,16	6,25±0,16	6,43±0,16

Примечание: * – статистически достоверные различия в сравнении с контролем (p<0,05).

Особенности роста *Cissus rhombifolia* Vahl под воздействием ароматических соединений

Вариант	Значения показателей по кварталам							
	нарастание побега (см)				число листьев (шт.)			
	I–III	IV–VI	VII–IX	X–XII	I–III	IV–VI	VII–IX	X–XII
Контроль	3,56±0,15	19,63±0,89	20,12±0,91	4,93±0,19	3,2±0,42	4,8±0,32	5,1±0,42	3,5±0,32
Фенол	2,18±0,10*	15,72±0,69*	14,18±0,63*	3,24±0,13*	1,5±0,36*	3,1±0,38*	3,4±0,39*	1,9±0,36*
Стирол	2,19±0,09*	14,95±0,64*	13,16±0,58*	3,43±0,15*	1,4±0,32*	2,7±0,42*	3,1±0,38*	1,7±0,46*
Бензол	2,12±0,09*	16,65±0,71*	15,82±0,71*	3,51±0,16*	1,6±0,39*	3,7±0,42*	3,2±0,32*	1,9±0,35*
Толуол	2,81±0,12*	18,31±0,79	18,04±0,73	3,72±0,15*	1,7±0,42*	3,9±0,34	4,4±0,48	2,3±0,42*
Ксилол	2,95±0,14*	18,95±0,81	18,31±0,75	4,05±0,17*	2,1±0,34*	4,1±0,34	4,9±0,32	2,5±0,35*

Примечание: * – статистически достоверные различия в сравнении с контролем ($p < 0,05$).

**Изменение некоторых анатомических показателей
листьев *Cissus rhombifolia* Vahl под воздействием ароматических соединений (мкм)**

Вариант	Толщина листа	Эпидермис верхний	Эпидермис нижний	Мезофилл		Кутикула верхняя	Кутикула нижняя	Клетки мезофилла	
				столбчатый	губчатый			столбчатого	губчатого
Контроль	132,54±2,96	5,31±0,08	8,94±0,16	51,04±0,63	64,45±0,93	1,76±0,02	1,12±0,02	13,29±0,21	15,14±0,36
								25,07±0,39	16,56±0,39
Фенол	145,85±2,98*	5,84±0,12*	9,61±0,18*	56,12±0,73*	72,17±0,98*	1,92±0,03*	1,25±0,03*	11,16±0,19*	13,24±0,36*
								22,56±0,29*	15,18±0,43*
Стирол	142,23±2,87*	5,81±0,11*	9,43±0,14*	55,91±0,94*	70,46±1,25*	1,89±0,02*	1,24±0,03*	12,16±0,21*	14,02±0,37*
								22,87±0,31*	15,19±0,56*
Бензол	141,12±2,74*	5,79±0,09*	9,36±0,13*	54,85±0,97*	70,15±1,06*	1,87±0,02*	1,21±0,02*	12,42±0,31*	14,11±0,36*
								23,65±0,32*	15,29±0,41*
Толуол	133,35±2,68	5,51±0,08	9,01±0,11	52,07±1,52	66,51±1,84	1,77±0,02	1,13±0,02	13,11±0,29	14,97±0,34
								24,85±0,39	15,93±0,48
Ксилол	133,29±2,93	5,48±0,08	8,97±0,09	51,85±1,49	66,12±1,83	1,76±0,02	1,12±0,02	13,24±0,27	15,03±0,34
								25,05±0,42	16,11±0,52

Примечание: * – статистически достоверные различия в сравнении с контролем ($p < 0,05$).

Для Циссуса ромболистного под воздействием указанных ароматических соединений характерны следующие изменения:

1. Достоверное уменьшение содержания суммы хлорофиллов *a* и *b* на фоне увеличения концентрации фенольных соединений, водорастворимых белков и растворимых редуцирующих сахаров под воздействием фенола, стирола и бензола.
2. Отсутствие достоверности указанной выше закономерности в опытах с толуолом и ксилолом.
3. Ярко выраженное утолщение листовой пластинки с проявлением мелкоклеточности мезофилла, кутикулизации под воздействием фенола, стирола и бензола.
4. Относительно изученного вида высокотоксичными являются фенол, стирол и бензол, низкой токсичностью обладают толуол и ксилол.
5. Высокая токсичность фенола, стирола и бензола проявляется в течение всего года, а токсичность толуола и ксилола в форме ингибирования ростовых процессов отмечается в осенне-зимний период.

Таким образом, максимально токсичными из изученных ароматических соединений для Циссуса ромболистного являются фенол, стирол и бензол. Толуол и ксилол проявляют минимальную токсичность, а следовательно, можно рекомендовать указанный вид для использования в озеленении соответствующих производственных интерьеров.

Л и т е р а т у р а

1. Медведев, В.А. Взаимодействие экзогенных ароматических соединений с клеточной мембраной / В.А. Медведев // Актуальные задачи физиологии и биохимии растений в ботанических садах СССР: тез. докл. 1-го Всесоюз. совещ., Звенигород, 14–16 окт. 1984 г. / Гл. бот. сад АН СССР; редкол.: Л.Н. Андреев [и др.]. – М., 1984. – С. 117–118.
2. Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде: структура и функция ассимиляционного аппарата / Н.В. Гетко. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 208 с.
3. Игнатенко, А.А. Ответные реакции в аминокислотном обмене растений на действие и последствие фенола / А.А. Игнатенко // Экологические и физиолого-биохимические аспекты антропогенности растений: тез. докл. Всесоюз. конф., Таллин, 3–5 дек. 1986 г. / Таллинский бот. сад; редкол.: Л. Мартин [и др.]. – Таллин, 1986. – Ч. 2. – С. 75–76.
4. Graser, H. Schlusselferment des xenobiotika-metabolismus in hohern pflanzen / H. Graser // Potsdam Forsch. – 1983. – № 35. – S. 64–80.
5. Cardini, C.E. Biosynthesis of plant glycosides from uridine diphosphate glucose / C.E. Cardini, T. Yamaha // Nature. – 1958. – Vol. 182, № 4647. – P. 1446–1447.
6. Запрометов, М.Н. Метаболизм фенольных соединений в растениях / М.Н. Запрометов // Биохимия. – 1977. – Т. 42, вып. 1. – С. 3–20.
7. Запрометов, М.Н. О способности к расщеплению бензольного кольца у высших растений. Глубокое окисление C¹⁴-катехинов в побегах чая / М.Н. Запрометов // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 125, № 1. – С. 1359–1362.

8. Макеев, А.М. Микросомальное гидрокселирование 2,4-Д в растениях / А.М. Макеев, А.Ю. Маковойчук, Д.И. Чкаников // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 233, № 6. – С. 1222–1225.
9. Маргна, У.В. Катаболические превращения фенолов в растениях / У.В. Маргна, Л.Э. Лаанест // Физиология и биохимия культурных растений. – 1980. – Т. 12, № 3. – С. 227–237.
10. Заіменко, Н.В. Вплив бензолу на активність окиснювально-відновних ферментів і вміст деяких асимілятів у листках декоративних рослин / Н.В. Заіменко, Т.М. Черевченко, І.П. Харитонова // Физиол. и биохимия культ. раст. – 1999. – № 5. – С. 345–350.
11. Казимиров, И.С. Устойчивость некоторых тропических и субтропических растений к воздействию бензола / И.С. Казимиров // Сахаровские чтения 2005 года: экологические проблемы XXI века: материалы V Междунар. науч. конф., Минск, 20–21 мая 2005 г.: в 2 ч. / Междунар. гос. экологический ун-т; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Гомель, 2005. – Ч. 1. – С. 210–211.
12. Казимиров, И.С. Устойчивость Плюща обыкновенного (*Hedera helix* L.) к воздействию стирола / И.С. Казимиров // Региональные проблемы экологии: пути решения: материалы II Междунар. экологического симп., Полоцк, 2–3 сент. 2005 г.: в 2 т. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Полоцк, 2005. – Т. 1. – С. 70.
13. Лихолат, Ю.В. Водный режим цветочно-декоративных растений в условиях загрязнения среды органическими поллютантами / Ю.В. Лихолат, Л.Г. Долгова // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития: тез. докл. респ. науч. конф., посвящ. 25-летию Донец. бот. сада АН УССР, Киев, сент. 1990 г. / Донец. бот. сад АН УССР; редкол.: В.П. Тарабрин [и др.]. – Киев, 1990. – С. 129–130.
14. Коршиков, И.И. Фитотоксичность фенольных ингредиентов загрязнения окружающей среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.12 / И.И. Коршиков; Вильнюсский гос. ун-т. – Вильнюс, 1981. – 24 с.
15. Угрехелидзе, Д.Ш. О продуктах конъюгации фенола в растениях / Д.Ш. Угрехелидзе, Т.И. Митаишвили, Д.И. Чрикишвили // Метаболизм химических загрязнителей биосферы в растениях: сб. науч. ст. / Ин-т биохимии АН Груз. ССР; под науч. ред. С.В. Дурмишидзе. – Тбилиси, 1979. – С. 43–49.
16. Арзиани, Б. Хинон-аминокислотное взаимодействие в процессе детоксикации экзогенных простых фенолов / Б. Арзиани, Т.И. Митаишвили // Проблемы аграрной науки: сб. науч. ст. / Груз. гос. аграр. ун-т, Арм. с.-х. акад. – Тбилиси, 1999. – С. 122–125.
17. Стом, Д.И. Деградация бензола и некоторых фенолов в присутствии проростков кукурузы / Д.И. Стом [и др.] // Растения и химические канцерогены: сб. науч. ст. / Ботанический ин-т АН СССР, Комитет по канцерогенным веществам и мерам профилактики МЗ СССР; под науч. ред. Э.И. Слепяна. – Л., 1979. – С. 159–160.

18. Стом, Д.И. К вопросу о деструкции бензола и некоторых фенолов водными растениями / Д.И. Стом, С.С. Тимофеева, Л.И. Белых // Растения и химические канцерогены: сб. науч. ст. / Ботанический ин-т АН СССР, Комитет по канцерогенным веществам и мерам профилактики МЗ СССР; под науч. ред. Э.И. Слепяна. – Л., 1979. – С. 157–158.
19. Митаишвили, Т.И. Особенности биотрансформации ароматических ксенобиотиков в растениях / Т.И. Митаишвили, Д.Ш. Угрехелидзе, Б. Арзиани // Пробл. аграр. науки. – 2000. – № 11. – С. 127–132.
20. Дурмишидзе, С.В. Об исследованиях метаболизма ксенобиотиков, проводимых в Институте биохимии растений АН ГССР / С.В. Дурмишидзе // Метаболизм химических загрязнителей биосферы в растениях: сб. науч. ст. / Ин-т биохимии АН Груз. ССР; под науч. ред. С.В. Дурмишидзе. – Тбилиси, 1979. – С. 5–23.
21. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков [и др.]; под общ. ред. А.И. Ермакова. – 2-е изд. – Л.: Колос, 1972. – 456 с.
22. Клейн, Р.М. Методы исследования растений / Р.М. Клейн, Д.Т. Клейн. – М.: Колос, 1974. – 528 с.
23. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

Поступило 04.08.2006