

УДК 635.914+635.918:543.813

Экспериментальное изучение поглощения формальдегида некоторыми видами рода *Ficus* L. для применения в фитодизайне

А. С. СЕРАЯ¹, Н. В. ЦЫБУЛЯ², Г. Г. ДУЛЬЦЕВА³¹ГНОУ Забайкальский ботанический сад,
проспект Генерала Белика, 17, Чита 672051 (Россия)E-mail: allaseraja@rambler.ru²Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения РАН,
ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск 630090 (Россия)³Институт химической кинетики и горения Сибирского отделения РАН,
ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090 (Россия)

Аннотация

Исследовано поглощение формальдегида из газовой фазы растениями рода *Ficus*. Выявлены виды, перспективные для применения в фитодизайне с целью очистки воздуха в помещениях от формальдегида.

Ключевые слова: фикус, фитодизайн, газопоглотительная активность растений, формальдегид

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое развитие получил биологический подход к очистке воздушной среды помещений от газообразных токсических веществ с использованием декоративных тропических растений. Впервые такие эксперименты были проведены сотрудниками NASA (Национального агентства по авионавтике и исследованию космического пространства) для очистки воздуха в отсеках космических кораблей орбитальных станций. В 1980 г. было сделано очень важное открытие: комнатные растения способны активно удалять из атмосферы замкнутых пространств летучие органические соединения [1]. Эксперименты проводились в боксах из плексигласа с видами *Scindapsus aureus*, *Chlorophytum elatum* var. *vittatum* и *Syngonium podophyllum*. Результаты показали, что хлорофитум хохлатый способен значительно снижать содержание формальдегида в воздухе [2]. Кроме того, доказана эффективность применения около 30 видов комнатных растений (*Aglaonema commutatum*, *Azalea indica*, *Anthurium andreaenum*, *Araucaria*

heterophylla, *Begonia semperflorens*, *Dracaena deremensis*, *Codiaeum variegatum*, *Maranta leuconeura* и др.) для очистки воздуха помещений от формальдегида, ацетальдегида, бензальдегида, трихлорэтанола, угарного газа, ксилола, толуола, акролеина, метилэтилкетона и ацетона.

Авторы работ [3, 4] исследовали способность таких комнатных растений, как *Chlorophytum comosum*, *Doritis pulcherrima* и *Epidendrum radicans*, поглощать различные углеводороды: толуол, бензол, циклогексан, *n*-гексан. Наиболее эффективным газопоглотителем среди них оказался *Chlorophytum comosum*.

Наши исследования воздуха помещений детских учреждений Новосибирска, как с внутренними источниками карбонильных соединений (конструкционные материалы, обои, краски), так и с внешними (расположение на пересечении напряженных автомагистралей), при озеленении некоторыми видами декоративных растений показали, что в обоих случаях в присутствии таких видов растений, как *Ficus benjamina*, *Billbergia nutans*, *Chlorophytum comosum*, наблюдаются достоверно меньшие концентрации карбо-

нильных соединений, чем в помещении без растений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изучение газопоглотительных свойств тропических растений, в том числе видов рода *Ficus*, имеет актуальное значение [5–7].

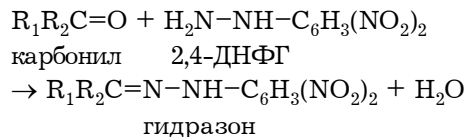
Цель настоящей работы – изучение перспектив использования растений различных видов рода *Ficus* для оздоровления воздушной среды помещений, в частности для снижения концентрации формальдегида. В задачи наших исследований входили: отработка лабораторной методики для определения способности растений снижать концентрацию этого газообразного загрязнителя, исследование газопоглотительной активности 11 видов фикусов в лабораторных условиях, оценка газопоглотительной активности растений в зависимости от концентрации формальдегида, влажности воздуха, экспозиции, продолжительности использования в эксперименте, площади листовой поверхности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Нами проведено лабораторное исследование газопоглотительной активности 11 видов рода *Ficus*, наиболее распространенных в интерьере озеленении. В эксперименте использовались три герметичных бокса (размеры 50 × 50 × 70 см) вместимостью 0.175 м³, выполненных из прозрачного материала (оргстекла).

В качестве газообразного загрязнителя выбран формальдегид – один из приоритетных загрязнителей воздуха в помещениях [8]. В качестве источника формальдегида в лабораторных условиях использовали формалин. Содержание формальдегида в газовой фазе определяли путем концентрирования его при взаимодействии с 2,4-динитрофенилгидразином, нанесенным на сорбент. Образующийся в этой реакции гидразон идентифицировали и количественно определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [9].

Исследуемый воздух прокачивали со скоростью 1.5 л/мин через сорбционные трубки с молотым кварцем, на который наносили раствор 2,4-динитрофенилгидразина в воде, подкисленный серной кислотой до pH 2. При взаимодействии с карбонилами воздуха происходит образование гидразонов по реакции



Образующиеся гидразоны идентифицировали методом ВЭЖХ на микроколоночном хроматографе Милихром-1 с детектированием по УФ-поглощению на длине волны 354 нм. Использовались стандартные колонки КАХ-2 с обращенно-фазным сорбентом LiChrosorb-C₁₈. Элюентом служила смесь ацетонитрила с водой в соотношении 3 : 1. Количественное определение выполняли при помощи градуировочных графиков, построенных по результатам экспериментов для растворов гидразонов известной концентрации (приготовленных по навеске синтезированных индивидуальных гидразонов). Диапазон определяемых концентраций карбонильных соединений составлял от 0.1 до 390 мкг/м³.

Методика включала отбор проб воздуха из боксов после установки в них растений и сосудов с формалином (15 %), который служил источником формальдегида. Все опыты проводились в помещении северной экспозиции с целью минимизации влияния солнечного света. В опытные боксы помещали растения и сосуды с раствором формалина, в контрольный бокс – горшки с почвой, искусственные увлажнители (влажные полоски фильтровальной бумаги) и сосуд с раствором формалина. Измерение концентрации формальдегида в зависимости от требуемой экспозиции проводили путем введения пробоотборной трубки с реагентом в специальное отверстие бокса, которое потом герметично закрывалось. Изучали зависимость концентрации формальдегида от площади листовой поверхности растений (0.14 и 0.30 м²), экспозиции, а также от влажности воздуха, так как в боксах с увеличением экспозиции она может значительно возрасти. В опытных боксах влажность воздуха повышалась в результате транспирации растений с различной площадью листовой поверхности, в контрольном – за счет искусственных увлажнителей. Динамику газопоглотительной активности изучали в дневное и ночное время. Эксперименты проводились в трехкратной повторности. Газопоглотительную активность

считали выраженной, если концентрация формальдегида снижалась более чем на 10 %.

Первоочередной задачей было определение устойчивости исследуемых видов фикуса к формальдегиду и его концентрации, при которой наблюдается выраженный газопоглотительный эффект. С этой целью было изучено поглощение формальдегида растениями из газовой фазы в экспериментальных боксах при исходных концентрациях его, изменяющихся в диапазонах 200–400 мкг/м³, что более чем в 100 раз превышает значение среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК) формальдегида, а также 100–150 мкг/м³ (в 30–50 раз выше ПДК). Концентрацию газа измеряли через 3 и 22 ч пребывания растений в экспериментальных боксах.

Проводили сравнительное хроматографическое исследование спиртовых экстрактов из листьев *F. benjamina* L. до и после контакта с газообразным формальдегидом. Определение химического состава выполняли с использованием жидкостного микроколоночного хроматографа Милихром-1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате эксперимента для всех 11 исследованных видов рода *Ficus* установлено снижение концентрации формальдегида (табл. 1) при его исходной концентрации 100–150 мкг/м³. При высокой концентрации (>100 ПДК) способность растений поглощать формальдегид снижается, но все исследованные виды демонстрируют физиологическую устойчивость к воздействию данного газа (только у *F. carica* наблюдалось небольшое повреждение молодых листьев). Снижение концентрации формальдегида в присутствии растений через 22 ч достигало своего максимума и составляло 30 % от исходного уровня (200–400 мкг/м³); при низких концентрациях газа эта величина достигала 40 %. Наибольшую активность в снижении концентрации формальдегида в этом диапазоне проявили *F. benjamina*, *F. binnendijkii* (выше 30 %), *F. retusa*, *F. lyrata*, *F. macrophylla*, *F. elastica* и *F. rubiginosa* (до 20 %). Виды *F. benghalensis*, *F. carica* проявляли активность в течение не продолжительного времени (см. табл. 1).

ТАБЛИЦА 1

Сравнительная оценка газопоглотительной активности исследуемых видов рода *Ficus* при различных концентрациях формальдегида

Вид	Исходная концентрация, мкг/м ³			
	100–150		200–400	
	Снижение концентрации, %, при экспозиции, ч			
	3	22	3	22
<i>Ficus binnendijkii</i> Mig. (Фикус биннедийка)	28±4	34±3	18±1	30±1
<i>F. benjamina</i> L. (Ф. бенджамина)	39±3	43±5	25±1	35±3
<i>F. benghalensis</i> L. (Ф. бенгальский)	18±2	9±3	11±2	6±1
<i>F. carica</i> L. (Ф. карика, смоковница обыкновенная)	6±1	14±5	11±1	6±5
<i>F. elastica</i> cv. ‘Melany’ Roxb. ex Hornem. (Ф. упругий)	0	20±5	3±1	12±1
<i>F. lyrata</i> Warb. (Ф. лировидный)	26±6	36±4	11±1	15±2
<i>F. macrophylla</i> Desf. (Ф. крупнолистный)	11±1	28±5	5±1	15±5
<i>F. natalensis</i> Hochst. (Ф. натальский)	7±5	17±3	–	–
<i>F. rubiginosa</i> L. (Ф. ржаволистный)	13±3	22±6	8±5	17±4
<i>F. retusa</i> L. Mant. (Ф. притупленный)	27±5	34±2	10±2	13±1
<i>F. pumila</i> L. (Ф. крохотный)	13±4	0	–	–

*Для формальдегида среднесуточное значение ПДК_{сс}, равное 3 мкг/м³, – безопасный для человека уровень при воздействии в течение 1 сут.

ТАБЛИЦА 2

Изменение влажности воздуха в экспериментальных боксах в зависимости от экспозиции
(в опытных боксах с *F. benjamina*)

Экспозиция, ч	Влажность, %			
	в контрольных боксах		в опытных боксах	
	без увлажнителей	с увлажнителями ($S_{\text{л}} = 0.30 \text{ м}^2$)	$S_{\text{л}} = 0.14 \text{ м}^2$	$S_{\text{л}} = 0.30 \text{ м}^2$
1	77±3	85±3	88±3	93±3
2	86±2	89±2	92±2	96±0.5
3	90±2	91±2	95±2	97±2
4	91±1	92±1	95±2	98±2
5	91±3	93±3	96±2	100±0.5
6	91±2	95±2	96±2	97±3
7	91±1	96±0.5	96±2	97±2
8	95±0.5	96±0.5	96±0.5	97±2
9	95±0.5	96±0.5	98±2	98±2

Примечание. Здесь и в табл. 3, 5: $S_{\text{л}}$ – площадь листьев.

На основании полученных данных выбран оптимальный диапазон исходной концентрации газа для выявления газопоглолительно-го действия растений, и дальнейшие опыты проводили с концентрацией формальдегида до 100 мкг/м^3 .

При отработке методики необходимо изучить влияние влажности воздуха на газопоглолительную активность видов, поскольку влажность в боксах сильно отличается от влажности в помещениях. Например, обнаружено, что скорость изменения относительной влажности воздуха в боксах прямо зависит от температуры воздуха в помещениях, площади листьев и от экспозиции. При комнатной температуре (22–23 °C) влажность воздуха в боксах уже через

1 ч становится существенной. В течение первых трех часов она достигает своего максимума и далее держится на одном уровне на протяжении всего времени опыта (табл. 2).

Одной из задач исследования также было определение влияния влажности воздуха на изменение концентрации формальдегида в боксах. Это связано с тем, что при высокой влажности газообразный формальдегид образует гидрат, менее токсичный для растений по сравнению с негидратированным формальдегидом, преобладающим при низкой влажности [9]. В табл. 3 приведены данные по изменению концентрации формальдегида в экспериментальных боксах с растением и с искусственными увлажнителями воздуха. Видно, что

ТАБЛИЦА 3

Изменение концентрации формальдегида в опытных боксах с *F. benjamina* и в контрольном боксе в зависимости от экспозиции

Время суток, ч	Экспозиция, ч	Концентрация формальдегида, мкг/м^3		Снижение концентрации (А), %	
		Контроль*	Опыт ($S_{\text{л}} = 0.30 \text{ м}^2$)	Контроль (с увлажнителями)	Опыт (с растениями)
10-00	1	54±4/51±4	41±5	5±4	27±7
11-00	2	52±5/53±7	39±5	0	37±7
12-00	3	56±6/55±7	34±5	0	34±3
13-00	4	57±7/54±5	34±5	0	38±5
14-00	5	53±7/54±7	32±5	0	37±4
15-00	6	54±8/55±7	32±3	0	44±2

*Первое значение – без увлажнителей, второе – с увлажнителями.

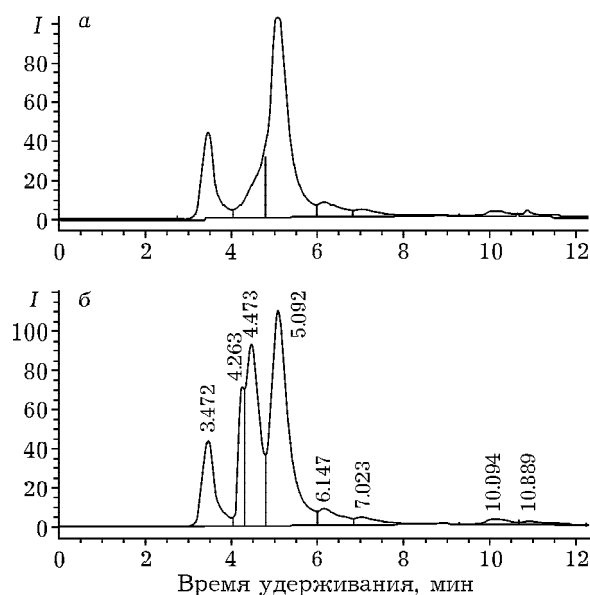


Рис. 1. Хроматограммы спиртового экстракта из *F. benjamina* до (а) и после контакта с формальдегидом (б).

само по себе повышение влажности воздуха в боксах не оказывает влияния на снижение в них концентрации формальдегида.

Для выяснения механизма связывания формальдегида в растениях проведено сравнительное хроматографическое исследование экстрактов из листьев *F. benjamina* L. до и после контакта с газообразным формальдегидом с концентрацией 150 мкг/м^3 (рис. 1). Видно, что после контакта появляется новый пик при времени удерживания около 4.5 мин. По-

видимому, формальдегид в листьях вступает в химическую реакцию, в результате которой и образуется вещество, детектированное в виде нового пика.

На следующем этапе работы проводилось исследование изменения концентрации формальдегида в зависимости от экспозиции. Измеряли концентрацию формальдегида в опытных боксах в дневное и ночное время (табл. 4).

Изучение динамики поглощения формальдегида через каждый час в течение шестичасовой экспозиции в дневное и ночное время суток показало, что существенное снижение концентрации загрязнителя наблюдается в первые 3–4 ч опыта, в дальнейшем поглощение происходит равномерно в течение всего эксперимента. Полученные данные свидетельствуют о том, что в ночное время *F. benjamina* поглощает формальдегид практически с такой же активностью, что и в дневное время суток.

Изучена зависимость газопоглотительной активности от площади листовой поверхности растений. В табл. 5 приведены данные по изменению поглощения формальдегида растениями видов *F. benjamina* и *F. binnendijkii* от площади листьев при экспозиции 3, 6 и 9 ч.

Установлено, что при одновременном использовании двух растений наблюдается более быстрое и сильное снижение концентрации формальдегида, чем в случае исполь-

ТАБЛИЦА 4

Изменение концентрации формальдегида в опытных боксах с *F. benjamina* в дневное и ночное время суток в зависимости от экспозиции

Экспозиция, ч	Время суток, ч	Исходная концентрация, мкг/м^3		А, %
		Контроль	Опыт	
1	10-00	45 ± 4	41 ± 5	27 ± 7
2	11-00	46 ± 2	39 ± 5	37 ± 7
3	12-00	44 ± 4	34 ± 5	34 ± 3
4	13-00	43 ± 3	34 ± 5	38 ± 3
5	14-00	46 ± 2	32 ± 5	37 ± 4
6	15-00	46 ± 3	32 ± 3	44 ± 2
1	21-00	54 ± 4	41 ± 5	25 ± 4
2	22-00	52 ± 5	37 ± 9	26 ± 4
3	23-00	56 ± 6	34 ± 6	40 ± 6
4	24-00	57 ± 7	34 ± 5	41 ± 1
5	1-00	53 ± 7	33 ± 5	39 ± 2
6	2-00	54 ± 8	32 ± 3	39 ± 4

ТАБЛИЦА 5

Изменение концентрации формальдегида в опытных боксах с *F. benjamina* и *F. binnendijkii* в зависимости от площади листьев при разных экспозициях

Вид	Экспозиция, ч	Концентрация формальдегида, мг/м ³			А, %	
		Контроль	$S_{л}$, м ²		$S_{л}$, м ²	
			0.14	0.30		
<i>F. benjamina</i>	3	142±17	102±17	88±14	28	37
	6	133±17	94±18	86±13	29	42
	9	139±18	92±15	80±14	34	47
<i>F. binnendijkii</i>	3	155±4	132±4	111±3	15	28
	6	153±4	127±4	103±3	17	33
	9	159±4	118±4	105±3	26	34

Примечание. Обозн. см. табл. 2.

зования одного растения, однако этот эффект не линейный (концентрация уменьшается не в 2 раза, а в 1.4–1.6 раза).

Сравнительный анализ степени газопоглотительной активности для разных видов растений при различных экспозициях и поглотительной способности растений в зависимости от общего времени использования данного растения в эксперименте (рис. 2) показал, что время “эксплуатации” не влияет на газопоглотительную способность видов *F. benjamina* и *F. retusa*. Для вида *F. benjamina* можно отметить постоянно высокую (40–50 %) поглотительную способность. Виды *F. lyrata* и *F. pumila* характеризуются резким снижением газопоглотительной способности при частом использовании в эксперименте.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что для улучшения эко-

логической обстановки помещений целесообразно использовать некоторые виды рода *Ficus*, обладающие выраженной газопоглотительной способностью. Из исследованных видов наиболее перспективными для использования в фитодизайне оказались *F. benjamina*, *F. retusa*, *F. lyrata*, *F. binnendijkii*. Растения этих видов обладают способностью значительно (на 30–50 %) снижать концентрацию формальдегида в воздухе, а *F. benjamina* представляет собой универсальный, круглосуточно действующий биологический фильтр.

ВЫВОДЫ

1. Все 11 исследованных видов рода *Ficus* оказались физиологически устойчивыми к воздействию формальдегида в диапазоне концентраций от 100 до 300 мкг/м³.

2. Наибольшую активность в поглощении формальдегида проявили следующие виды: *F. benjamina*, *F. binnendijkii*, *F. retusa* (от 30 до 40 %). Они оказались самыми устойчивыми к воздействию высоких концентраций формальдегида. Эффективность поглощения формальдегида этими растениями при различных концентрациях практически одинаковая.

Существенное снижение концентрации формальдегида при использовании изученных видов фикуса в основном происходит уже в первые 3–4 часа *F. benjamina* равномерно поглощает формальдегид как в дневное, так и в ночное время.

С увеличением площади листовой поверхности растений происходит более быстрое и

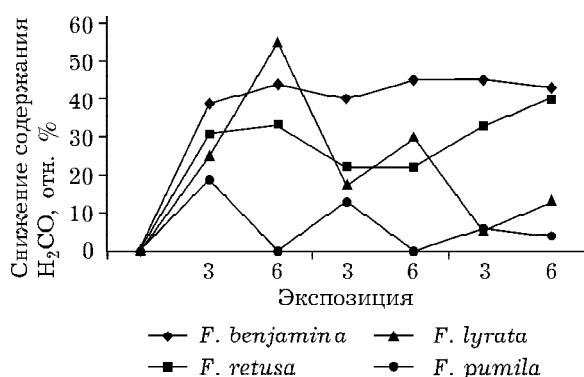


Рис. 2. Зависимость поглотительной способности растения от общего времени его использования в эксперименте. Опыты проводились в течение трех суток с 10 до 16 ч.

значительное снижение концентрации формальдегида, хотя этот эффект не линейный.

F. benjamina и *F. retusa* сохраняют способность поглощать формальдегид на протяжении всего эксперимента, а газопоглотительная способность *F. lyrata* и *F. pumila* при частом использовании резко уменьшается.

3. *F. benjamina* – наиболее перспективный вид для использования в фитодизайне в качестве биологического фильтра, так как он обладает способностью значительно снижать концентрацию формальдегида в воздухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ван дер Неер, Все о комнатных растениях, очищающих воздух, СЗКЭО “Кристалл”, С.-Петербург, 2006, 128 с.
- 2 В. С. Wolverton, How to Grow Fresh Air, Penguin Books, New York, 1997.
- 3 В. Б. Богатырь, К вопросу о биологической очистке газовой среды с помощью декоративных тропических растений закрытого грунта, Всесоюз. совещ. “Интродукция тропических и субтропических растений закрытого грунта”: Тез. докл., Кишинев, 1989, с. 29–30.
- 4 В. Б. Богатырь, А. Я. Безменов, Поглощение углеводородов из газовой среды тропическими растениями, Интродукция и акклиматизация растений: Сб. науч. тр., Наук. думка, Киев, 1991, вып. 15, с. 75–79.
- 5 Н. В. Цыбуля, Н. А. Рычкова, Г. Г. Дульцева, Г. И. Скубневская, *Химия в интересах устойчивого развития*, 8 (2000) 881.
- 6 Н. В. Цыбуля, Ю. Л. Якимова, Н. А. Рычкова и др., Научные и практические аспекты фитодизайна, Новосибирск, 2004.
- 7 А. С. Серая, Г. Г. Дульцева, Н. В. Цыбуля, Газопоглотительные возможности фикусов в отношении формальдегида, Материалы региональной науч.-практ. конф. “Флора, растительность и растительные ресурсы Забайкалья и сопредельных территорий”, Чита, 2005, с. 145–150.
- 8 H. J. Wiel, Man and His Ecosystem, Proc. 8th World Clean Air Congress, Amsterdam, 1989, vol. 1, pp. 193–198.
- 9 Г. И. Скубневская, Г. Г. Дульцева, Загрязнение атмосферы формальдегидом: Аналит. обзор, изд. ГПНТБ, Новосибирск, 1994, 70 с.