

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2016.60934

葛佳, 薛瑞娟, 陈高, 孙卫邦. 鸡矢藤及鸡粪的挥发性臭味分析及其科普价值解析[J]. 植物科学学报, 2016, 34(6): 934-940

Ge J, Xue RJ, Chen G, Sun WB. Analyzing fetid odors from *Paederia foetida* Linn. and chicken manure and deciphering their educational functions[J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(6): 934-940

鸡矢藤及鸡粪的挥发性臭味分析及其科普价值解析

葛佳^{1 2 3}, 薛瑞娟⁴, 孙卫邦^{1 2}, 陈高^{1 2*}

(1. 中国科学院昆明植物研究所, 昆明植物园, 昆明 650204; 2. 中国科学院昆明植物研究所, 东亚植物多样性与生物地理学重点实验室, 昆明 650204; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国科学院昆明植物研究所, 资源植物与生物技术所级重点实验室, 昆明 650204)

摘要: 自然界中动植物的名称通常是根据其生物学特征来命名的, 弄清这些名称与科学特征的关系是进行科普和自然教育的重要途径。本研究以中国科学院昆明植物研究所昆明植物园引种栽培的鸡矢藤(*Paederia foetida* Linn.) 为研究对象, 采用顶空固相微萃取(SPME) 和气相色谱-质谱(GC-MS) 联用法收集分析了该物种叶片的挥发性臭味成分, 并与人工饲养条件下鸡的排泄物(鸡粪)的臭味成分进行比较。结果表明, 鸡矢藤叶释放的挥发性成分以 2-己烯醛(34.3%)、2-己烯醇(19.7%) 和二甲基二硫(6.9%) 为主, 而鸡粪的臭味成分以吲哚(22.6%)、二甲基三硫(15.5%) 和苯酚(9.5%) 为主, 二者存在很大差异。鸡矢藤和鸡粪均呈现臭味, 植物分类学家基于对臭味的信号识别将鸡矢藤俗称为“鸡屎藤”有一定的合理性, 但严格意义上鸡矢藤和鸡粪的臭味组成成分差异显著。本研究为科学普及和开展自然教育, 激发公众好奇心, 促进公众探索未知自然提供了新的视角。

关键词: 鸡矢藤; 气相色谱-质谱; 鸡粪; 固相微萃取; 科普教育

中图分类号: Q946

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2016)06-0934-07

Analyzing Fetid Odors from *Paederia foetida* Linn. and Chicken Manure and Deciphering Their Educational Functions

GE Jia^{1 2 3}, XUE Rui-Juan⁴, SUN Wei-Bang^{1 2}, CHEN Gao^{1 2*}

(1. Kunming Botanical Garden, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China; 2. Key Laboratory for Plant Diversity and Biogeography of East Asia, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Key Laboratory of Economic Plants and Biotechnology, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China)

Abstract: Many animals and plants have been named based on their biological characteristics. Deciphering the relationships between scientific features and names of organisms can be an important pathway for nature education programs. In this study, fetid odors from *Paederia foetida* Linn. and chicken manure were investigated using headspace solid-phase micro-extraction followed by gas chromatography-mass spectrometry. The plants were collected from the Kunming Botanical Garden, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. The analyses revealed a significant difference in the composition of volatile compounds between *P. foetida* and chicken manure. The main compounds isolated from the leaves of *P. foetida* were 2-hexenal (34.3%), 2-hexen-1-ol (19.7%) and dimethyl disulfide (6.9%), whereas the main compounds isolated from chicken manure were indole (22.6%), dimethyl

收稿日期: 2016-05-18, 退修日期: 2016-07-11。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31400478); 云南省中青年学术和技术带头人后备计划(2015HB091)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (31400478) and Young Academic and Technical Leader Raising Foundation of Yunnan Province (2015HB091)。

作者简介: 葛佳(1986-), 女, 博士研究生, 研究方向为保护生物学与进化生态(E-mail: gejia1225@hotmail.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: chen_gao@mail.kib.ac.cn)。

trisulfide (15.5%) and phenol (9.5%). Although the smell of *P. foetida* has led to its common name 'chicken manure vine', the real composition of volatile compounds from the vine differs significantly from that of chicken manure. This study could provide new insights into developing public and environmental education, stimulating public curiosity and promoting public discovery of nature.

Key words: *Paederia foetida* Linn.; GC-MS; Chicken manure; Solid phase microextraction; Environmental education

自然界中动植物的名称通常是根据其生物学特征来命名的, 比如: 牛角瓜 (*Calotropis gigantea* Linn.) 的果实像牛角; 地涌金莲 (*Musella lasiocarpa* Franch.) 的花序像莲台; 猴欢喜 (*Sloanea sinensis* Hance) 的果实横切面像猴类的面孔; 臭菘 (*Symplocarpus foetidus* Linn.) 的叶片气味恶臭; 马兜铃属 (*Aristolochia*) 植物的花像铃铛; 鸡矢藤 (*Paederia foetida* Linn.) 的叶子搓揉后释放类似鸡粪的臭味; 角蜂眉兰 (*Ophrys speculum* Link) 的花酷似雌性胡蜂, 以吸引雄性胡蜂为其传粉。这些植物的特征对人类的感知系统而言(视觉、味觉、嗅觉等)是显而易见的。然而, 这些现象多数没有得到科学的解析, 人们闻到的臭味和气味受体的多寡、臭味化合物的阈值大小、人的生理状态、臭味化合物的韦伯-费希纳定律 (Weber-Fechner) 密切相关, 不同人可能得到完全不同的感官体验。科学阐述这些特征背后的生物学内涵是认识自然、开展科普教育、激发公众好奇心, 进而促进他们探索未知自然的重要途径。

茜草科 (Rubiaceae) 鸡矢藤属 (*Paederia*) 植物全球约 20 ~ 30 种, 多分布于热带和亚热带地区, 我国有 11 种 1 变种^[1]。该属植物大多为柔弱缠绕的藤本, 常被用作观赏植物, 叶片经搓揉后能释放出臭味, 这是鸡矢藤属多数种所共有的特征^[1]。该属有些种的叶片在我国海南、广东、广西等地是有名的特色小吃^[2, 3]。鸡矢藤属多种植物还是传统中药, 其全株提取物具有抗炎镇痛、消食化积、活血通络、降糖降脂等多种功效^[4-7]。该属鸡矢藤又名牛皮冻、斑鸠饭等, 叶揉碎后释放恶臭气味, 类似鸡粪臭, 故又名“鸡屎藤”。鸡矢藤是传统的药用植物, 研究发现, 鸡矢藤全株或地上部分水溶性成分或精油含量及化学组成在不同产地均存在显著差异^[5, 7-14]。马养民等^[9]发现鸡矢藤挥发油中主要成分为乙酸异戊酯、乙酸苯甲酯、十五碳酸乙酯

等; 谢惜媚等^[10]对野生新鲜鸡矢藤的挥发油分析发现其主要成分为反式-2-己烯醇、3-己烯醇、正己醇及二甲基二硫化物等; 任竹君等^[14]发现鸡矢藤含量最多的成分是棕榈酸、油酸及亚油酸等。以上研究均采用水蒸气蒸馏的方法获得鸡矢藤的精油, 但高温蒸馏方法获得的产物并不能代表常温下鸡矢藤叶片搓揉后释放的恶臭成分。

本研究以顶空固相微萃取 (SPME) 和气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用法分析鸡矢藤及鸡粪的挥发性臭味成分, 探讨常温下人为搓揉后鸡矢藤释放挥发性臭味的成分和组成比例, 并与鸡粪的臭味成分进行对比。通过对鸡矢藤及鸡粪臭味成分的分析, 为植物科学知识的普及和教育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

中国科学院昆明植物研究所昆明植物园内共有 8 株鸡矢藤 (25°08' N, 102°44' E, 海拔 1950 m, 年均降水量 1006.6 mm, 年均气温 14.6°C, 土壤以酸性红壤为主), 选取其中种源明确的 3 株为研究对象, 实验材料经孙卫邦研究员鉴定为茜草科鸡矢藤属植物鸡矢藤 (*Paederia foetida* Linn.)。该植物引自昆明西山, 作为观赏藤蔓植物在昆明植物园栽培多年, 开花结实正常, 花期稳定。从昆明茨坝家禽市场购买成年母鸡 3 只, 自然饲养 1 周后, 取排泄后常温放置 5 h 的鸡粪直接进行臭味成分收集分析。

1.2 气味分析

1.2.1 挥发性成分的收集

鸡矢藤叶片经搓揉后产生的气味和鸡粪散发的臭味采用顶空固相微萃取法收集。叶片气味收集于 2013 年 6 月, 取新鲜叶片用手搓揉, 以叶片释放强烈的臭味为准, 然后将叶片置于直径 2 cm、长 15 cm 的试管中, 让其自然释放臭气 30 min。萃

取头使用前于 260℃ 高温条件下活化 30 min 以去除本底噪音。活化结束后, 将 SPME 针管深入试管并固定于叶片样品的正上方, 管口用封口膜进行密封, 推动手柄杆使纤维头伸出针管, 萃取时间 30 min。萃取结束后直接上 GC-MS 仪分析萃取成分的组成及比例。测试鸡粪的臭味时, 采集母鸡自然排泄的粪便置于光面纸上 5 h, 然后转移至试管中, 处理流程同上。为确保挥发性成分的稳定性和一致性, 对取自 3 个不同植株的叶片及来自 3 只成熟母鸡的粪便样品进行分析, 同时做空白对照。

1.2.2 气味成分的鉴定

鸡矢藤叶片和鸡粪臭味的成分组成及稳定性分析采用气相色谱-质谱(GC-MS)法。GC 条件: 仪器为美国 Agilent 公司的 HP5890, HP-5MS 石英毛细管柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm); 柱温起始为 50℃, 保持 5 min, 程序升温 5℃/min, 至 280℃; 柱流量为 1.5 mL/min; 进样温度为 250℃; 氢火焰检测温度为 250℃; 进样量 0.3 μL; 分流比 50:1; 载气为高纯氮气。GC-MS 条件: 仪器为美国 Agilent 公司 HP6890GC/5973MS 气象色谱-质谱联用仪。GC 条件: HP-5MS 石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 柱温起始为 40℃, 保持 5 min, 程序升温 5℃/min, 至 280℃; 柱流量为 1.0 mL/min; 进样温度为 250℃; 柱前压 100 kPa; 进样量 1.0 μL; 分流比 10:1; 载气为高纯氮气。MS 条件: 电离方式 EI; 电子能量 70 eV; 传输线温度 250℃; 离子源温度 230℃; 四级杆温度 150℃; 质量范围 35 ~ 500 amu; 采用 wiley7n.1 谱库检索定性确认搓揉叶片及鸡粪的挥发性化学成分, 按照峰面积归一化法计算出各化学成分的相对百分含量。

1.2.3 鸡矢藤臭味感知及鸡矢藤同鸡粪臭味组成的差异性分析

为了检验公众对鸡矢藤叶片恶臭气味的感官认识, 邀请中科院昆明植物研究所 13 人和金康园小学一年级七班 27 位同学对鸡矢藤搓揉后的气味进行嗅觉测试, 以检测他们对鸡矢藤气味的嗅觉体验。为检验鸡矢藤叶片臭味和鸡粪臭味的化合物组成成分及比例的差异, 参考 Midgley 等^[15]的方法, 对鸡矢藤和鸡粪臭味的组成进行非度量多维标度测量(NMDS), 并在软件 PAST 2.08 中进行差异显著性分析。

2 结果

研究结果表明, 鸡矢藤叶片和鸡粪释放的挥发性成分组成稳定, 但化合物的含量有一定差异。经 wiley7n.1 谱库检索共定性化合物 47 个, 其中 32 个来自鸡矢藤, 20 个来自鸡粪。按照峰面积归一化法计算各化合物的相对百分含量(表 1)。化合物相似性方面, 鸡矢藤叶片和鸡粪共有化合物 4 个, 分别为二甲基二硫、二甲基三硫、壬醛和葵醛, 其他化合物的组成及比例均不同。鸡矢藤叶片中含量较高的 5 个成分依次为: 2-己烯醛(34.3% ± 5.4%)、2-己烯醇(19.7% ± 4.0%)、二甲基二硫(7.0% ± 1.3%)、乙酸 3-己烯酯(5.4% ± 1.5%) 和乙酸 2-己烯酯(5.2% ± 1.7%); 鸡粪中主要的 6 个成分依次为吡啶(22.6% ± 2.3%)、二甲基三硫(15.5% ± 0.6%)、苯酚(9.5% ± 0.9%)、丁醇(5.9% ± 0.8%)、2-乙基己醇(5.5% ± 0.3%) 和二甲基四硫(3.5% ± 1.2%)。NMDS 产生高线性和非测量的值($R^2 = 0.9825$ 和 0.04146) 及一个低的 Stress 值(0), 双标图表明鸡矢藤和鸡粪挥发性成分的化合物组成差异显著, 形成两个分离的组成单元(图 1: a)。One-way ANOSIM 分析表明鸡矢藤和鸡粪的挥发物组成差异极显著($R = 0.9342$, $P < 0.0001$)。主成分分析发现吡啶是鸡粪的标志性成分, 而 2-己烯醛和 2-己烯醇是鸡矢藤的标志性成分(图 1: b)。此外, 40 位志愿者试闻鸡矢藤气味均认为其挥发性气味类似鸡粪的恶臭气味。

3 讨论

植物的挥发性气味成分通常由水蒸气蒸馏的方法获得, 此方法是精油萃取最常用方法之一^[16]。由于水蒸气的温度过高, 萃取过程可能会破坏一些对高温敏感的化合物。就鸡矢藤叶片的挥发性成分而言, 蒸馏获得的精油组成及含量在不同的研究中差别很大。如: 马养民等^[9]发现鸡矢藤精油中主要成分为乙酸异戊酯(20.2%)、乙酸苯甲酯(8.1%) 和十五碳酸乙酯(6.8%); 谢惜媚等^[10]发现鸡矢藤精油的主要成分为反式-2-己烯醇(73.6%) 和 3-己烯醇(18.8%); 尹桂豪等^[12]揭示鸡矢藤精油的主要成分为植物醇(31.9%)、角鲨烯(26.4%) 和亚麻酸(17.6%); 任竹君等^[14]证

表1 鸡矢藤叶及鸡粪的挥发性成分组成
Table 1 Chemical constituent of fetid volatiles from leaves of *Paederia foetida* and chicken manure

编号 No.	化合物 Compound	相对含量(%) Relative content	
		鸡矢藤叶 Leaves	鸡粪 Manure
1	甲硫醇 Methanthiol	1.17 ± 0.18	-
2	乙酸 Acetic acid	0.41 ± 0.06	-
3	丁醇 Butanol	-	5.91 ± 0.81
4	异戊醇 3-Methyl-1-butanol	-	2.20 ± 0.19
5	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	0.79 ± 0.09	-
6	3-戊酮 3-Pentanone	0.44 ± 0.03	-
7	二甲基二硫 Dimethyl disulfide	6.97 ± 1.28	3.27 ± 0.69
8	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	-	5.00 ± 1.39
9	辛烷 <i>n</i> -Octane	-	2.67 ± 0.34
10	2-戊烯-1-醇 2-Penten-1-ol	0.53 ± 0.06	-
11	己醛 Caproaldehyde	3.02 ± 0.61	-
12	4-甲基戊醇 4-Methyl-1-pentanol	-	4.03 ± 1.32
13	7-氧杂双环[4.1.0]庚烷 7-Oxabicyclo[4.1.0] heptane	0.66 ± 0.11	-
14	戊酸乙酯 Ethyl valerate	-	1.17 ± 0.30
15	2-甲基丁酸乙酯 Ethyl 2-methylbutyrate	-	1.63 ± 0.29
16	2-己烯醛 2-Hexenal	34.30 ± 5.38	-
17	3-己烯醇 3-Hexen-1-ol	4.13 ± 0.39	-
18	2-己烯醇 2-Hexen-1-ol	19.69 ± 4.01	-
19	己醇 Hexyl alcohol	1.96 ± 0.31	-
20	4-甲基戊酸甲酯 4-Methylpentanoic acid methyl ester	-	2.20 ± 0.12
21	甲硫基环戊烷 Methylthiocyclopentane	0.27 ± 0.04	-
22	丁酸己酯 Hexyl butyrate	-	1.82 ± 0.22
23	甲酸-2-己烯酯 2-hexenyl formate	0.15 ± 0.02	-
24	甲酸-3-己烯酯 3-hexenyl formate	0.76 ± 0.08	-
25	3-乙基-1,5-辛二烯 3-Ethyl-1,5-octadiene	0.21 ± 0.02	-
26	二甲基三硫 Dimethyl trisulfide	0.25 ± 0.03	15.51 ± 0.59
27	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	1.08 ± 0.24	-
28	2,3-辛二酮 2,3-Octanedione	0.22 ± 0.01	-
29	2,4-庚二烯醛 2,4-Heptadienal	0.71 ± 0.05	-
30	乙酸-3-己烯酯 3-hexenyl acetate	5.42 ± 1.48	-
31	乙酸乙酯 Ethyl acetate	0.91 ± 0.33	-
32	乙酸-2-己烯酯 2-Hexenyl acetate	5.15 ± 1.66	-
33	苯酚 Phenol	-	9.47 ± 0.86
34	柠檬烯 Cinene	-	1.88 ± 0.30
35	苯甲醇 Benzyl alcohol	0.29 ± 0.09	-
36	2-乙基己醇 2-Ethylhexanol	-	5.52 ± 0.32
37	4-甲基苯酚 <i>p</i> -Cresol	-	2.21 ± 0.36
38	1-甲硫基-3-戊酮 1-Methylthio-3-pentanone	0.48 ± 0.05	-
39	芳樟醇 Linalool	1.93 ± 0.14	-
40	壬醛 1-Nonanal	0.26 ± 0.06	3.55 ± 0.20
41	苯乙醇 Phenethyl alcohol	1.49 ± 0.20	-
42	3-甲硫基己醛 3-(Methylthio)-hexanal	3.85 ± 1.33	-
43	4-壬烯-1-醇 4-Nonen-1-ol	0.18 ± 0.03	-
44	水杨酸甲酯 Methyl Salicylate	0.43 ± 0.03	-
45	癸醛 Nonanal	0.24 ± 0.05	3.29 ± 0.18
46	二甲基四硫 Dimethyl tetrasulfide	-	3.49 ± 1.24
47	吲哚 Indole	-	22.55 ± 2.27

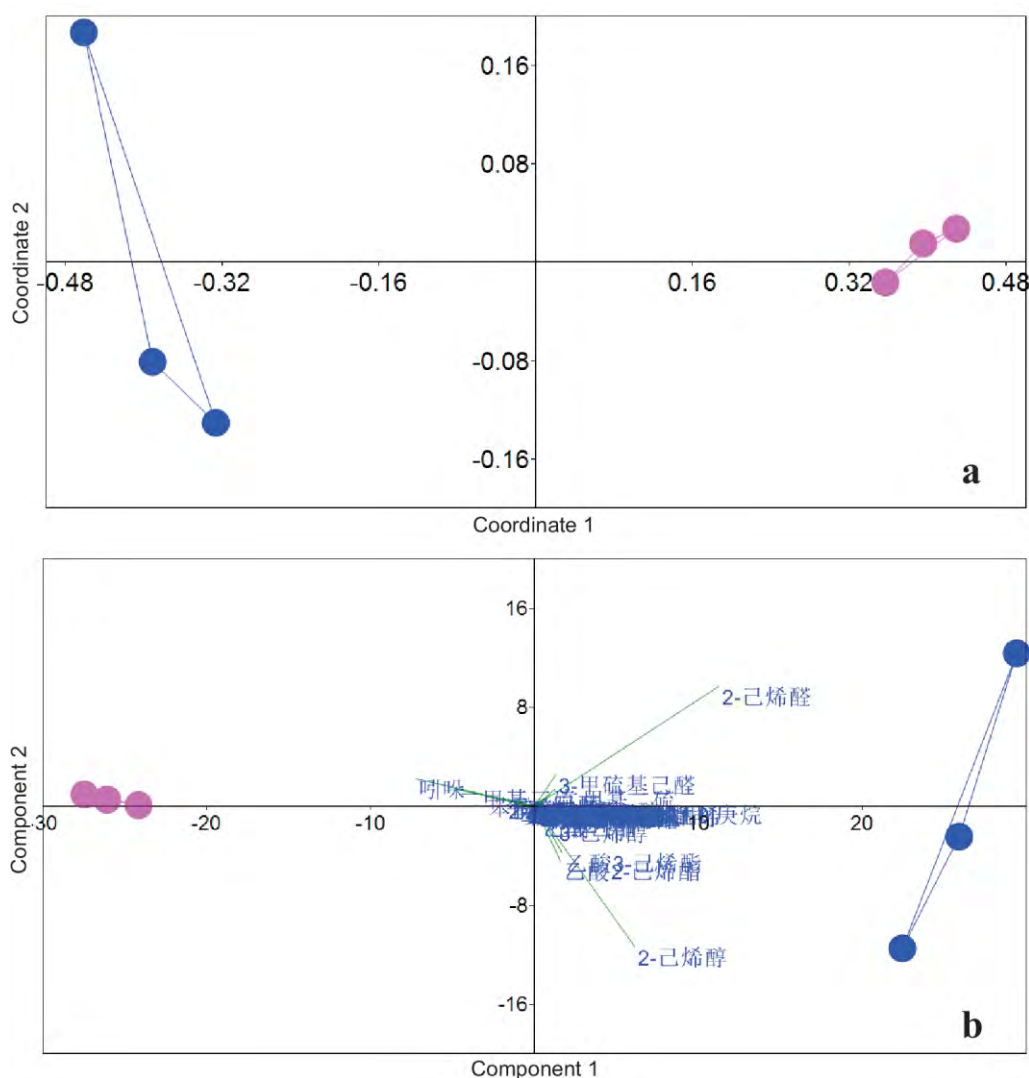


图1 鸡矢藤和鸡粪臭味的非度量多维尺度分析图 (a) 及主成分分析图 (b)
 Fig. 1 Fetid odors between *Paederia foetida* and chicken manure using nonmetric multidimensional scaling analysis (a) and principal components analysis (b)

明鸡矢藤精油含量最高的3种成分分别是棕榈酸(25.7%)、油酸(21.7%)和亚油酸(12.6%)。本研究采用对植物损伤较小的顶空固相微萃取法收集鸡矢藤叶片的挥发性成分,结果表明鸡矢藤搓揉后释放的主要成分是2-己烯醛(34.3%)、2-己烯醇(19.7%)和二甲基二硫(7.0%),与上述精油研究的结果差别甚远,笔者认为固相微萃取获得的挥发性成分能够代表鸡矢藤叶片受损伤后释放的恶臭气味,但造成气味成分差异的原因可能包括:固相微萃取比水蒸气蒸馏更容易获得挥发性强的化合物;不同产地鸡矢藤本身的遗传物质控制其挥发性成分组成的多样性;植株的不同生长环境、生理状态及生长季节影响挥发性成分的组成;植株不同部位的

挥发性成分存在代谢上的差异性;以及蒸馏条件重构了精油挥发性成分的组成和含量等。

鸡矢藤被称为“鸡屎藤”的原因可能是其叶片经搓揉后释放类似鸡粪的恶臭气味。本研究发现鸡矢藤叶片中多种化合物会给人造成不愉快的感官体验。鸡矢藤叶片中主要挥发性成分2-己烯醛和2-己烯醇是典型的臭蟥防御物质^[17,18],具有明显的臭味;二甲基二硫和二甲基三硫是尸体腐烂释放的典型恶臭味^[19];其他的含硫成分(甲硫醇、甲硫基环戊烷、1-甲硫基-3-戊酮、3-甲硫基己醛)虽然含量不高,但含硫化合物对人而言阈值极低^[19-21],这些化合物的综合叠加效应可能塑造了鸡矢藤叶片恶臭的感官效应(化合物气味评估来自 Superscent

database: <http://bioinformatics.charite.de>)。根据臭味化合物的韦伯-费希纳定律,即一种恶臭成分的浓度从97%降低到3%,对人而言臭气的浓度仅仅降低了一半,即使少量的鸡矢藤叶片被损伤,人们也能闻到其恶臭气味。另一方面,鸡粪典型的粪臭挥发性成分组成(吡啶、苯酚、4-甲基苯酚、丁醇、异戊醇、4-甲基戊醇)和典型的尸体腐烂挥发性成分组成(二甲基二硫、二甲基三硫、二甲基四硫)可能更让人产生不愉悦的嗅觉感官效果^[19-21]。前人的研究也揭示了鸡粪的臭味明显与包含大量的吡啶和粪臭素等成分有关^[22-24]。本研究中40名志愿者在实验过程中均表现出对鸡矢藤臭味的厌恶,这在一定程度上说明鸡矢藤的臭味令人厌恶是被普遍认同的。

事实上,人们对臭味的感知过程是复杂而多样的,气味受体的多寡、臭味化合物的阈值高低、人的生理状态、韦伯-费希纳定律等因素都会影响我们对臭味化合物的感知能力。对鸡粪臭味的认识也和鸡取食的饲料、鸡粪的发酵阶段、粪团的温湿度、粪内菌类的多样性等因素密切相关。植物分类学家基于对臭气信号识别将鸡矢藤俗称为“鸡屎藤”有一定的合理性(均呈现令人感觉不悦的臭味),但鸡矢藤和鸡粪的臭味组成不同。本研究仅对鸡矢藤和鸡粪气味释放某一阶段的气味组成进行了分析,不能完全代表这两种物质整体阶段气味释放的模式和规模。对鸡矢藤而言,植株的表型特征(本研究中的叶片气味)可能与产地、遗传因素、生理特征、非生物因子、提取方法和时间等内因和外因有关。在今后的研究中,应综合考虑这些因素,选取更多的自然居群,以期得出更符合自然规律的研究结果。

科学植物园的建设需要多方面的努力,一个综合植物园除了具有科研、保育、提供休闲娱乐场所的功能外,还肩负着向公众传递热爱自然、保护自然的意识使命。科普教育通过让公众了解自然、关心自然、认识天地万物间的律动与智慧,从而激励人们行动起来,去保护我们赖以生存的自然环境。本研究以鸡矢藤为例,研究了该植物为什么被称为“鸡屎藤”,其释放的气味到底是不是鸡粪的臭味。这可能是公众看到该植物铭牌后产生的疑问。如果对植物园一些具有代表性的植物类群增加一段科普描述,可能对公众理解其含意更有帮助,进而启发

他们的思维。40位志愿者对鸡矢藤臭味进行感官体验后可能很难忘记鸡矢藤的臭味。因此,科普教育中的自然体验其实应该比知识的传授得到更多的关注。科学阐述植物名称及其特征的生物学外延和内涵是我们认识自然、开展科普教育、激发好奇心,进而促进人们探索未知自然的重要途径。如何架起科研和科普之间的桥梁是每个科研工作者应该关注的问题。本文以研究鸡矢藤及鸡粪的臭味关联为切入点,为今后的科研和科普工作提供了一个新的思考视角。

致谢:感谢中科院昆明植物研究所植物化学与西部植物资源可持续利用国家重点实验室余珍女士在挥发性成分收集分析方面给予的帮助;感谢昆明市金康园小学一年级七班同学及植物园同事对鸡矢藤臭味参与感官实验。

参考文献:

- [1] 陈伟球. 中国植物志: 第71卷, 第2分册[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 110-118.
Chen WQ. Flora Reipublicae Popularis Sinicae: Vol. 71, No. 2[M]. Beijing: Science Press, 1999: 110-118.
- [2] 张书霞. 鸡屎藤的营养成分分析[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(3): 150-151.
Zhang SX. Analysis of nutritional components of *Paederia scandens*[J]. *Food Research and Development*, 2006, 27(3): 150-151.
- [3] 张书霞, 王宏. 广东四种野菜的营养成分分析[J]. 西南园艺, 2006, 34(2): 23-24.
Zhang SX, Wang H. Analysis of nutritional components from four kinds of potherbs in Guangdong[J]. *Southwest Horticulture*, 2006, 34(2): 23-24.
- [4] Quang DN, Hashimoto T, Tanaka M, Dung NX, Asakawa Y. Iridoid glucosides from roots of Vietnamese *Paederia scandens* [J]. *Phytochemistry*, 2002, 60(5): 505-514.
- [5] Zhou Y, Zou X, Liu X, Peng SL, Ding LS. Multi-stage electrospray ionization mass spectrometric analyses of sulfur-containing iridoid glucosides in *Paederia scandens* [J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2007, 21(8): 1375-1385.
- [6] Chu C, Huang Y, Chen YF, Wu JH, Rahman K, Zheng HC, Qin LP. Anti-nociceptive activity of aqueous fraction from the MeOH extracts of *Paederia scandens* in mice[J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 118(1): 177-180.
- [7] 徐金龙, 刘雷, 张巧艳, 秦路平. 鸡屎藤的化学成分、药理活性及临床应用研究进展[J]. 药学实践杂志, 2011, 29(6): 401-404.
Xu JL, Liu L, Zhang QY, Qin LP. Review of chemical constituents, pharmacological effects and clinical practices of *Paederia scandens* (Lour.) Merr[J]. *Journal of Pharma-*

- ceutical Practice*, 2011, 29(6): 401–404.
- [8] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草: 第6册 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1999: 461.
The State Administration of Traditional Chinese Medicine Chinese Materia Medica Editorial Board. The Chinese Materia Medica: Vol. 6 [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1999: 461.
- [9] 马养民, 毛远, 傅建熙. 鸡屎藤挥发油化学成分的研究 [J]. 西北植物学报, 2000, 20(1): 145–148.
Ma YM, Mao Y, Fu JX. Study on the composition of the volatile oil from *Paederia scandens* [J]. *Acta Botanica Boreali Occident Sinica*, 2000, 20(1): 145–148.
- [10] 谢惜媚, 陆慧宁, 任三香. 野生新鲜鸡屎藤挥发性化学成分的GC/MS分析 [J]. 分析实验室, 2003, 22(S1): 76–77.
Xie XJ, Lu HN, Ren SX. Chemical components of volatile oil from fresh wild *paederia scadens* (Lour.) Merr. [J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2003, 22(S1): 76–77.
- [11] 刘信平, 张驰, 田大厅, 谭志伟, 刘应焯. 富硒野菜鸡屎藤的挥发性活性成分研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(10): 468–470.
Liu XP, Zhang C, Tian DT, Tan ZW, Liu YX. Study on chemical components for volatile Oil from Se-enriched *Paederia scandens* [J]. *Food Science*, 2007, 28(10): 468–470.
- [12] 尹桂豪, 王明月, 曾会才. 鸡屎藤叶中挥发油的超临界萃取及气相色谱-质谱分析 [J]. 食品科技, 2009, 34(12): 303–305.
Yin GH, Wang MY, Zeng HC. GC-MS analysis of essential oil of leaves in *Paederia scandens* with supercritical CO₂ extraction [J]. *Food Science and Technology*, 2009, 34(12): 303–305.
- [13] 何开家, 刘布鸣, 董晓敏, 陈露, 陈明生, 莫建光. 广西鸡屎藤挥发油化学成分 GC-MS-DS 分析研究 [J]. 广西科学, 2010, 17(2): 138–140.
He KJ, Liu BM, Dong XM, Chen L, Chen MS, Mo JG. Study on chemical components of volatile oil from *Paederia scandens* (Lour.) Merr. in Guangxi by GC-MS-DS [J]. *Guangxi Sciences*, 2010, 17(2): 138–140.
- [14] 任竹君, 赵鸿宾, 姜艳萍, 罗亚男. 鸡屎藤挥发油化学成分分析 [J]. 黔南民族医专学报, 2011, 24(3): 168–170.
Ren ZJ, Zhao HB, Jiang YP, Luo YN. Determination volatile oil in *Paederia scandens* (Lour.) Merr. [J]. *Journal of Qiannan Medical College for Nationalities*, 2011, 24(3): 168–170.
- [15] Midgley JJ, White JDM, Johnson SD, Bronner GN. Faecal mimicry by seeds ensures dispersal by dung beetles [J]. *Nat Plants*, 2015, 1: 15141.
- [16] 朱岳麟, 常增花, 郑晓梅, 黄志平, 肖开文. 蒸馏法与溶剂萃取法提取金柚果皮精油成分的比较分析 [J]. 植物科学学报, 2011, 29(1): 130–133.
Zhu YL, Chang ZH, Zheng XM, Huang ZP, Xiao KW. Comparative analysis of essential oil components from golden pomelo peel by steam distillation and solvent extraction [J]. *Plant Science Journal*, 2011, 29(1): 130–133.
- [17] Gilby AR, Waterhouse DF. Secretions from the lateral scent glands of the green vegetable bug, *Nezara viridula* [J]. *Nature*, 1967, 216: 90–92.
- [18] Noge K, Prudic KL, Becerra JX. Defensive roles of (E)-2-alkenals and related compounds in Heteroptera [J]. *J Chem Ecol*, 2012, 38(8): 1050–1056.
- [19] Jürgens A, Doetterl S, Meve U. The chemical nature of fetid floral odours in stapeliads (Apocynaceae-Asclepiadoideae-Ceropegieae) [J]. *New Phytol*, 2006, 172(3): 452–468.
- [20] Leonardos G, Kendall D, Barnard N. Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals [J]. *J Air Pollut Control Assoc*, 1969, 19(2): 91–95.
- [21] Jürgens A, Wee SL, Shuttleworth A. Chemical mimicry of insect oviposition sites: a global analysis of convergence in angiosperms [J]. *Ecol Lett*, 2013, 16(9): 1157–1167.
- [22] 杨桂芹, 张姝, 郑爱娟, 唐明洁, 万盛文. 氨基酸平衡的低蛋白和杂粕日粮对蛋鸡粪中臭味物质含量的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(5): 731–734.
Yang GQ, Zhang S, Zheng AJ, Tang MJ, Wan SW. Effects of balanced amino acid diets on the reduction of odor substance in faeces of layer [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(5): 731–734.
- [23] 杨桂芹, 冯军平, 田河, 刘国华, 张姝, 郑爱娟. 添加酵素菌制剂对蛋鸡粪中臭味物质排出量的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(7): 55–57.
Yang GQ, Feng JP, Tian H, Liu GH, Zhang S, Zheng AJ. Effects of application of microbial fertilizer enzyme on the reduction of odor substance in faeces of layer [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2010, 46(7): 55–57.
- [24] 黄俊, 何进, 张吉斌, 喻子牛. 顶空固相微萃取-气相色谱/质谱法分析鉴定畜禽粪便中的挥发性有机化合物 [J]. 色谱, 2007, 25(3): 425–429.
Huang J, He J, Zhang JB, Yu ZN. Identification of volatile organic compounds in the manures of cow, hog and chicken by solid phase microextraction coupled with gas chromatography/mass spectrometry [J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2007, 25(3): 425–429.

(责任编辑: 周媛)