

香蕉假茎象甲对不同生理状态香蕉假茎挥发物的行为反应^{*}

尹炯^{**} 赵冬香^{***} 王玉洁 高景林 卢芙萍 王爱萍

(中国热带农业科学院环境与植物保护研究所 农业部热带农林有害生物入侵监测
与控制重点开放实验室 儋州 571737)

摘 要 采用固相微萃取技术提取新鲜假茎、腐烂未虫蛀假茎、虫蛀且腐烂假茎以及虫蛀未腐烂假茎 4 种生理状态的香蕉假茎挥发物,进行气质联用仪分析鉴定。结果表明:从香蕉新鲜假茎与虫蛀且腐烂假茎中分别鉴定出 10 种挥发性物质;腐烂未虫蛀假茎与虫蛀未腐烂假茎分别鉴定出 11 种挥发性物质;这些挥发物包括烃类、酯类、酮类、杂环类等,在不同生理状态的香蕉假茎中的相对含量各不相同。4 种生理状态的香蕉假茎挥发性成分种类数及相对含量的变化与香蕉假茎象甲 *Odoiporus longicollis* Olivier 的为害有着密切关系,遭受香蕉假茎象甲为害的香蕉假茎,其共同成分 2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯相对含量对应地减少。利用双重陷阱嗅觉仪测定了香蕉假茎象甲对香蕉假茎挥发物的行为反应,结果表明:4 种生理状态的香蕉假茎挥发物均对香蕉假茎象甲有引诱作用,与新鲜假茎相比,香蕉假茎的虫蛀且腐烂状态可增强其对香蕉假茎象甲雌、雄虫的引诱作用。

关键词 香蕉假茎象甲, 行为反应, 香蕉假茎, 挥发物

Study of the behavioral responses of *Odoiporus longicollis* to volatiles from banana pseudostems with different physiological status

YIN Jiong^{**} ZHAO Dong-Xiang^{***} WANG Yu-Jie GAO Jing-Lin LU Fu-Ping WANG Ai-Ping

(Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences,
Key Laboratory of Monitoring and Control of Tropical Agricultural and Forest Invasive Alien Pests,
Ministry of Agriculture, Danzhou 571737, China)

Abstract Solid phase microextraction (SPME) was used to extract volatiles from banana pseudostems in the following four physiological states: fresh, rotten but not fed on by beetles, rotten and fed on by beetles, and fresh and fed on by beetles. The extracted volatiles were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 10 components were identified from volatiles extracted from fresh and rotten pseudostems that had been fed on by beetles, whereas a total of 11 components were identified from extracts from rotten pseudostems and fresh pseudostems that had been fed on by beetles. The extracted volatiles included hydrocarbon, esters, ketone and heterocyclic compounds, the relative abundance of which differed with pseudostems' physiological state. The species and relative abundance of extracted volatiles were closely related to damage inflicted by the banana pseudostem weevil. There was a corresponding reduction in the relative content of the common component allo-ocimene after *Odoiporus longicollis* Olivier infestation. The behavioral responses of male and female *O. longicollis* to extracted volatiles from banana pseudostems in each of the four physiological states were observed with a double pitfall olfactometer. Both male and female *O. longicollis* were attracted to the volatiles from banana pseudostems in different physiological states. Compared to fresh pseudostems, beetle feeding activity and rottenness enhanced the attractiveness of the extracted volatiles from banana pseudostems to male and female *O. longicollis*.

Key words *Odoiporus longicollis*, behavioral response, banana pseudostem, volatiles

^{*} 资助项目: 国家科技支撑计划项目子项目(2007BAD48B05-01)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资助项目(2008hzz1J008)。

^{**} E-mail: yinjong@126.com

^{***} 通讯作者, E-mail: dongxiangzh@163.com

收稿日期: 2011-01-24, 接受日期: 2011-11-22

植物挥发性化合物和昆虫释放的各种信息素是植物与植物之间、昆虫与昆虫之间、植物与昆虫之间、植物-植食性昆虫-天敌之间最为重要的信息化学物质 (Reddy and Guerrero, 2004; Baldwin *et al.*, 2006)。植物挥发性化合物通过调控昆虫的行为 (如寄主定向、产卵、逃避、取食、聚集、传粉等)、吸引害虫天敌以及抵御病虫害和其他环境不利因素等方式, 在植物与昆虫间的化学通讯中发挥着重要作用, 作为植物防御的重要组成部分越来越受到人们的重视 (杜家纬, 2001; 鲁玉杰和张孝羲, 2001; 杨伟伟等, 2008)。植物挥发性化合物的提取方法包括溶剂提取、水蒸气蒸馏提取与吸附提取等传统方法, 以及固相萃取、固相微萃取与超临界流体萃取等现代提取方法, 其中固相微萃取技术因样品制备简单、分析时间短、处理费用低、可靠性、选择性及灵敏性高, 分析结果准确可靠等优点, 其分离和鉴定通常采用气质联用仪 (GC-MS) 和液质联用仪 (HPLC-MS), 随着分析手段的改进与提高, 对植物挥发性化合物的研究已经取得了很大进展, 为进一步阐明植物-植食性昆虫-天敌三重营养层次间的相互关系, 以及开发害虫防治新途径提供了理论依据 (娄永根和程家安, 1997; 郑浩等, 2002; Vas and Vékey, 2004)。

香蕉是一种重要的热带、亚热带水果, 果实与茎叶营养丰富, 有关其挥发性化合物的研究多集中在果实与叶片方面, 其中香蕉果肉挥发物对桔小实蝇成虫有显著的引诱效果, 并随着剂量的增加, 引诱作用增强 (Pino *et al.*, 2003; 陆永跃和梁碧玲, 2006; 张淑颖等, 2006; 朱虹等, 2007; 陶晨等, 2010; 申建梅等, 2011)。香蕉假茎由覆瓦状的叶鞘紧密包裹而成, 呈圆柱状, 起着支撑地上部分的生长和输送养分的作用, 其本身含有丰富的蛋白质、碳水化合物及无机元素等营养物质, 易受香蕉假茎象甲 *Odoiporus longicollis* Olivier 等害虫为害。香蕉假茎象甲雌虫将卵产在假茎表层叶鞘组织内空格中, 新孵化的幼虫主要蛀食香蕉植株中上部假茎, 老熟幼虫多钻蛀到表层叶鞘作茧化蛹而后羽化为成虫, 在假茎内造成纵横交错的虫道, 常引起腐烂, 植株甚至折断, 给香蕉生产造成重大损失 (Dutt and Maiti, 1972; 张开明, 1999)。田间调查发现, 香蕉假茎象甲成虫多聚集分布在虫蛀、腐烂的香蕉假茎上。为探明不同生理状态香蕉假茎挥发物对香蕉假茎象甲行为活动的影响, 本实

验采用固相微萃取气质联用技术, 初步研究了香蕉新鲜假茎、腐烂未虫蛀假茎、虫蛀且腐烂假茎以及虫蛀未腐烂假茎 4 种生理状态的挥发性成分, 利用双重陷阱嗅觉仪技术测定了香蕉假茎象甲对 4 种生理状态的香蕉假茎挥发性成分的行为选择反应, 为进一步深入研究香蕉假茎象甲的寄主选择性及其机理, 研制和开发香蕉假茎象甲信息化物引诱剂等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试植物

香蕉品种为海南大学儋州校区农学院教学科研基地生长 2 年的“巴西”香蕉 (*Musa* spp. ‘Baxi’), 选取生长状况较为一致的香蕉成长植株, 进行以下 4 个处理: 香蕉新鲜植株为田间健康的成长植株; 腐烂未虫蛀植株为未遭受香蕉假茎象甲为害的成长植株砍倒后在田间自然条件下腐烂 20 d 的香蕉植株; 虫蛀且腐烂植株为已遭受香蕉假茎象甲为害的成长植株砍倒后在田间自然条件下腐烂 20 d 的香蕉植株; 虫蛀未腐烂植株为田间已遭受香蕉假茎象甲为害的成长植株。

1.2 供试昆虫

香蕉假茎象甲采集于海南省昌江黎族自治县 (19°15'N, 109°3'E) 十月田镇香蕉园, 实验室内 22~28℃, RH: 60%~80%, L:D=8:16 条件下, 用自制的塑料养虫盒 (268 mm×190 mm×110 mm) 将雌、雄成虫分开饲养, 每盒 10 头成虫。每个养虫盒里放置 500 g 巴西香蕉的新鲜假茎, 每隔 4~5 d 更换 1 次新鲜假茎。

1.3 实验仪器

美国 Finnigan 公司 TRACE GC-MS 联用仪, 萃取头为 75 μm CAR/PDMS 型 (美国 Supelco 公司)。固相微萃取挥发物收集装置为去除平衡气阀并略加改进的万得福 DB-3828 防潮箱 (380 mm×280 mm×270 mm)。用蒸馏水浸湿的滤纸均匀润湿防潮箱内壁以避免防潮箱自身挥发物对香蕉假茎挥发物的影响。

双重陷阱嗅觉仪 (double pitfall olfactometer) 生物测定参照 Tinzaara 等 (2007) 实验方法, 并加以改进。双重陷阱嗅觉仪采用有机玻璃制成 ($\Phi=50$ cm, $h=30$ cm), 2 个相距 38 cm、直径为 4 cm 的圆孔分别位于嗅觉仪底部两侧对称, 圆孔距离

嗅觉仪壁最近距离为 2 cm。2 个玻璃瓶与圆孔紧密结合组成陷阱,上面用有机玻璃板覆盖以防止试虫逃逸。

1.4 不同生理状态香蕉假茎挥发性成分分析

截取长约 30 cm,直径约 20 cm 的供试香蕉植株置于挥发物收集装置中,用蒸馏水浸湿的滤纸包住香蕉假茎切口处以避免机械损伤诱导的挥发物的影响。用锡纸密封原防潮箱平衡气阀孔,将预先在气相色谱的进样口于 220 °C 老化 30 min 的固相微萃取头从平衡气阀孔插入挥发物收集装置,顶空萃取 30 min。然后取出萃取头,立即插入 GC-MS 进样口,220 °C 热解吸 5 min,进行 GC-MS 测试。

气相色谱条件:HP-1 石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm),载气 He (99.99%),流速 1.0 mL · min⁻¹。进样口温度 220 °C,柱温采取程序升温:初始温度 50 °C,保持 1 min 后,以 5 °C · min⁻¹升至 80 °C,保持 10 min,再以 10 °C · min⁻¹升至 200 °C,保持 5 min。

质谱条件:EI 离子源,电子能量 70 eV,光电倍增管电压 350 V。质量扫描范围 35 ~ 335 amu,检索谱库为 NIST98。

1.5 香蕉假茎象甲对不同生理状态香蕉假茎的行为反应

采用双重陷阱嗅觉仪,将测试的 100 g 香蕉假茎置于玻璃瓶中,在嗅觉仪底部中心位置接入 20 头香蕉假茎象甲,有机玻璃板覆盖嗅觉仪上部,再用黑布罩住,1 h 后观察记录栖息在玻璃瓶中的香蕉假茎象甲数量,变更嗅觉仪陷阱位置。每小时观察 1 次,然后更换新虫再进行测定,共 3 次取其平均值,重复 5 次。为防止光线的影响,实验在晚上 20:00—23:00 进行,红色灯光作为观察时的光源。供试香蕉假茎象甲测定前饥饿 1 d。每次测定完成后,使用 75% 的酒精清洗嗅觉仪,自然风干后进行下次生测。

采用清洁空气作对照,各处理组合如下:

(1) 对照 vs 新鲜假茎; (2) 对照 vs 虫蛀未腐烂假茎; (3) 对照 vs 虫蛀且腐烂假茎; (4) 对照 vs 腐烂未虫蛀假茎; (5) 新鲜假茎 vs 虫蛀未腐烂假茎; (6) 新鲜假茎 vs 虫蛀且腐烂假茎; (7) 新鲜假茎 vs 腐烂未虫蛀假茎; (8) 虫蛀未腐烂假茎 vs 虫蛀且腐烂假茎; (9) 虫蛀未腐烂假茎 vs 腐烂未虫

蛀假茎; (10) 虫蛀且腐烂假茎 vs 腐烂未虫蛀假茎。

1.6 数据分析

利用 SAS9.0 软件进行数据处理,香蕉假茎象甲对不同生理状态香蕉假茎的选择行为反应的数据采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同生理状态香蕉假茎挥发性成分分析

采用 GC-MS 分析了香蕉假茎挥发性成分,利用计算机标准质谱图库 NIST98 结合保留时间进行比较鉴定,确定其化学组分,并以质谱离子峰面积百分数表示各成分的相对含量,结果见表 1。

4 种生理状态的香蕉假茎挥发性成分中,主要含有烃类、酯类、酮类、杂环类等化合物,在不同生理状态的香蕉假茎中的含量各不相同。其中共同成分较少,仅 2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 1 种,在新鲜假茎与腐烂未虫蛀假茎中所占比例分别为 5.31% 和 9.86%,遭受香蕉假茎象甲为害后,在虫蛀未腐烂假茎与虫蛀且腐烂假茎中所占比例略有下降,分别为 3.40% 和 8.46%。腐烂未虫蛀假茎与虫蛀且腐烂假茎共同成分有 2 种,虫蛀且腐烂假茎与虫蛀未腐烂假茎共同成分有 5 种,各成分所占比例差异较大。此外,4 种生理状态的香蕉假茎的大多数挥发性成分只在一种生理状态中出现,其相对含量各不相同。新鲜假茎与腐烂未虫蛀假茎不同的成分各有 6 种,含量分别为 17.47% 和 41.09%,其中新鲜假茎中的 3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯和 2,2,8-三甲基癸烷是 4 种生理状态的香蕉假茎挥发性成分中含量最低的,均为 0.09%。虫蛀未腐烂假茎和虫蛀且腐烂假茎的不同成分种类数与含量较新鲜假茎和腐烂未虫蛀假茎均下降。由此可见,香蕉假茎象甲的为害与否与香蕉假茎挥发性成分的差异关系密切,香蕉假茎挥发性成分的变化可能影响香蕉假茎象甲的行为活动。

2.2 香蕉假茎象甲对不同生理状态香蕉假茎的行为反应

双重陷阱嗅觉仪生物测定结果见图 1,2。在不同生理状态香蕉假茎的组合中,香蕉假茎象甲雌虫对 100 g 香蕉假茎的选择率均在 25% 以上,香蕉假茎象甲雄虫对香蕉假茎的选择率均在

表 1 不同生理状态香蕉假茎挥发性成分和相对含量

Table 1 The components and relative contents of volatiles from banana pseudostems in different physiological status

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Formula	相对含量 Relative content (%)			
			a	b	c	d
1	左旋- α -蒎烯 α -Pinene, (–) –	C ₁₀ H ₁₆	3.63	—	—	—
2	α -月桂烯 α -Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	6.62	—	—	—
3	2-甲氧基 [1] 苯并噻吩并 [2,3-C] 喹啉-6 (5H) -酮 2-Methoxy [1] benzothieno [2,3-C] quinolin-6 (5H) -one	C ₁₆ H ₁₁ NO ₂ S	—	—	8.00	—
4	(+) -柠檬烯 (+) -Limonene	C ₁₀ H ₁₆	5.54	—	—	—
5	2-[(4-甲基苯基) 磺酰基] 亚乙基丙二酸二甲酯 Propanedioic acid, [2-[(4-methylphenyl) sulfonyl] ethylidene] -, dimethyl ester	C ₁₄ H ₁₆ O ₆ S	—	3.99	—	—
6	3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯 3,7-dimethyl-1,3,7-octatriene	C ₁₀ H ₁₆	0.09	—	—	—
7	δ -3-萜烯 δ -3-carene	C ₁₀ H ₁₆	—	34.64	—	—
8	(E)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (E) –	C ₁₀ H ₁₆	57.34	—	19.02	12.52
9	别罗勒烯 Neo-alloocimene	C ₁₀ H ₁₆	3.22	4.99	—	—
10	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 Allo ocimene	C ₁₀ H ₁₆	5.31	9.86	8.46	3.40
11	N-(1-甲氧基-2-甲基亚丙基) 酰胺酸-苯酯 N-(1-Methoxy-2-methylpropyliden) carbamidsaure-phenylester	C ₁₂ H ₁₅ NO ₃	—	0.27	—	1.38
12	[1] 苯并噻吩并 [2,3-C] 喹啉-6 (5H) -硫酮 [1] Benzothieno [2,3-C] quinolin-6 (5H) -thione	C ₁₅ H ₉ NS ₂	—	2.64	5.47	—
13	2,2,8-三甲基癸烷 Decane, 2,2,8-trimethyl-	C ₁₃ H ₂₈	0.09	—	—	—
14	十三烷 Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	5.30	0.51	—	—
15	异氰酸叔丁酯 Propane, 2-isocyano-2-methyl-	C ₅ H ₉ N	—	—	4.08	—
16	1-氮杂双环 [3.1.0] 己烷 1-Azabicyclo (3.1.0) hexane	C ₁₅ H ₉ N	—	0.65	—	—
17	2,3-二苯基-5-(3-甲氧苯基) 吡咯 2,3-diphenyl-5-(3-methoxyphenyl) pyrrole	C ₂₃ H ₁₉ NO	—	—	17.11	11.30
18	癸酸乙酯 Decanoic acid, ethyl ester	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	—	—	4.63	5.96
19	3-氨基-2-氰基-6-甲基-6,7-二氢噻吩并 [2,3-B] 吡嗪 3-Amino-2-cyano-6-methyl-6,7-dihydrothieno [2,3-B] pyrazine	C ₈ H ₈ N ₄ S	—	—	0.23	—
20	反式-石竹烯 Trans-caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	—	0.62	—	—
21	2,6-二叔丁基-4-羟基-4-甲基-2,5-环己二烯-1-酮 2,6-Di (t-butyl) -4-hydroxy-4-methyl-2,5-cyclohexadien-1-one	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	—	—	—	2.98
22	内-2,3-二甲氧羰基-苯并 [E] 二环 [2.2.2] 辛烷 Endo-2,3-di (methoxycarbonyl) -benzo [E] bicyclo [2.2.2] octane	C ₁₈ H ₂₂ O ₄	—	—	—	0.66
23	β -甲基- α , α -二苯基-4-吗啉丁酸 β -Methyl- α , α -diphenyl-4-morpholinebutyric acid	C ₂₁ H ₂₅ NO ₃	—	—	—	1.17
24	4-氨基-1,2,4-三唑-5-酮 4-Amino-1,2,4-triazol-5-one	C ₂ H ₄ N ₄ O	—	0.53	—	—
25	5-乙基-3,12-二氧杂三环 [4.4.2.0 (1,6)] 十二烷-4-酮 5-Ethyl-3,12-dioxatricyclo [4.4.2.0 (1,6)] dodecan-4-one	C ₁₂ H ₁₈ O ₃	—	0.66	—	—
26	3-羟基-4,4-二甲基-5-羰基-2,2-二苯基四氢呋喃-2-羧酸甲酯 Methyl 3-hydroxy-4,4-dimethyl-5-oxo-2,2-diphenyltetrahydrofuran-2-carboxylate	C ₂₀ H ₂₀ O ₅	—	—	—	1.39

续表 1

序号 No.	化合物名称 Compound name	分子式 Formula	相对含量 Relative content (%)			
			a	b	c	d
27	邻苯二甲酸二辛酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	1.50	—	—	—
28	丁基异丁基邻苯二甲酸酯 Phthalic acid, butyl isobutyl ester	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	—	—	1.25	—
29	硅酸阴离子四聚物 Silicate anion tetramer	C ₂₄ H ₇₂ O ₁₂ Si ₁₂	—	—	—	3.70
30	2-羟基-N-(2-吗啉代乙基)-4-苯基丁酰胺 2-Hydroxy-N-(2-morpholinoethyl)-4-phenylbutanamide	C ₁₆ H ₂₅ ClN ₂ O ₃	—	—	4.99	6.94

注:a:新鲜假茎;b:腐烂未虫蛀假茎;c:虫蛀且腐烂假茎;d:虫蛀未腐烂假茎。“—”表示未检测到该物质。
a:fresh pseudostem; b:rotten pseudostems but not fed on by beetles; c:rotten pseudostems and fed on by beetles; d: fresh pseudostems and fed on by beetles. The dash (—) indicates that the compound had not been detected in the volatiles.

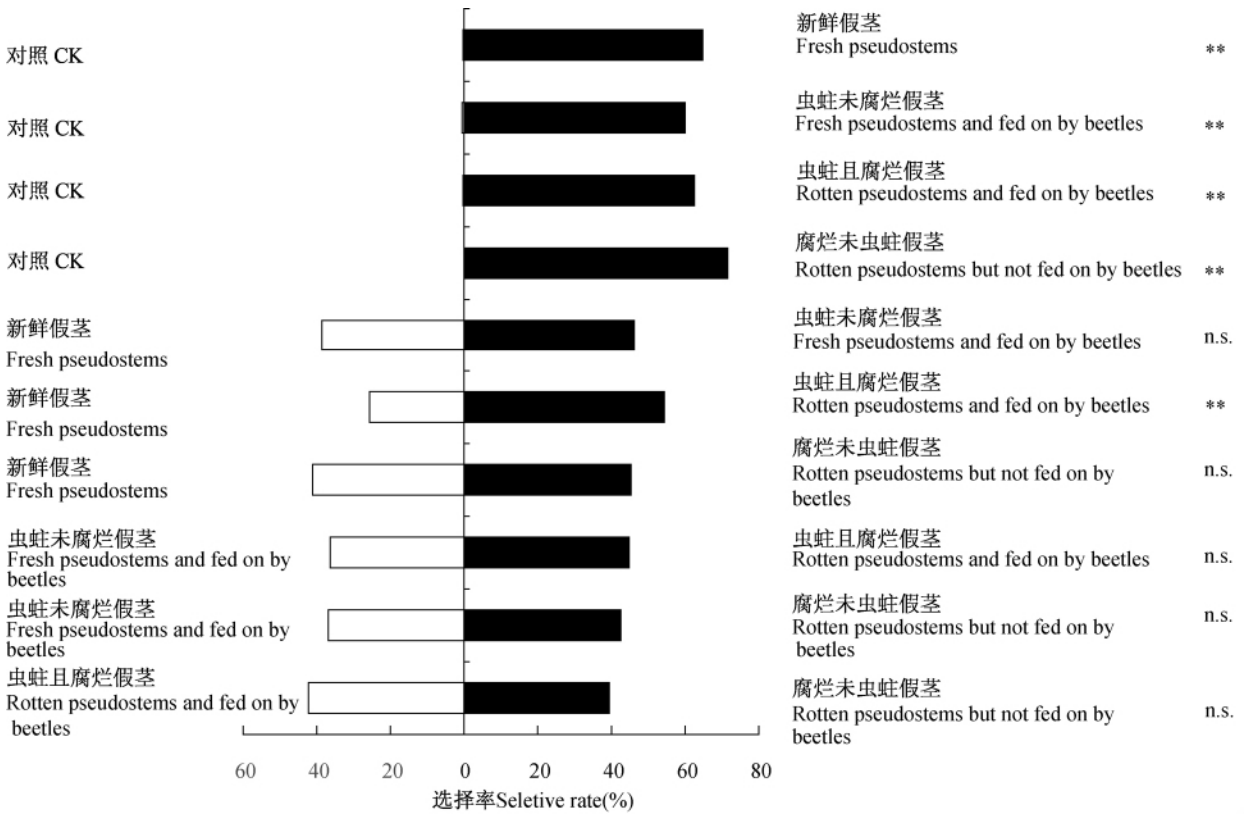


图 1 香蕉假茎象甲雌虫对不同生理状态香蕉假茎的选择反应
Fig. 1 The selective responses of female *Odoiporus longicollis* to banana pseudostems in different physiological status

**表示差异极显著, n. s. 表示差异不显著 (*t* 检验), 下图同。
**indicates significant difference; n. s. indicates no significant difference by *t*-test. The same below.

20% 以上,说明香蕉假茎对香蕉假茎象甲雌、雄虫均有不同程度的引诱作用。以清洁空气作对照,香蕉假茎象甲雌、雄虫对新鲜假茎、虫蛀未腐烂假茎、虫蛀且腐烂假茎和腐烂未虫蛀假茎的选择率均在 60% 以上,选择率差异均达极显著水平 ($P < 0.01$);在新鲜假茎与虫蛀且腐烂假茎的组合中,雌、雄虫的选择率差异也均达极显著水平 ($P < 0.01$)。新鲜假茎与虫蛀未腐烂假茎、新鲜假茎与腐烂未虫蛀假茎、虫蛀未腐烂假茎与虫蛀且腐烂假茎、虫蛀未腐烂假茎与腐烂未虫蛀假茎、虫蛀且

雄成虫的引诱作用间无差异。有研究表明,在 1、3、5、7 d 腐烂假茎中,7 d 腐烂假茎对香蕉假茎象甲具有更强的引诱力 (Sahayaraj and Kombiah, 2009),且腐烂假茎比新鲜假茎对香蕉球茎象甲 *Cosmopolites sordidus* 具有更强的引诱作用 (Tinzaara *et al.*, 2007)。高晓余等 (2009) 研究发现球花石斛 (*Dendrobium thyrsiflorum*) 遭受石斛蓟象 *Nassophasis* sp. 为害后产生的气味能够增强对成虫的引诱效果,这也进一步证实了腐烂与虫蛀状态可增强寄主植物的引诱作用,不过其中具体引诱作用成分的确定及其作用机理还有待探明。香蕉假茎象甲取食单一,呈聚集分布,在室内对不同生理状态香蕉假茎的选择差异不显著,但在田间对寄主植物以及非寄主植物的选择性及其选择机制需要进一步探讨。

在香蕉-香蕉假茎象甲-天敌三重营养关系中,香蕉假茎挥发性化合物在香蕉假茎象甲寻找寄主、补充营养和产卵等行为以及吸引香蕉假茎象甲天敌的过程中发挥着重要作用。香蕉假茎象甲通过香蕉假茎释放的挥发性化合物来定位寄主植物的位置,到达寄主植物后产生的信息化学物质可增强同种来取食寄主的吸引力 (Prasuna *et al.*, 2008)。而香蕉害虫的种类、发生期、发生量及其为害部位等,以及与其相对应的香蕉害虫天敌的出现,均与香蕉的生理状态有着密切关系。本文初步分析了不同生理状态香蕉假茎挥发性成分,研究了香蕉假茎象甲对香蕉假茎挥发物的行为反应,但不同生理状态的香蕉假茎挥发性化合物的基本特性、生态学功能及其调控香蕉象甲行为的内在机理,以及香蕉假茎象甲与天敌对香蕉假茎挥发性化合物的感受机理,对于深入探索香蕉假茎象甲的种群发展、传播机制、为害成因以及制定控制策略具有重要的科学意义,还有待进一步深入研究。

参考文献 (References)

Baldwin IT, Halitschke R, Paschold A, Dahl CCV, Preston CA, 2006. Volatile signaling in plant-plant interactions: "Talking trees" in the genomics era. *Science*, 311 (5762): 812—815.

D' Alessandro M, Turlings TCJ, 2006. Advances and challenges in the identification of volatiles that mediate interaction among plants and arthropods. *The Analyst*, 131

(1): 24—32.

Dutt N, Maiti BB, 1972. Bionomics of the banana pseudostem weevil, *Odoiporus longicollis* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae). *Indian J. Entomol.*, 34 (1): 20—30.

Gunawardena NE, Dissanayake S, 2000. Host attractants for the banana stem borer, *Odoiporus longicollis* (Coleoptera: Curculionidae): identification, electrophysiological activity and behavioural bioassay. *J. Natl. Sci. Found. Sri.*, 28 (4): 231—242.

Ndiege IO, Budenberg WJ, Lwande W, Hassanali A, 1991. Volatile components of banana pseudostem of a cultivar susceptible to the banana weevil. *Phytochemistry*, 30 (12): 3929—3930.

Pino JA, Ortega A, Marbot R, Aguero J, 2003. Volatile components of banana fruit (*Musa sapientum* L.) "Indio" from Cuba. *J. Essent. Oil Res.*, 15 (2): 79—80.

Prasuna AL, Jyothi KN, Prasad AR, Yadav JS, Padmanaban B, 2008. Olfactory responses of banana pseudostem weevil, *Odoiporus longicollis* Olivier (Coleoptera: Curculionidae) to semiochemicals from conspecifics and host plant. *Curr. Sci.*, 94 (7): 896—900.

Reddy GVP, Guerrero A, 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends Plant Sci.*, 9 (5): 253—261.

Sahayaraj K, Kombiah P, 2009. Olfactory responses of the banana weevil, *Odoiporus longicollis* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) against pseudostem and its crude extract. *J. Biopest.*, 2 (2): 173—176.

Tinzaara W, Gold CS, Dicke M, van Huis A, Ragama PE, 2007. Host plant odours enhance the responses of adult banana weevil to the synthetic aggregation pheromone Cosmulture⁺. *Int. J. Pest Manage.*, 53 (2): 127—137.

Vas G, Vékey K, 2004. Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. *J. Mass Spectrom.*, 39 (3): 233—254.

杜家伟, 2001. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制. 植物生理学报, 27 (3): 193—200.

高晓余, 何月秋, 赵艳, 曾锋, 杨黎黎, 肖春, 2009. 石斛蓟象成虫对不同来源气味的行为反应. 昆虫学报, 52 (7): 814—819.

刘芳, 娄永根, 程家安, 2003. 虫害诱导的植物挥发物: 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物. 昆虫知识, 40 (6): 481—486.

娄永根, 程家安, 1997. 植物-植食性昆虫-天敌三营养层次的相互作用及其研究方法. 应用生态学报, 8 (3): 325—331.

鲁玉杰, 张孝羲, 2001. 信息化合物对昆虫行为的影响. 昆

- 虫知识,38(4):262—266.
- 陆永跃,梁碧玲,2006. 龙牙蕉和香芽蕉叶片挥发性化学成分比较. 果树学报,23(5):711—714.
- 彭金英,黄勇平,2005. 植食性昆虫诱导的挥发物及其在植物通讯中的作用. 植物生理学通讯,41(5):679—683.
- 申建梅,曾玲,胡黎明,宾淑英,陆永跃,林进添,2011. 香蕉果实挥发物的化学成分比较分析. 环境昆虫学报,33(2):277—281.
- 陶晨,王道平,杨小生,余跃生,2010. 固相微萃取气相色谱质谱法分析香蕉中的香气成分. 甘肃农业大学学报,45(4):139—141.
- 杨伟伟,李振基,安钰,谢清清,赵玉强,沈应柏,2008. 植物挥发性气体(VOCs)研究进展. 生态学杂志,27(8):1386—1392.
- 张开明,1999. 香蕉病虫害防治. 北京:中国农业出版社. 75—77.
- 张淑颖,肖春,叶敏,康敏,伍苏然,胡纯华,2006. 香蕉果肉挥发物对桔小实蝇成虫的引诱作用. 华中农业大学学报,25(5):512—514.
- 郑浩,杨长举,华红霞,张宏宇,2002. 与昆虫有关的植物挥发性次生物质的研究方法. 昆虫知识,39(1):9—13.
- 朱虹,陈玉芬,李雪萍,李军,韩冬芳,陈维信,2007. 顶空固相微萃取气-质联用分析香蕉的香气成分. 园艺学报,34(2):485—488.