巴氏新小绥螨对柑桔全爪螨处理的枳橙叶片挥发物的行为反应*

胡军华[1**] 王雪莲[2] 张耀海[1] 姚廷山[1] 刘浩强[1] 李鸿筠[1] 冉 春[1]

（1. 西南大学柑桔研究所，柑桔工程技术中心，西南地区果树科学观测实验站，重庆 400712；
2. 西南大学园艺园林学院，重庆 400712）

摘 要 **【目的】** 研究巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 对柑桔全爪螨 *Panonychus citri* 及刺吸式昆虫为害柑桔叶片释放的挥发物的行为反应，揭示巴氏新小绥螨的嗅觉反应特点。**【方法】** 采用 GC-MS 顶空进样法对枳橙叶片常见挥发性化合物、针刺枳橙叶片及其柑桔全爪螨雌成螨取食枳橙叶片挥发物进行定性分析，确定每类化合物的相对保留指数，构建枳橙叶片常见及受害挥发性化合物特征谱库。利用嗅觉测定技术分析巴氏新小绥螨对枳橙叶片挥发物的行为反应。**【结果】** 针刺处理和柑桔全爪螨取食影响枳橙叶片挥发物的组成和含量。两种方法处理时枳橙叶片释放的主要物质为 α-蒎烯、水芹烯、4-异丙基甲苯。随着处理加重，增量释放的物质为：*cis*-π-罗勒烯、月桂烯、柠檬烯、异松油烯，减量表达的物质为 2-乙基-1-乙醇和十一烷。在 10^{-2}、10^{-4}、10^{-6} 和 10^{-8} g/mL 浓度下，正己醛、正壬醛、乙酸辛酯和正庚醛对巴氏新小绥螨有强烈的引诱作用（P>0.05）；月桂烯在 10^{-2}、10^{-4} 和 10^{-6} g/mL 浓度下对巴氏新小绥螨有强烈的引诱作用（P>0.05）；正壬醇和正辛醇随着浓度增加，对巴氏新小绥螨的引诱作用降低；苯甲醛对巴氏新小绥螨的引诱作用较弱。**【结论】** 巴氏新小绥螨对柑桔全爪螨及刺吸式口器昆虫为害柑桔叶片释放出的挥发物各组分具有不同的行为反应，柑桔及其刺吸式害虫生境中的嗅觉线索在巴氏新小绥螨的寄主定位和生境选择中起着重要作用。

关键词 巴氏新小绥螨，柑桔挥发物，行为反应

Behavioral response of *Neoseiulus barkeri* to carrizo citrange leaves damaged by *Panonychus citri* and sucking insects

HU Jun-Hua[1**] WANG Xue-Lian[2] ZHANG Yao-Hai[1] YAO Ting-Shan[1]
LIU Hao-Qiang[1] LI Hong-Jun[1] RAN Chun[1]

(1. Citrus Research Institute, Southwest University, National Citrus Engineering Research Center, Scientific Observing and Experimental Station of Fruit Tree Science, Southwest Region, Ministry of Agriculture, Chongqing 400712, China;
2. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400712, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the olfactory response of *Neoseiulus barkeri* to volatiles released by citrus leaves that had been damaged by either *Panonychus citri* or piercing-sucking insects. **[Methods]** Common volatile compounds of citrus leave were qualitatively analyzed using GC-MS-liquid mass spectrometry. The relative retention index of each compound was determined and a library of the common citrus volatiles obtained constructed. In addition, volatiles from citrus leaves damaged by *P. citri* and sucking insects were collected and identified. Orientation responses of *N. barkeri* to volatiles were studied using a Y-tube olfactometer. **[Results]** Both the kinds, and the quantities, of volatiles from damaged leaves were notably different to those of the control. Furthermore, the volatiles from leaves damaged by *P. citri* were significantly different to those obtained

* 资助项目 Supported projects：农业部公益性行业专项（201103020）；重庆市科技支撑示范工程（cstc2014fazktjcsf0075）；“十二五”农村领域国家科技计划课题（2014BAD16B0702-5）

**第一作者 First author，E-mail：hujunhua@cric.cn

收稿日期 Received：2016-01-04，接受日期 Accepted：2016-01-09

from leaves damaged by sucking insects. Both kinds of damage induced citrus leaves to release α-pineine, α-phellandrene and *p*-cymene. Insect damage dramatically increased the quantities of some volatiles, including *cis*-π-ocimene, myrcene, limonene and terpineol, but reduced that of others, including 2-ethyl-alcohol and Undecane. *N. barkeri* was obviously attracted to caproaldehyde, nonanal, octyl acetate, heptaldehyde and myrcene at the concentrations tested (P>0.05). It was less attracted when n-octanol and 1-nonanol concentrations decreased. **[Conclusion]** *N. barkeri* have different behavioral responses to volatile components from citrus leaves damaged by *P. citri* compared to those damaged by piercing-sucking insects. Chemical cues induced by the feeding activity of *P. citri* and piercing-sucking insects play an important role in host selection and location by *N. barkeri*.

Key words　*Neoseiulus barkeri*, citrus volatile, behavioral response, *Panonychus citri*

植食性昆虫取食诱导植物释放的挥发物具有高度的特异性，捕食性天敌可以利用这种特异性来搜索特定寄主（Allison and Hare，2009；Mumm and Dicke，2010）。很多研究者期望在生物防治中通过使用特定挥发物来增加天敌的种类和数量以增强对害虫的抑制作用（Dicke *et al.*，1990；Turlings and Ton，2006；Khan *et al.*，2008；Kaplan，2012）。考虑到不同植物、品种释放的挥发物成分的数量和质量不同，可以采用多重统计等方法调查捕食性天敌可利用挥发物的数量和种类（D'Alessandro and Turlings，2006；Pareja *et al.*，2009；Gols *et al.*，2011）。另外，Dicke 等（1990）发现菜豆受二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 取食后释放出的挥发物可以吸引智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis*，其中的活性成分为（*E*）-4, 8-dimethyl-1, 3, 7-nonatriene（DMNT）、芳樟醇、（*E*）-β-罗勒烯和水杨酸甲酯（MeSA）。加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 对（*E*）-2-hexenal、（*Z*）-3-hexenol、（*Z*）-3-hexenyl acetate 具有明显的趋性（Shimoda *et al.*，2010）。（*E*）-β-ocimene、DMNT、（E, E）-α-法呢烯混合物、DMNT、水杨酸甲酯、β-丁子香烯、TMTT 混合物分别是奥氏钝绥螨 *Amblyseius womersleyi* 搜寻茶梢、芸豆上神泽氏叶螨 *Tetranychus kanzawai* 的关键信息，当这两种混合物中缺少其中任何一种物质后，其都不再对奥氏钝绥螨具引诱活性（Ishiwari *et al.*，2007）。部分捕食螨能够通过植食性害虫（螨）诱导产生的植物挥发性气味来定位被其猎物取食的植株（Sabelis and van de Baan，1983；Sabelis and Dicke，1985；Dicke，2000；Nomikou *et al.*，2005），从而增加它们搜索猎物的有效性。

巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 是多食性捕食者，可捕食叶螨、蓟马、蚜虫、木虱、粉虱、介壳虫、跳虫、跗线螨、丝状菌、线虫和蚊蝇类幼虫等生物，捕食量相对比较大，且容易人工繁殖，因此被广泛用于农业生物防治中（张金平，2008）。柑桔全爪螨 *Panonychus citri* 是柑桔上的重要害螨，巴氏新小绥螨作为其捕食者，当害螨发生时，巴氏新小绥螨可否对叶螨进行及时有效控制？在柑桔园内捕食螨有效搜索定位猎物危害植物的能力将影响着生物防治的效果。目前国内对巴氏新小绥螨的研究较多，但巴氏新小绥螨对猎物搜索能力的研究还少有报道。本文主要揭示巴氏新小绥螨对柑桔全爪螨取食诱导及取食后释放量变化较大的化合物的行为反应，为明确其寄主定位和生境选择的化学线索，进一步探讨柑桔-柑桔全爪螨-巴氏新小绥螨间的信息交流机制以及信号化合物的田间应用等提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

枳橙：西南大学柑桔研究所无病毒苗木实验基地提供，采集枳橙嫩梢，从顶端保留 5 片嫩叶。

柑桔全爪螨：采自西南大学柑桔研究所枳橙叶片，室内人工饲养，选取雌成螨用于实验。

巴氏新小绥螨：由河北昌黎果树所于丽辰老师赠送。在人工气候箱（温度 25℃，相对湿度 80%±5%，光周期 16L∶8D）中用麦麸饲喂的椭

圆食粉螨 *Aleuroglyphus ovatus* 饲养，并在实验前 1 d，从饲料中分离、选择活性强的雌成螨进行试验。

气味源：4-松油醇（98%）、芳樟醇（98%）、α-松油醇（98%）、香叶醇（97%）、β-蒎烯（98%）、萜品油烯（85%），反式己烯醛（98%）、月桂烯、桉叶油醇（99%）、乙酸橙花酯（95%）、香茅醛（96%）、香茅醇（98%）、(*R*) - (+) -苎烯（96%）、柠檬醛（97%）、乙酸香叶酯（96%）、双戊烯（95%）、正己醛（97%）、正壬醛（96%）、乙酸辛酯（98%）、正庚醛（97%）、正辛醇（99.5%）、正壬醇（98%）、苯甲醛等购自 Aldrich 或 Sigma 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 针刺枳橙嫩梢叶片处理 采集枳橙嫩梢，从顶端保留 5 片嫩叶。在每个嫩梢的嫩叶上采用 0 号昆虫针共针刺 25、50、100、200、400 次，每个处理 3 次重复，设置空白对照。

1.2.2 柑桔全爪螨取食枳橙嫩梢处理 采集枳橙嫩梢，从顶端保留 5 片嫩叶。在每个嫩梢上分别用零号毛笔接入雌成螨 25、50、100、200、400 头，每个处理 3 次重复，设置空白对照。

1.2.3 顶空动态活体吸附 采用顶空动态活体吸附法对针刺枳橙嫩梢叶片挥发物和柑桔全爪螨取食枳橙嫩梢叶片挥发物进行收集。样品瓶为 20 mL。采用气相色谱-质谱联用仪，型号为 GCMS-QP2101（岛津公司，日本），内接 DB-5（长 60 m，内径 0.25 mm，厚 0.25 μm）毛细管柱。柱温起始温度为 45℃，保持 2 min；然后 5℃/min 升至 210℃；再 25℃/min 升至 260℃，保持 10 min。载气为氮气，流速 1 mL/min。质谱采用 EI 电离方式，70 eV 轰击电压，扫描频率 2 次/s，检测器温度为 250℃。样品用 500 μL 色谱纯二氯甲烷洗脱，然后加入 0.05 μg 癸酸乙酯（Decanoic acid ethyl ester）作为内标。无分流进样，进样量为 1 μL。采用质谱库检索、比对两根不同极性色谱柱（DB-5、DB-WAX）上化学标准样品的保留时间或比对化学标准品在 DB-5 色谱柱上的考瓦斯指数进行定性分析。经 NIST27 和 NIST147 谱库检索与标准品核对，人工解析离子谱峰，确定挥发物的成分，并按照峰面积归一法计算各成分的相对百分含量。试验重复 3 次。

1.2.4 巴氏新小绥螨对枳橙叶片挥发物的行为反应 Y 形嗅觉仪是一个用玻璃制成的 Y 形管，其基部长 10 cm，内径 3 cm，两臂等长约 20 cm，两臂夹角约 75°，每臂分别由两节玻璃管套嵌而成，相接处内置纱网，纱网孔径允许叶螨自由通过。Y 形管中央置一“Y”形铁丝，铁丝端部穿过纱网。两臂分别依次连接流速计（用于控制气流速度）、味源瓶（样品或空气）、加湿瓶（用于保持湿度）、活性炭的过滤瓶（用于净化空气）、抽气泵等。测试时，先将抽气泵电源接通，调节流速计，使两边气流流速相同，均为 2.5 L/min。测试时，味源瓶中放置不同浓度的被测标样单体样品 30 μL，对照瓶中为空气。生测时间是 9:00—16:00，实验期间温度控制在（28±1）℃，相对湿度 80%～90%，光强 260 lx。从“Y”形嗅觉仪主臂端口释放巴氏新小绥螨，每次观察 5 min，当爬行距离超过某臂 1/2 时记录选择了该臂， 5 min 内无选择，记为无行为反应。每处理不少于 200 头巴氏新小绥螨，每测 1 组后换一个干净的“Y”形管。记录反应巴氏新小绥螨数目。在被测试的 23 种柑桔挥发物标样中，每次取 30 μL 样品滴在“Y”形嗅觉仪进气管端的滤纸上进行测试。

分别将 15 种被测标样样品 10 mL 溶于 1 mL 的液体石蜡中，在涡旋器上充分混匀后，用液体石蜡分别按体积比配成 10^{-2}、10^{-4}、10^{-6}、10^{-8} g/mL 浓度系列。每次取 30 μL 样品滴在“Y”形嗅觉仪进气管端的滤纸上进行测试。计算选择率并采用 SPSS20 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 针刺枳橙嫩梢叶片释放的挥发物

针刺枳橙嫩梢叶片共检测到 66 种物质，见表 1。补骨脂素、苯乙烯、γ-丁内酯、苯乙酮、姥鲛烷、壬酸、雪松醇、植烷仅在正常叶片挥发物中发现。与正常叶片挥发物比较，针刺处理后

表 1　针刺处理枳橙叶片挥发物成分及相对含量

Table 1　Components and relative contents (%) of the volatiles from treated leave of citrange by needling

编号 No.	化合物 Compounds	CAS	针刺密度（针/梢） Needling density (needlings/treetop)					
			25	50	100	200	400	0
1	衣兰油烯 π-muurolene	30021-74-0	0.40	0.24	–	–	–	–
2	朱栾倍半萜 Valencene	4630-07-3	0.19	–	–	–	–	–
3	2,5-2-tert-丁基酚 2,5-di-tert-butylphenol	5875-45-6	0.91	–	–	–	–	–
4	邻苯二甲酸二乙酯 Diethyl phthalate	84-66-2	0.19	0.22	–	–	–	–
5	4-仲丁基-2,6-二叔丁基苯酚 2,6-di-tert-butyl-4-sec-butylphenol	17540-75-9	0.20	–	–	–	–	–
6	异氰脲酸三烯丙酯 Triallyl isocyanurate	1025-15-6	0.21	–	–	–	–	–
7	π-荜澄茄油烯 π-cubebene	13744-15-5	0.59	0.47	–	–	–	–
8	苯乙烷 Ethylbenzene	100-41-4	0.15	–	0.10	–	–	–
9	十七碳烷 Heptadecane	629-78-7	0.34	0.30	–	–	–	–
10	甲苯 Toluene	108-88-3	0.39	–	–	–	–	–
11	m-二甲苯 m-xylene	108-38-3	0.44	–	–	–	–	–
12	萜品醇 *cis*-terpineol	7299-41-4	0.16	–	–	–	–	–
13	水杨酸甲酯 Methylnaphthalene	119-36-8	0.12	–	–	–	–	–
14	甲基萘 2-methylnaphthalene	91-57-6	0.25	–	–	–	–	–
15	可巴烯 Copaene	3856-25-5	0.28	–	–	–	–	–
16	佛手苷油烯 π-bergamotene	17699-05-7	0.17	–	–	–	–	–
17	4-萜品烯 Terpinene-4-ol	562-74-3	0.01	–	0.01	–	–	–
18	3,5-双叔丁基-4-羟基-苯丙酮 3,5-bis (tert-butyl)-4-hydroxy-propiophenone	14035-34-8	–	0.16	–	–	–	–
19	萜品醇 Terpineol	98-55-5	–	–	–	–	0.12	–
20	邻甲氨基苯甲酸甲酯 Dimethyl anthranilate	85-91-6	–	–	0.01	–	–	–
21	α-橙花醇 Nerol	106-25-2	0.05	–	0.06	–	–	–
22	薄荷酮 d-piperitone	89-81-6	–	–	0.01	–	–	–
23	香叶醛 Geranial	141-27-5	0.04	–	0.05	–	–	–
24	桧萜 Sabinene	3387-41-5	0.04	–	0.02	–	–	–
25	α-蒎烯 α-pinene	7785-26-4	0.06	1.23	0.05	0.25	–	–
26	α-萜品醇 α-terpineol	10482-56-1	0.08	–	0.07	0.07	–	–
27	α-水芹烯 α-phellandrene	99-83-2	0.27	–	0.27	0.24	–	–
28	δ-3-蒈烯 δ-3-carene	13466-78-9	2.51	–	1.94	4.98	–	–
29	α-萜品烯 α-terpinene	99-86-5	0.14	–	0.13	0.18	–	–
30	*p*-甲基异丙基苯 *p*-cymene	99-87-6	0.04	0.46	1.44	0.12	0.15	–
31	*p*-二甲苯 *p*-xylene	106-42-3	0.35	–	0.28	–	1.31	–
32	π-trans-罗勒烯 π-trans-Ocimene	3779-61-1	0.59	–	0.21	0.23	0.31	–
33	芫荽醇 Linalol	78-70-6	1.39	–	1.70	0.92	1.15	–

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	化合物 Compounds	CAS	针刺密度（针/梢） Needling density (needlings/treetop)					
			25	50	100	200	400	0
34	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 (4*E*,6*Z*)-2,6-dimethyl-2,4,6-octatriene	673-84-7	1.32	–	0.45	0.25	0.25	–
35	香叶酸甲酯 Methyl geranate	2349-14-6	0.31	–	0.23	0.15	0.13	–
36	*cis*-π 罗勒烯 *cis*-π0cimene	3338-55-4	15.36	14.52	11.89	19.74	16.59	10.42
37	月桂烯 Myrcene	123-35-3	6.36	2.81	4.52	7.51	9.65	2.43
38	柠檬烯 Limonene	138-86-3	20.06	38.62	31.08	42.34	52.64	37.18
39	γ-萜品烯 γ-terpinene	99-85-4	0.84	1.22	1.64	0.31	0.39	0.97
40	异松油烯 Terpinolene	586-62-9	1.40	0.90	2.34	1.25	3.63	0.78
41	樟脑 Naphthalene	91-20-3	0.39	–	0.01	0.04	0.09	0.50
42	十三烷 Tridecane	629-50-5	1.55	4.28	5.06	4.55	1.75	3.74
43	β-丁子香烯 β-caryophyllene	87-44-5	10.53	17.24	8.62	7.88	8.75	11.62
44	2-乙基-1-己醇 2-ethyl-1-hexanol	104-76-7	1.01	2.43	3.19	2.93	0.52	6.45
45	十二烷 Dodecane	112-40-3	0.87	1.97	3.39	2.02	0.89	2.22
46	γ-榄香烯 γ-elemene	339154-91-5	3.24	3.90	4.04	0.89	1.07	3.14
47	α-丁子香烯 α-caryophyllene	6753-98-6	0.60	0.94	3.00	–	0.31	0.41
48	法呢烯，金合欢烯 π-farnesene	18794-84-8	1.66	0.77	3.02	–	0.57	1.11
49	大根香叶烯 D Germacrene D	23986-74-5	1.49	1.49	3.09	–	0.63	1.45
50	荜澄茄烯 (+)-Cadinene	483-76-1	1.20	1.49	3.23	–	0.82	1.64
51	壬醛 Nonanal	124-19-6	0.40	0.49	1.14	–	–	0.77
52	正十四碳烷 Tetradecane	629-59-4	1.76	1.37	1.92	2.12	0.44	2.42
53	十五烷 Pentadecane	629-62-9	1.17	0.87	1.05	1.02	–	0.88
54	正十六烷 Hexadecane	544-76-3	0.53	0.92	0.64	–	–	0.16
55	2,6-二叔丁基苯醌 2,6-di-tert-butyl-1, 4-benzoquinone	719-22-2	0.49	–	–	–	–	0.21
56	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-di-tert-butyl-4- methylphenol	128-37-0	0.44	–	–	–	–	0.50
57	十一烷 Undecane	1120-21-4	0.45	0.40	–	–	–	3.46
58	十一醛 Undecanal	112-44-7	0.24	0.28	–	–	–	0.19
59	补骨脂素 Psoralen	66-97-7	–	–	–	–	–	1.18
60	苯乙烯 Styrene	100-42-5	–	–	–	–	–	3.64
61	γ-丁内酯 4-hydroxybutanoic acid lactone	96-48-0	–	–	–	–	–	1.01
62	苯乙酮 Acetophenone	98-86-2	–	–	–	–	–	0.39
63	姥鲛烷 Pristane	1921-70-6	–	–	–	–	–	1.94
64	壬酸 Nonoic acid	112-05-0	–	–	–	–	–	0.65
65	雪松醇 Cedrol	77-53-2	–	–	–	–	–	0.20
66	植烷 Phytane	638-36-8	–	–	–	–	–	1.18

出现的物质为 α-蒎烯、α-萜品烯、水芹烯、3-蒈烯、对伞花烃、*p*-二甲苯、π-反式-罗勒烯、芫荽醇、香叶酸甲酯。随着针刺数目的增加，增量表达的物质为 *cis*-π-罗勒烯、月桂烯、柠檬烯、异松油烯、正十六烷；减量表达的物质为樟脑、β-丁子香烯、2-乙基-1-乙醇和十一烷。其他大部分物质增量或者减量情况不明显。衣兰油烯、朱栾倍半萜、2,5-2-tert-丁基酚、邻苯二甲酸二乙酯、异氰脲酸三烯丙酯、π 荜澄茄油烯、水杨酸甲酯、可巴烯、佛手苷油烯、橙花醇、邻甲氨基苯甲酸甲酯、α-橙花醇、薄荷酮、香叶醛、桧萜等 25 种物质仅在 1~2 个针刺处理中出现，在其他针刺处理中不出现。

2.2　柑桔全爪螨取食枳橙嫩梢叶片释放的挥发物

柑桔全爪螨取食枳橙嫩梢叶片共检测到 44 种物质，见表 2。补骨脂素、苯乙烯、γ-丁内酯、乙酰苯、姥鲛烷、壬酸、雪松醇、植烷仅在正常叶片挥发物中发现。与正常叶片挥发物比较，柑桔全爪螨取食枳橙叶片处理后出现的物质为 α-蒎烯、水芹烯、对伞花烃、邻二甲苯、2,4,6-辛三烯。随着取食柑桔嫩梢叶片的柑桔全爪螨数目的增加，增量表达的物质为 *cis*-π-罗勒烯、月桂烯、柠檬烯、异松油烯，减量表达的物质为 2-乙基-1-乙醇、十一烷、十三烷、正十四碳烷、十二烷、γ-榄香烯、π-法尼烯、大根香叶烯 D、荜橙茄烯、十五烷。其他大部分物质增量或者减量情况不明显。香树烯、α-萜品烯、π-柏木烯、朱栾倍半萜、π-荜橙茄油烯、α-法尼烯、反-π-罗勒烯、3-蒈烯 8 个物质仅在 1~2 个处理中出现，在其他处理和空白对照中不出现。

2.3　巴氏新小绥螨对柑桔叶片挥发物的行为反应

通过“Y”形嗅觉仪比较了 23 个柑桔叶片挥发物对巴氏新小绥螨引诱力的差异，并测定了巴氏新小绥螨对其中 15 种挥发物单体标样在 10^{-2}、10^{-4}、10^{-6}、10^{-8} g/mL 浓度下的行为反应，结果见表 3。被检测的 23 种柑桔挥发物中，选择率超过 80%的为正壬醛、乙酸辛酯、正庚醛、正辛醇、正壬醇和苯甲醛。经方差分析发现，正壬醛、乙酸辛酯、正庚醛、正辛醇、正壬醇、正己醛和苯甲醛对巴氏新小绥螨有着强烈的显著的引诱作用。

分别将 15 种被测标样单体样品按体积比配成 10^{-2}、10^{-4}、10^{-6}、10^{-8} g/mL 浓度系列进行测试，结果见表 4。在 10^{-2}、10^{-4}、10^{-6}、10^{-8} g/mL 浓度下，正庚醛、乙酸辛酯和正壬醛对巴氏新小绥螨有强烈的引诱作用（P>0.05）；月桂烯在 10^{-2}、10^{-4}、10^{-6} g/mL 浓度下对巴氏新小绥螨有强烈的引诱作用（P>0.05）；正壬醇、正辛醇和萜品油烯随着浓度增加，对巴氏新小绥螨的引诱作用降低；α-蒎烯随着浓度增加对巴氏新小绥螨的引诱作用增强；测试浓度范围内苯甲醛对巴氏新小绥螨的引诱作用差。

表 2　柑桔全爪螨处理枳橙叶片挥发物成分及相对含量

Table 2　Components and relative content of the volatiles from treated leave of citrange by *Panonychus citri*

编号 No.	化合物 Compounds	CAS	螨口密度（头/梢）Mite density (mites/treetop)					
			25	50	100	200	400	0
1	香树烯 Aromadendrene	109119-91-7	–	0.32	–	–	–	–
2	γ-萜品烯 γ-terpinene	99-86-5	–	0.40	–	–	0.40	–
3	π-柏木烯 π-cedrene	469-61-4	–	0.12	0.40	–	–	–
4	朱栾倍半萜 Naphthalene	4630-07-3	–	–	0.33	–	–	–
5	π-荜橙茄油烯 π-cubebene	13744-15-5	–	–	0.30	–	–	–
6	α-法呢烯 α-farnesene	502-61-4	–	–	2.06	–	–	–
7	反-π 罗勒烯 π-trans-ocimene	3779-61-1	–	–	0.40	–	–	–
8	δ-3-蒈烯 δ-3-carene	13466-78-9	–	–	–	–	24.60	–

续表 2 (Table 2 continued)

编号 No.	化合物 Compounds	CAS	螨口密度（头/梢）Mite density (mites/treetop)					
			25	50	100	200	400	0
9	邻二甲苯 o-xylene	95-47-6	7.45	7.70	4.71	10.61	2.04	–
10	*p*-甲基异丙基苯 *p*-cymene	99-87-6	0.52	0.67	0.81	1.54	0.66	–
11	α-蒎烯 α-pinene	7785-26-4	14.73	1.89	1.40	1.20	1.56	–
12	2,4,6-辛三烯 2,4,6-octatriene	7216-56-0	0.55	0.92	0.36	0.52	0.18	–
13	α-水芹烯 α-phellandrene	99-83-2	–	–	0.30	0.35	0.84	–
14	γ-萜品烯 γ-terpinene	99-85-4	0.75	1.27	1.35	2.20	0.80	0.97
15	月桂烯 Myrcene	123-35-3	3.98	7.47	6.53	8.78	7.17	2.43
16	柠檬烯 Limonene	138-86-3	41.98	41.50	43.66	40.07	45.75	37.18
17	*cis*-π 罗勒烯 *cis*-πocimene	3338-55-4	15.13	14.39	17.38	16.99	10.45	10.42
18	异松油烯 Terpinolene	586-62-9	0.90	0.87	1.30	1.22	1.17	0.78
19	2-乙基-1-己醇 2-ethyl-1-hexanol	104-76-7	1.89	0.72	0.53	1.77	0.56	6.45
20	十三烷 Tridecane	629-50-5	2.36	1.63	1.80	0.80	0.38	3.74
21	正十四碳烷 Tetradecane	629-59-4	1.82	0.70	0.38	–	–	2.42
22	十二烷 Dodecane	112-40-3	1.26	0.42	0.29	–	–	2.22
23	γ-榄香烯 γ-elemene	339154-91-5	–	1.38	1.52	0.37	0.53	3.14
24	十一烷 Undecane	1120-21-4	0.50	0.23	–	0.19	–	3.46
25	π-法呢烯 π-farnesene	18794-84-8	–	0.58	0.72	–	0.14	1.11
26	大根香叶烯 D Germacrene D	23986-74-5	–	0.47	0.85	–	0.14	1.45
27	荜橙茄烯(+)-cadinene	483-76-1	–	0.86	0.85	–	0.16	1.64
28	十五烷 Pentadecane	629-62-9	0.37	0.19	–	–	–	0.88
29	α-丁子香烯 α-caryophyllene	6753-98-6	–	0.65	0.55	–	0.15	0.41
30	樟脑 Naphthalene	91-20-3	0.82	–	0.21	–	–	0.50
31	β-丁子香烯 β-caryophyllene	87-44-5	3.95	14.40	11.01	4.31	2.29	11.62
32	壬醛 Nonanal	124-19-6	0.83	0.27	–	–	–	0.77
33	癸醛 Decanal	112-44-7	0.40	–	–	–	–	0.19
34	补骨脂素 Psoralen	66-97-7	–	–	–	–	–	1.18
35	苯乙烯 Styrene	100-42-5	–	–	–	–	–	3.64
36	γ-丁内酯 γ -butyrolactone	96-48-0	–	–	–	–	–	1.01
37	苯乙酮 Acetophenone	98-86-2	–	–	–	–	–	0.39
38	正十六烷 Hexadecane	544-76-3	–	–	–	–	–	0.16
39	姥鲛烷 Norphytane	1921-70-6	–	–	–	–	–	1.94
40	壬酸 Nonanoic acid	112-05-0	–	–	–	–	–	0.65
41	丁基羟基甲苯 Butylated hydroxytoluene	128-37-0	–	–	–	–	–	0.50
42	雪松醇 Cedrol	77-53-2	–	–	–	–	–	0.20
43	植烷 Phytane	638-36-8	–	–	–	–	–	1.18
44	2,6-二叔丁基苯醌 2,6-di-tert-butylbenzoquinone	719-22-2	–	–	–	–	–	0.21

表 3　巴氏新小绥螨对 23 种柑桔挥发物的嗅觉反应

Table 3　Olfactory responses of *Amblyseius barkeri* to 23 kinds of volatiles in Y-tube olfactometer

编号 No.	化合物 Compounds	CAS	选择率（%）Selectivity (%)
1	4-萜烯醇 4-carvomenthenol	562-74-3	71.59±14.31abcde
2	芳樟醇 Linalool	78-70-6	68.48±12.49bcde
3	α-松油醇 α-terpineol	10482-6-1	72.74±7.24abcde
4	香叶醇 Geraniol	106-24-1	56.39±2.55e
5	α-蒎烯 α-pinene	7785-26-4	70.11±13.04abcde
6	萜品油烯 Terpinolene	586-62-9	71.75±19.77abcde
7	反式-2-己烯醛 *trans*-2-hexen-1-al	6728-26-3	62.95±7.58de
8	月桂烯 Myrcene	123-35-3	59.78±6.27de
9	桉叶油醇 Eucalyptol	470-82-6	57.01±7.04e
10	乙酸橙花酯 Nerylacetate	141-12-8	60.13±15.20de
11	香茅醛 (±)-citronellal	106-23-0	60.13±13.55de
12	香茅醇 β-citronellol	106-22-9	67.10±6.32cde
13	（*R*）–（+）–苎烯 (*R*)-(+)-limonene	5989-27-5	61.08±16.99de
14	柠檬醛 Citral	5392-40-5	68.87±14.92bcde
15	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	105-87-3	74.16±2.06abcde
16	双戊烯 Dipentene	138-86-3	66.46±4.51cde
17	正己醛 Caproaldehyde	66-25-1	79.09±9.16abcd
18	正壬醛 Nonanal	124-19-6	86.86±2.02ab
19	乙酸辛酯 Octyl acetate	112-14-1	85.19±2.22abc
20	正庚醛 Heptaldehyde	111-71-7	88.25±3.10ab
21	正辛醇 n-octanol	111-87-5	85.93±4.05abc
22	正壬醇 1-nonanol	143-08-8	87.66±3.12ab
23	苯甲醛 Benzaldehyde	100-52-7	89.44±9.42a

表中数值为平均值±标准误。同列数值后标有相同小写英文字母者表示在 0.05 水平差异不显著（Duncan's 多重比较法）。下表同。

Data are mean±SE, and followed by same letters in the same column mean no significant difference at 0.05 levels by Duncan's multiple range test. The same below.

表 4　巴氏新小绥螨对 15 种不同浓度挥发物的嗅觉反应

Table 4　Olfactory responses of *Amblyseius barkeri* to 15 kinds of volatiles in Y-Tube olfactometer

编号 No.	化合物 Compounds	不同浓度处理的选择率（%）Selectivity at different concentration（%）			
		10^{-8} g/mL	10^{-6} g/mL	10^{-4} g/mL	10^{-2} g/mL
1	苯甲醛 Benzaldehyde	51.81±4.35cf	53.88±12.32de	40.48±12.97d	57.98±3.05cd
2	正壬醇 1-nonanol	76.26±3.04a	67.26±8.60abc	49.88±30.45cd	55.08±16.79d
3	正辛醇 n-octanol	68.60±4.65abcd	61.39±9.45bcd	59.84±1.80abcd	56.78±4.75cd
4	正庚醛 Heptaldehyde	74.00±6.20ab	68.77±0.80ab	72.51±4.05ab	72.81±5.83ab
5	乙酸辛酯 Octyl acetate	66.41±4.23abcde	70.23±5.12ab	68.81±4.00abc	70.11±1.39abc
6	正壬醛 Nonanal	76.05±1.31a	75.61±7.08a	67.36±5.55abc	69.69±3.76abc

续表 4 (Table 4 continued)

编号 No.	化合物 Compounds	不同浓度处理的选择率（%）Selectivity at different concentration（%）			
		10^{-8} g/mL	10^{-6} g/mL	10^{-4} g/mL	10^{-2} g/mL
7	正己醛 Caproaldehyde	71.40±5.06abc	73.34±1.28a	61.12±5.13abc	62.16±11.07bcd
8	月桂烯 Myrcene	63.28±5.63bcdef	75.45±0.47a	75.11±6.68a	76.57±9.46a
9	α-蒎烯 α-pineine	35.08±6.14g	46.09±3.67e	50.59±2.82cd	53.47±1.71d
10	异辛醇 2-ethyl-1-hexanol	54.69±2.66ef	45.44±0.27e	54.81±11.21bcd	52.37±6.31d
11	萜品油烯 Terpinolene	61.70±9.00cdef	55.80±3.41de	52.09±2.05bcd	49.74±5.20d
12	邻二甲苯 1,2-xylene	55.46±6.13ef	56.88±1.48cde	49.95±8.76cd	54.81±6.42d
13	4-异丙基甲苯 4-isopropyltoluene	52.00±11.26f	51.75±7.57de	52.17±4.49bcd	58.88±7.93cd
14	对二甲苯 *p*-xylene	51.75±5.42f	47.99±9.46e	55.30±10.67abcd	51.70±3.88d
15	十一烷 Undecane	58.17±12.19def	55.92±1.80de	52.89±8.45bcd	53.25±0.98d

3 讨论

植物挥发物在许多寄主和天敌定位中起着非常重要的作用，根据成虫的嗅觉机制及其行为特点，探索以捕食螨为主的柑桔园生态调控势在必行。目前关于巴氏新小绥螨对柑桔挥发物的行为反应、寄主定位及它们之间的相互关系报道较少。为此，我们利用针刺处理模拟刺吸式口器昆虫取食柑桔叶片的状态，与柑桔全爪螨取食柑桔叶片比较发现，处理后释放的共同物质是α-蒎烯、水芹烯、对伞花烃，随着处理加重，增量释放的物质为 *cis*-π-罗勒烯、月桂烯、柠檬烯、异松油烯，减量表达的物质为 2-乙基-1-乙醇，十一烷。而且柑桔全爪螨取食叶片释放的月桂烯、γ-萜品烯、β-丁子香烯量增加了 2~4 倍，而 3-蒈烯降低了 2 倍。α-蒎烯、月桂烯在棉花受损伤时也会大量释放（Loughrin *et al.*，1994）。那么这些释放的主要物质是否与巴氏新小绥螨的聚集有关呢？

在比较针刺和柑桔全爪螨处理的柑桔叶片挥发物的基础上，检测了 23 种柑桔挥发物对巴氏新小绥螨的诱导情况，发现正己醛、正壬醛、乙酸辛酯、正庚醛、正辛醇、正壬醇和苯甲醛对巴氏新小绥螨有着显著的引诱作用，浓度为 10^{-8}～10^{-2} g/mL 的正庚醛、乙酸辛酯、正壬醛和正己醛对巴氏新小绥螨有强烈的引诱作用（P>0.05）；10^{-6}～10^{-2} g/mL 的月桂烯对巴氏新小绥螨有强烈的引诱作用（P>0.05）；随着浓度增加正壬醇和正辛醇对巴氏新小绥螨的引诱作用降低。醛、醇和酯类的化合物似乎对巴氏新小绥螨有着更强烈的诱集作用。

Ishiwari 等（2007）用危害茶树叶片的神泽氏叶螨 *Tetranychus kanzawai* 饲养奥氏钝绥螨 *Ambkyseius womerskeyi*，奥氏钝绥螨对神泽氏叶螨诱导的 3 种挥发物（*E*）-β-罗勒烯，DMNT 和（*E,E*）-α-法呢烯的混合物有显著趋性；而用危害菜豆的神泽氏叶螨喂养的奥氏钝绥螨，只有在 4 种挥发物 DMNT、水杨酸甲酯（MeSA）、β-丁子香烯和（*E,E*）-4,8,12- trimethyl-1,3,7,11-tridecatetraene（TMTT）同时存在时才对奥氏钝绥螨有吸引作用；斯氏小盲绥螨搜寻猎物烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的研究也证明了捕食螨学习和经历的重要性（Nomikou *et al.*，2005）。如果在人工饲料中添加正己醛、正壬醛、乙酸辛酯、正庚醛、正辛醇、正壬醇和月桂烯等与柑桔全爪螨取食诱导柑桔释放出的挥发物有关的物质，或许可

以增强巴氏新小绥螨在柑桔园搜索、定位柑桔全爪螨的能力。

携带着害虫身份、虫害发生位置等信息的虫害诱导挥发物在被害柑桔树周围迅速扩散后，势必会对周围的柑桔树、植食性昆虫、天敌等生物的生理或行为产生影响。而这种影响可通过生物的食物网、信息网进一步影响柑桔园昆虫群落的结构和组成。就柑桔而言，虫害诱导挥发物的研究才刚刚开始，期待将来更深入的研究。

参考文献 (References)

Allison JD, Hare DJ, 2009. Learned and naïve natural enemy responses and the interpretation of volatile organic compounds as cues or signals. *New Phytologist*, 184(4): 768–782.

D'Alessandro M, Turlings TCJ, 2006. Advances and challenges in the identification of volatiles that mediate interactions among plants and arthropods. *The Analyst*, 131(1): 24–32.

Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, Bruin J, Posthumus MA, 1990. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. *Journal of Chemical Ecology*, 16(11): 3091–3118.

Dicke M, 2000. Chemical ecology of host-plant selection by herbivorous arthropods: a multitrophic perspective. *Biochemical Systematics and Ecology*, 28(7): 601–617.

Gols R, Bullock JM, Dicke M, Bukovinszky T, Harvey JA, 2011. Smelling the wood from the trees: nonlinear parasitoid responses to volatile attractants produced by wild and cultivated cabbage. *Journal of Chemical Ecology*, 37(8): 795–807.

Ishiwari H, Suzuki T, Maeda T, 2007. Essential compounds in herbivore-induced plant volatiles that attract the predatory mite *Neoseiulus womersleyi*. *Journal of Chemical Ecology*, 33(9): 1670–1681.

Kaplan I, 2012. Attracting carnivorous arthropods with plant volatiles: the future of biocontrol or playing with fire? *Biological Control*, 60(2): 77–89.

Khan ZR, James DG, Midega CAO, Pickett JA, 2008. Chemical ecology and conservation biological control. *Biological Control*, 45(5): 210–224.

Loughrin JH, Manukian A, Heath RR, Turlings TCJ, Tumlinson JH, 1994. Diurnal cycle of emission of induced volatile terpenoids by herbivore-injured cotton plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91(25): 18836–11840.

Mumm R, Dicke M, 2010. Variation in natural plant products and the attraction of bodyguards involved in indirect plant defense. *Canadian Journal of Zoology*, 88(7): 628–667.

Nomikou M, Meng R, Schraag R, Sabelis MW, Janssen A, 2005. How predatory mites find plants with whitefly prey. *Experimental & Applied Acarology*, 36(4): 263–275.

Pareja M, Mohib A, Birkett MA, Dufour S, Glinwood RT, 2009. Multivariate statistics coupled to generalized linear models reveal complex use of chemical cues by a parasitoid. *Animal Behaviour*, 77(4): 901–909.

Sabelis MW, van de Baan HE, 1983. Location of distant spider mite colonies by phytoseiid predators: demonstration of specific kairomones emitted by *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi*. *Entomologica Experimentalis et Applicata*, 33(3): 303–314.

Sabelis MW, Dicke M, 1985. Long range dispersal and searching behaviour//Helle W, Sabelis MW (eds.). Spider Mites: Their Biolog, Natural Enemies and Control. Amsterdam: Elsevier, 1B. 141–160.

Shimoda T, 2010. A key volatile infochemical that elicits a strong olfactory response of the predatory mite *Neoseiulus californicus*, an important natural enemy of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, 50(1): 9–22.

Turlings TCJ, Ton J, 2006. Exploiting scents of distress: the prospect of manipulating herbivore-induced plant odours to enhance the control of agricultural pests.*Current Opinion in Plant Biology*, 9(4): 421–427.

Zhang JP, Fan QH, Zhang F, 2008. Evaluation of the potential biocontrol capability of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera, Thripidae) based on life table. *Journal of Environmental Entomology*, 30(3): 229–232. [张金平, 范青海, 张帆, 2008. 应用实验种群生命表评价巴氏新小绥螨对西花蓟马的控制能力. 环境昆虫学报, 30(3): 229–232.]