环境昆虫学报 2023，45（4）：1063－1071
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2023. 04. 24

杨亚洁，李姝，方艳，王甦，岳艳丽，顾俊杰. 大草蛉对不同时期芳香植物甜罗勒及其主要挥发物质的嗅觉行为反应[J]. 环境昆虫学报，2023，45（4）：1063－1071.

大草蛉对不同时期芳香植物甜罗勒及其主要挥发物质的嗅觉行为反应

杨亚洁[1,2]，李　姝[2*]，方　艳[2]，王　甦[2]，岳艳丽[1]，顾俊杰[1*]
（1. 四川农业大学农学院，成都 611130；2. 北京市农林科学院植物保护研究所，北京 100097）

摘要： 为明确芳香植物甜罗勒 *Ocimum basilicum* 不同时期对捕食性天敌大草蛉 *Chrysopa pallens* 的影响作用，本研究利用 Y 型嗅觉仪测定了甜罗勒不同发育阶段（营养期和开花期）对大草蛉的嗅觉行为反应，并通过 GC-MS 检测了甜罗勒不同发育阶段花和叶释放的挥发性化合物，进而测定了芳樟醇、罗勒烯、丁香酚、萜品油烯、樟脑、β-榄香烯 6 种主要挥发物质在 0.1 μg/L 和 0.01 μg/L 浓度下对大草蛉的嗅觉行为反应。结果表明，开花期的甜罗勒植株可以显著吸引大草蛉雌虫。甜罗勒主要挥发物为单萜和倍半萜。0.1 μg/L 浓度芳樟醇和 0.01 μg/L 浓度 β-榄香烯可显著吸引大草蛉。0.1 μg/L、0.01 μg/L 浓度的萜品油烯和 0.01 μg/L 浓度的樟脑、丁香酚、芳樟醇、罗勒烯对大草蛉具有不显著的趋向选择。因此，大草蛉对甜罗勒偏好性可能与不同时期的挥发物质不同有关，这为进一步开发甜罗勒作为大草蛉诱集定殖功能植物提供支撑数据。

关键词： 大草蛉；甜罗勒；芳香植物；植物挥发物质；嗅觉反应；趋性行为
中图分类号： Q965；S476　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2023）04－1063－09

Olfactory behavioral response of *Chrysopa pallens* to aromatic plant *Ocimum basilicum* and its major volatiles in different periods

YANG Ya-Jie[1,2], LI Shu[2*], FANG Yan[2], WANG Su[2], YUE Yan-Li[1], GU Jun-Jie[1*] (1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: In order to evaluate the reactive preference of predatory natural enemy *Chrysopa pallens* to aromatic plant *Ocimum basilicum* in different periods, the behavioral response of *C. pallens* to *O. basilicum* at different developmental stages (vegetative and flowering stages) was observed by Y-type olfactometer. The volatile compounds of *O. basilicum* released from flowers and leaves at different developmental stages were detected by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). The olfactory behavioral responses of six main volatile odors, including linalool, ocimene, eugenol, terpinolene, camphor, and β-elemene at 0.1 μg/L and 0.01 μg/L concentrations to *C. pallens* were further investigated. The results showed that flowering *O. basilicum* plants significantly attracted the female *C. pallens*. The main volatiles of *O. basilicum* were identified monoterpenes and sesquiterpenes. It was found that 0.1 μg/L linalool and 0.01 μg/L β-elemene had significant attraction to

基金项目： 国家基金面上项目（32072479）；北京市农林科学院创新能力建设（KJCX20200110）；北京市农林科学院青年基金（QNJJ201823）；四川省“天府峨眉计划”

作者简介： 杨亚洁，女，1997 年生，陕西渭南人，硕士研究生，从事功能植物对天敌昆虫增效研究，E－mail：duoduoyang9755@163.com
* 共同通讯作者 Author for correspondence：李姝，女，博士，助理研究员，研究方向为天敌释放田间增效保护，E－mail：lishu@ipepbaafs.cn；顾俊杰，男，博士，副教授，研究方向昆虫系统学与多样性、昆虫行为生态，E－mail：orthoptera_gu@aliyun.com

收稿日期 Received：2022－03－17；**接受日期** Accepted：2022－05－06

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

C. pallens. 0.1 μg/L, 0.01 μg/L terpinolene and 0.01 μg/L camphor, eugenol, linalool, ocimene had insignificant tendency selection to *C. pallens*. Therefore, the preference of *C. pallens* was related to the volatiles at different stages of *O. basilicum*, which provided support data for further development of *O. basilicum* as an attractive colonization plant of lacewing.

Key words: *Chrysopa pallens*; *Ocimum basilicum*; aromatic plant; volatile; olfactory response; behavioral response

捕食性天敌昆虫在控制农林重要害虫、保证农产品的质量与产量等方面起着不可或缺的作用(陈学新等,2010;张帆等,2015;段雪莹等,2021)。作为我国广泛分布的重要捕食性天敌,大草蛉 *Chrysopa pallens* 具有捕食量大、适应性强、年发生世代数多、成虫寿命长且产卵量大等特点(杨集昆,1974;杨星科,1998;Boo *et al.*,1998)。近年来,越来越多的学者聚焦在大草蛉生物学研究,尤其是通过研究感觉器官、滞育、人工饲料、控害能力等挖掘大草蛉的生防价值(李姝等,2019)。但由于大草蛉成虫搜寻扩散能力强而定殖性差,难以使其种群维持发挥持续性控害作用(武鸿鹄等,2014),这极大限制了大草蛉的田间应用。

新兴的保护型生物防治策略是通过功能植物创造有利于天敌昆虫的生存环境,提高其适合度以增强害虫防治效果(戈峰,2020)。其中,芳香植物是一类目前广泛应用的功能植物(宋备舟等,2010;张正群等,2016)。很多研究表明芳香植物释放的挥发性气味对植食性昆虫具有杀虫、驱避和拒食作用(沈君辉等,2007;Conti *et al.*,2010;Dardouri *et al.*,2018)。同时,田间实践也发现,通过间作芳香植物能调控害虫和天敌的种群数量,如在果园内种植芳香植物对天敌种群具有吸引作用,显著增加了主栽作物区的天敌昆虫多样性,提高了对目标害虫的生物防治效果(Song *et al.*,2017;Li *et al.*,2019;Hatt *et al.*,2019)。然而,许多芳香植物对天敌昆虫作用的化学生态学机制并不明确。植物与昆虫的化学通讯系统中,植物释放的特定挥发性物质能够诱导植食性昆虫定位寄主、选择适宜的产卵场所或对植物产生逃避行为,也可为天敌定位寄主栖境提供线索(王冰等,2021)。因此,天敌对芳香植物的嗅觉行为反应是揭示其化学生态学机制的重要基础。

甜罗勒 *Ocimum basilicum* 为唇形科罗勒属喜温的一年生草本芳香植物,原产亚热带地区,主产于法国、美国南部、匈牙利、印尼、西班牙等地(黄士诚等,1989),作为食品、化妆品等经济价值高(Moura *et al.*,2020)。目前已有研究证明罗勒可直接影响害虫种群增长,例如茶园中间作丁香罗勒 *Ocimum gratissimum* 可以降低主要害虫茶尺蠖 *Ectropis obliqua* 种群(张正群等,2016);蚕豆田 *Vicia faba* 间作丁香罗勒或者香薄荷 *Satureja hortensis* 可以降低黑豆蚜 *Aphis fabae* 种群数量(Basedow *et al.*,2006);圣罗勒 *Ocimum sanctum* 能降低绿豆象 *Callosobruchus chinensis* 的产卵量(Kiradoo & Srivastava,2010)。本研究团队前期调查芳香植物上节肢动物群落发现,甜罗勒上大草蛉种群数量显著高于其他植物,那为什么大草蛉更喜趋向甜罗勒植株?是否与甜罗勒植株的挥发性化学物质有关?

为明确芳香植物甜罗勒对大草蛉的吸引作用机制,本研究(1)使用 Y 型嗅觉仪测定了大草蛉成虫对不同时期甜罗勒植株的嗅觉行为反应;(2)采用顶空固相微萃取方法收集并用气相色谱质谱分析了甜罗勒植株营养期的叶、开花期的叶和花的挥发性物质成分;(3)测定了大草蛉成虫对不同浓度下主要挥发物质标准品的嗅觉行为反应。本研究结果为探究大草蛉对芳香植物识别机理和反应机制提供基础行为学证据,亦可为进一步开发甜罗勒作为天敌的吸引定殖功能植物提供支撑数据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:大草蛉来自北京市农林科学院植物保护研究所室内繁育种群。在盆栽蚕豆苗上扩繁豌豆修尾蚜种群,待扩繁到适宜的密度时将大草蛉放入养虫笼(50 cm×45 cm×45 cm,尼龙网120目)中进行试验种群扩繁。所有种群在恒定条件下(温度25℃±1℃,相对湿度70%±5%,光周期 L∶D=16 h∶8 h)饲养。

供试植物:甜罗勒种子购自于北京花儿朵朵

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

仙子农业有限公司。待种子萌发长至 3 ~ 4 片真叶时，移栽到塑料花盆中（高为 20 cm，直径为 13 cm），盆栽所用基质成分为蛭石、珍珠岩、泥炭土按 1∶1∶4 比例混合，每盆移栽一株幼苗，底部吸水至土壤微湿，培养环境条件同上。待植株长至 30 cm 时开始试验。

供试试剂：芳樟醇、罗勒烯、萜品油烯、丁香酚标准品购于 Sigma-Aldrich 公司，樟脑、β-榄香烯购于上海源叶生物有限公司，纯度均在 95% 以上。以上 6 种标准品分别以石蜡油稀释至 0.1 μg/L、0.01 μg/L，充分混匀后密封，放置于 4℃冰箱内储存备用。

供试仪器：顶空固相微萃取 - 气相色谱 - 质谱联用仪（HS-SPME-GC-MS）（Agilent 6890N-5975）。“Y”型嗅觉仪的主臂内径为 3 cm，长为 15 cm，两个侧臂长为 15 cm，夹角为 60°，用 Teflon 管分别连接芳香植物植株和对照（洁净空气或石蜡油）后再连接 LS-2800 型气泵（北京劳动仪器研究所）。气泵推动空气进入系统，气流经活性炭、蒸馏水净化加湿、气味源后通过玻璃转子流量计进入 Y 形管两侧。

1.2　大草蛉对不同时期甜罗勒植株的嗅觉行为反应

Y 型嗅觉仪放置在 100 cm × 100 cm × 60 cm 的试验箱中（25℃ ± 1℃，RH 60% ± 5%）。用照度计测试两臂光照强度，并调整位置，保证“Y”型嗅觉仪各部位受光一致。接通抽气泵电源开始抽气，调节流速计使两边的气流速度相同，控制气体流速在 400 mL/min 左右。试验前先行通气 10 min，使气味充满管道，以保证测试结果。试验前将 5 ~ 7 日龄的大草蛉成虫饥饿 12 h。试验时，将饥饿后的大草蛉成虫逐头引入嗅觉仪的主臂内，观察大草蛉在 5 min 内的行为反应，大草蛉爬行超过某气味源试管臂的 1/2 处记为选择，在 5 min 内仍未到达某气味源试管臂 1/2 处，记为无选择。每测试 5 头大草蛉结束后，用 95% 乙醇擦洗管的内、外壁，烘干后调换 Y 型管的气味源与对照源的方向，以消除误差。

用一次性无味透明塑料袋分别套住健康的甜罗勒植株，下部进气，上部出气，作为气味源，另一位置使用相同空气塑料袋为空白对照。每头试虫仅测试一次，每测试 5 头更换气味源。大草蛉雌、雄成虫对营养期和开花期的甜罗勒植株分别测试 50 头，共计 200 头。

1.3　不同发育阶段甜罗勒的挥发物质收集与鉴定

采用顶空固相微萃取方法对甜罗勒营养期的叶、开花期的叶和花的挥发物质进行收集测定分析。将不同时期健康的甜罗勒营养期的叶、开花期的叶和花放入玻璃瓶（45 mL，Cleman），利用固相微萃取针 SPME 纤维中（DVB/CAR/PDMS，50/30 μm）萃取挥发物质 30 min。

采用气相色谱 - 质谱联用仪（GC-MS）进行挥发物质成分检测。质谱柱为 HP-5 和 DBWAX（30 m × 250 μm × 0.25 μm），氦气用作载气流速为 1.7 mL/min，GC 进样口设置为不分流模式。柱初始温度 60℃，保持 2 min，以 10℃/min 程序升温至 250℃，保持 10 min，再以 20℃/min 升温至 320℃，保持 3 min；氦气流速为 3.0 mL/min；离子源 EI 为 70eV、350V；扫描质量为 30 ~ 600 amu；进样口温度 250℃，接口温度 280℃。每个试验重复 3 次。

1.4　大草蛉对不同浓度下标准品的嗅觉行为反应

测试大草蛉对不同浓度下主要挥发物质标准品嗅觉行为的方法同 1.2.1。将 10μL 的标准品滴在一张 3 cm × 0.5 cm 的滤纸条上放进气味瓶内作为处理气味源，以石蜡油作为对照气味源。分别测试大草蛉雌成虫对 0.01 μg/ L 和 0.1 μg/L 浓度的 6 种标准品试验，每个重复 90 头，共计 1 080 头大草蛉雌成虫成功选择测试。

1.5　数据分析

试验所得数据 Excel 2019 进行整理，然后使用 SPSS Statistics 22.0 软件进行统计分析。采用 χ^2 检验分析大草蛉雌/雄成虫对处理组与对照组选择差异显著性。选择率（%）= 选择处理组虫数/总头数 × 100。若值为正，为诱集率，若值为负，则为驱避率；采用 NIST05 标准谱库对挥发物质进行定性，用挥发物质的峰面积进行相对含量定量比较及分析。

2　结果与分析

2.1　大草蛉对不同时期甜罗勒植株嗅觉行为选择

甜罗勒营养期和开花期的植株对大草蛉雌、雄成虫对吸引作用不同（图 1）。开花期的甜罗勒植株对大草蛉雌成虫具有极显著吸引作用，对雄虫也有一定的吸引作用，但与对照相比无显著差异（雌$_{开花期}$：$\chi^2 = 9.680$，$P < 0.05$；雄$_{开花期}$：$\chi^2 = 0.720$，$P = 0.396$）。营养期的甜罗勒植株对大草

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

蛉雌、雄成虫均无吸引作用，且显著性差异相差较小（雌$_{营养期}$：$\chi^2 = 0.720$，$P = 0.396$；雄$_{营养期}$：$\chi^2 = 0.320$，$P = 0.572$）。

2.2 甜罗勒不同发育阶段叶片和花挥发物质成分

不同时期甜罗勒叶片和花挥发物质成分大致相同，相对含量在 0.5% 以上的共鉴定出 28 种挥发化合物（表 1），甜罗勒营养期的叶有 19 种、开花期的叶和花分别有 21、22 种化合物。其中共有的化合物组分包含 13 种，主要为芳樟醇、丁香酚、α-香柑油烯、桉油素、β-榄香烯等。这些挥发物化学成分属性为醇类、萜烯类、酯类等化合物。两个不同时期甜罗勒叶片挥发物化学组分中，含量依次为芳樟醇（22.64% ~30.64%）、α-香柑油烯（9.05% ~ 15.1%）、丁香酚（3.41% ~ 13.23%）、β-榄香烯，仅这四种物质相对含量就占总含量 37.92% ~63.28%。叶片中芳樟醇、丁香酚从营养期到开花期的相对含量逐渐下降；萜品油烯、β-月桂烯、罗勒烯相对含量逐渐上升。其中，有些挥发性组分仅在某一阶段出现，如樟脑、γ-衣兰油烯只在花中被检测到；β-水芹烯、乙酸龙脑酯仅在花期叶片中被检测到；桧烯只在营养期叶片中出现。

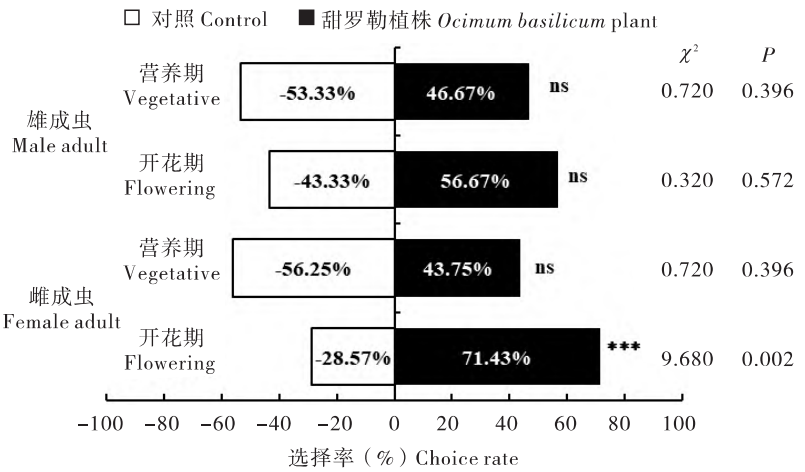

图 1 大草蛉对不同时期甜罗勒植株的嗅觉反应

Fig. 1 Olfactory response of *Chrysopa pallens* to *Ocimum basilicum* plants at different stages

表 1 不同时期甜罗勒叶和花的化学成分

Table 1 Chemical constituents from leaves and flowers of *Ocimum basilicum* in different periods

	化合物名称 Compounds	保留时间（min）Retention time			相对含量（%）Relative content		
		营养期 Vegetative	开花期 Flowering		营养期 Vegetative	开花期 Flowering	
		叶 Leaves	叶 Leaves	花 Leaves	叶 Leaves	叶 Leaves	花 Leaves
单萜 Monoterpene	芳樟醇 Linalool	11.228	11.093	11.325	**30.53**	**22.64**	**30.64**
	α-香柑油烯 α-Bergamotene	17.052	17.033	17.078	**9.05**	**15.10**	**10.21**
	反式罗勒烯 trans-Ocimene	–	9.538	8.492	–	**10.23**	**5.34**
	桉油素 Cineole	9.196	8.815	9.323	**6.60**	**8.41**	4.09
	樟脑 Camphor	–	–	12.249	–	–	3.94
	顺式罗勒烯 cis-Ocimene	9.816	–	9.899	4.30	–	3.20
	柠檬烯 Limonene	9.405	8.736	9.390	2.58	3.25	1.60
	β-月桂烯 β-Myrcene	7.773	7.089	8.197	2.33	4.55	0.73
	4-蒈烯 4-Carene	11.012	–	10.929	1.64	–	**9.24**
	桧烯 Sabinene	6.775	–	–	1.27	–	–

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 1 Continued table 1

化合物名称 Compounds		保留时间（min）Retention time			相对含量（%）Relative content		
		营养期 Vegetative	开花期 Flowering		营养期 Vegetative	开花期 Flowering	
		叶 Leaves	叶 Leaves	花 Leaves	叶 Leaves	叶 Leaves	花 Leaves
	别罗勒烯 Alloocimene	12.030	11.750	11.986	1.08	1.32	1.68
	荜澄茄油烯 Cubebene	15.780	15.756	15.795	0.99	1.44	1.51
	萜品油烯 Terpinolene	–	10.677	11.007	–	1.71	2.18
	β-水芹烯 β-Phellandrene	–	5.989	–	–	1.12	–
	β-蒎烯 β-Pinene	–	6.090	8.186	–	0.81	0.50
总含量 Total content					**60.37**	**70.58**	**74.86**
倍单萜 Sesquiterpene	γ-杜松烯 γ-Cadinene	18.187	18.179	–	4.90	2.91	–
	β-榄香烯 β-Elemen	16.427	16.404	16.444	3.08	2.82	4.31
	愈创烯 Guaiene	18.08	18.058	18.104	2.41	2.90	**6.97**
	去氢白菖烯 Calamenene	18.328	–	18.356	2.17	–	2.27
	β-荜澄茄油烯 β-Cubebene	17.471	17.708	17.749	1.47	3.18	2.96
	α-可巴烯 α-Copaene	16.190	16.169	16.206	1.29	1.14	2.05
	δ-杜松烯 δ-Cadinene	–	18.308	18.299	–	1.39	1.20
	τ-杜松醇 τ-Cadinol	20.084	20.086	–	0.61	0.47	
	γ-衣兰油烯 γ-Muurolene	–	–	17.647	–	–	0.88
总含量 Total content					**15.93**	**14.81**	**20.64**
单环萜醇 Monocyclic terpenoids	α-松油醇 α-Terpineol	13.151	13.702	–	0.71	0.64	–
双环倍半萜 Bicyclic sesquiterpenes	α-石竹烯 α-Caryophyllene	–	17.319	17.357	–	1.20	1.09
酯类 Ester	乙酸龙脑酯 Bornylacetate	–	14.745	–	–	0.59	–
酚类 Phenols	丁香酚 Eugenol	15.932	15.911	15.947	**9.25**	**13.23**	3.41

注：加粗表示该物质含量在 5% 以上。Note: Mean in roughening indicated that the substance was above 5%.

甜罗勒在营养期和花期释放的挥发性有机成分及相对含量动态变化发现，花期的甜罗勒含量较高的挥发物为烯萜类，其中单萜和倍半萜相对含量之和达 95.5%。其中芳樟醇含量最高，相对百分比含量为 30.64%。随着甜罗勒植株的生长发育，单萜类物质的在营养期到开花期的叶片中相对含量逐渐升高，在花中达到峰值 74.86%。倍半萜类物质含量的相对含量仅升高了 4.71%，其中愈创烯从营养期到开花期相对含量就升高了 4.56%。丁香酚在叶中从营养期到开花期的相对含量升高 4% 左右，但在花中含量仅是叶中的 25.8%。

2.3　大草蛉对不同浓度标准品的嗅觉行为反应

在甜罗勒主要挥发物质中选取 6 种芳樟醇、罗勒烯、萜品油烯、丁香酚、樟脑、β-榄香烯标准品，测定了不同浓度时对大草蛉雌虫的嗅觉行为选择。结果表明，0.1 μg/L 浓度的芳樟醇对大草蛉具有显著的吸引作用（$P<0.05$）；0.01 μg/L 浓度的 β-榄香烯对大草蛉具有极显著地吸引作用（$P<0.01$）。大草蛉对 0.1 μg/L、0.01 μg/L 浓度的萜品油烯和 0.01 μg/L 浓度的樟脑、丁香酚、芳樟醇、罗勒烯等挥发物不显著的趋向选择（图 2）。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

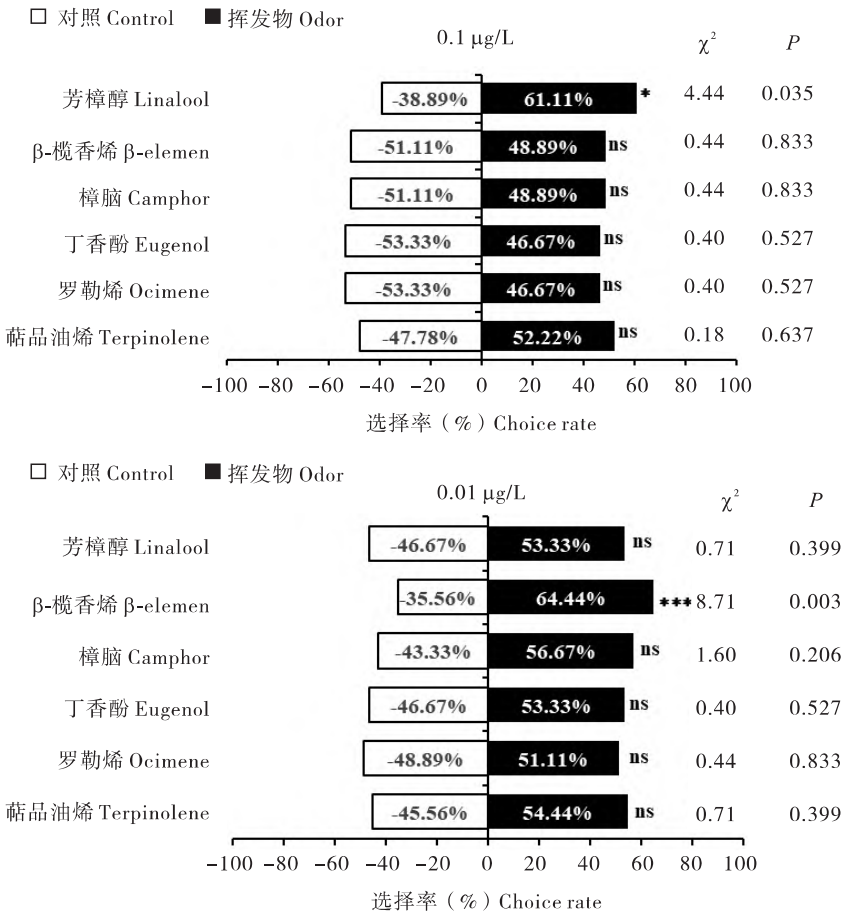

图 2 大草蛉对不同浓度主要挥发物质标准品的嗅觉行为选择

Fig. 2 Selection of olfactory behavior of *Chrysopa pallens* to different concentrations of volatile odors

3 结论与讨论

植物在不同生长发育时期会产生多种挥发物质，其组成和丰度的差异与植物生长发育代谢有关（付国需等，2008；Desurmont*et al.*，2015），本研究发现了芳香植物甜罗勒不同发育阶段叶和花的挥发性物质相对含量动态变化情况。植物挥发气味物质可能不会影响植株本身的生长发育，但却是植物与昆虫之间联系的信号物质（苏建伟等，2020）。本研究关注了不同时期甜罗勒植株不同组织的挥发物质对天敌昆虫大草蛉的嗅觉行为影响。开花期的甜罗勒植株可显著引诱大草蛉雌虫，而对雄虫也有引诱作用但不显著。这可能与大草蛉雌雄触角上气味结合蛋白，ORs 基因特异性表达不同有关（王娟，2016）。天敌昆虫利用植物挥发物进行搜寻、产卵、逃避、取食、聚集等行为，依靠灵敏的嗅觉识别机制可简化复杂的气味环境并做出反应（盛子耀等，2019；王冰等，2021）。由此推测，大草蛉对甜罗勒偏好性可能与不同时期挥发物质不同有关，这可能有助于大草蛉取食、遮蔽或产卵等行为。

芳香植物挥发物的类型主要包括烃类、醇、醛、酮、酯、有机酸和萜烯类，其中萜烯类化合物中种类相比其他化合物种类丰富（Song*et al.*，2017；Hatt *et al.*，2019）。萜烯类化合物在植物－植食性昆虫－天敌昆虫三级营养级关系中起着重要作用，一方面在天敌搜寻害虫过程中常起信号定位作用（James，2003；李小龙等，2014；陈晓亚等，2015）。另一方面在天敌栖境选择、产卵等发挥作用（Zhu *et al.*，2005）。本研究发现甜罗勒叶在营养期和开花期中含有大量单萜化合物（60.37% ~ 76.55%）。这与 Kpoviessi *et al.*（2014）报道的丁香罗勒在营养期和开花期的单萜类挥发物组分相似（56.72%、55.87%）。其中单萜化合物被报道是天敌搜寻害虫过程中重要的定位信号物质（Fontana *et al.*，2011）。本研究发现甜罗勒所有时期叶片和花相对含量最多的单萜化

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

合物－芳樟醇，尤其是在花中高达 30.64%。许多研究报道了芳樟醇对多种天敌及传粉昆虫具有吸引作用，例如烟草 *Nicotiana tabacum* 被取食后释放的芳樟醇吸引天敌攻击虫卵从而降低害虫为害（Kessler *et al.*，2001）；国槐 *Styphnolobium japonicum* 释放的芳樟醇对瓢虫有显著的引诱作用（薛皎亮等，2008）；茶树 *Camellia sinensis* 中释放的芳樟醇对中华蜜蜂 *Apis cerana* 有显著引诱作用（吴国火等，2020）。本研究中发现芳樟醇对大草蛉的引诱效果有浓度差异性，在 0.1 μg/L 浓度比 0.01 μg/L 浓度时对大草蛉有显著的引诱作用。

本研究结果表明 0.1 μg/L 浓度时萜品油烯、樟脑、β-榄香烯、丁香酚和罗勒烯这 5 种挥发物对大草蛉具有一定趋避趋势，但在 0.01 μg/L 浓度却表现出吸引趋势。昆虫对同一种化合物的反应浓度不同，主要是受自身相关蛋白表达量和敏感性影响（狄贵秋等，2019）。这也表明捕食性天敌对化合物的选择是一个复杂的过程。浓度差异可区分不同植物或者植物生理状态，而昆虫定位的与化合物浓度有关，在一定化合物浓度范围中昆虫才会产生反应，同一种植物挥发物可能具有多种功能，会因浓度不同从而对害虫及其天敌产生吸引或驱避作用（Altuzar *et al.*，2010；蒋娜娜等，2018）。

此外，芳香植物具有强烈的挥发物质直接影响天敌种群，而且花粉或花蜜也可以为天敌昆虫提供营养、延长其寿命和提高繁殖力（Wäckers & Rijn.，2012；Parolin*et al.*，2012）、种群增长（Venzon *et al.*，2016；Hatt *et al.*，2019）、提供避难所（Venzon *et al.*，2016）和产卵场所（Laubertie *et al.*，2012；André *et al.*，2017）等功能，间接降低害虫的数量，达到控害的效果。比如当缺乏猎物时，开花期甜罗勒植株可显著吸引草蛉 *Ceraeochrysa cubana* 雌成虫，其花粉或花蜜作为补充食物用于草蛉成虫和幼虫的生长繁殖（Batista *et al.*，2017）。甜罗勒作为储蓄植物时，对捕食性天敌温室中矮小长脊盲蝽 *Macrolophus pygmaeus* 的种群增长虽没有显著影响，但是却能直接趋避番茄 *Lycopersicon esculentum* 上温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 种群数量，以达到较好的控害效果（Parolin *et al.*，2015），这充分证明了芳香植物在生物防治中的应用中的潜力。本研究发现不同时期甜罗勒对大草蛉的诱集作用差异，也为田间应用甜罗勒使用时期提供了支撑数据。尽管本研究中仅测定了大草蛉对甜罗勒 6 种主要挥发物质的嗅觉行为，未来随着化学分析技术的提升，必将推进对大草蛉在化学生态学方面的研究。此外，近年来使用引诱剂来增加作物生态系统中天敌昆虫的补充和定殖是增强保护性生物防治的新尝试。例如水杨酸甲酯不仅可以能增加农业生态系统中草蛉种群数量，而且对瓢虫、食蚜蝇、寄生蜂的种群也有增益效果（Thming *et al.*，2021）。因此，未来继续深入探究具有诱集作用的化合物按不同比例混配成复合引诱剂，可以最大发挥对大草蛉的引诱作用。这些有助于提升功能植物增效天敌生物防治效率，优化可持续控害的生态调控策略。

参考文献（References）

Altuzar A，Malo EA，Gonzalez-Hernandez H，*et al.* Electrophysiological and behavioural responses of *Scyphophorus acupunctatus*（Col. Curculionidae）to *Agave tequilana* volatiles [J]. *Journal of Applied Entomology*，2010，131（2）：121－127.

Basedow T，Hua L，Aggarwal N. The infestation of *Vicia faba*（Fabaceae）by aphis fabae（scop.）（Homoptera：Aphididae）under the influence of lamiaceae（*Ocimum basilicum* L. and *Satureja hortensis*）[J]. *Journal of Pest Science*，2006，79（3）：149－154.

Batista MC，Fonseca MCM，Teodoro AV，*et al.* Basil（*Ocimum basilicum* L.）attracts and benefits the green lacewing *Ceraeochrysa cubana* Hagen [J]. *Biological Control*，2017，110：98－106.

Boo KS，Chung IB，Han KS，*et al.* Response of the lacewing *Chrysopa cognata* to pheromones of its aphid prey [J]. *Journal of Chemical Ecology*，1998，24（4）：631－643.

Chen XX. Progress，problems and prospects of research on biological control of pests in my country in the century [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*，2010，47（4）：615－625.［陈学新. 21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望 [J]. 昆虫知识，2010，47（4）：615－625］

Chen XY，Wang LJ，Mao YB，*et al.* Plant terpenoid biosynthesis and anti－insect response [J]. *Chinese Bulletin of Life Science*，2015，27（7）：813－818.［陈晓亚，王凌健，毛颖波，等. 植物萜类生物合成与抗虫反应 [J]. 生命科学，2015，27（7）：813－818］

Conti B，Pistelli L，Bertoli A，*et al.* Essential oil composition and larvicidal activity of six mediterranean aromatic plants against the mosquito *Aedes albopictus*（Diptera：Culicidae）[J]. *Parasitology Research*，2010，107（6）：1455－1461.

Dardouri T，Hélène G，Issa RB，*et al.* Repellence of *Myzus persicae*（Sulzer）：Evidence of two modes of action of volatiles from selected living aromatic plants：Repellent volatiles against *Myzus persicae* [J]. *Pest Management Science*，2018，75（6）：1571－1584.

Di GQ，Li J，Lu XY，*et al.* Olfactory behavioral responses of the *Cydia*

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

zebeana and *parasitic* wasps to larch volatiles [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39 (22): 8675 – 8683. [秋贵秋, 李杰, 卢旭弘, 等. 松瘿小卷蛾及其寄生蜂对落叶松挥发物的嗅觉行为反应 [J]. 生态学报, 2019, 39 (22): 8675 – 8683]

Duan XY, Wang YD, Zhang NZ, *et al.* Advances in evaluation methods for the ability of predatory natural enemies to control damage [J]. *Journal of Plant Protection*, 2021, 48 (2): 275 – 288. [段雪莹, 王祎丹, 张乃钊, 等. 捕食性天敌控害能力评价方法进展 [J]. 植物保护学报, 2021, 48 (2): 275 – 288]

Fontana A, Held M, Fantaye CA, *et al.* Attractiveness of constitutive and herbivore – induced sesquiterpene Blends of maize to the parasitic wasp *Cotesia marginiventris* (Cresson) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2011, 37 (6): 582 – 591.

Fu GR, Li WZ, Liu K, *et al.* Biogenesis of characteristic volatiles of different families of aromatic plants and their effects on insect behavior [J]. *Central China Insect Research*, 2008, 5: 21 – 34. [付国需, 李为争, 刘珂, 等. 不同科芳香植物特征挥发物的生源及其对昆虫行为的影响 [J]. 华中昆虫研究, 2008, 5: 21 – 34]

Ge F. Strategies and techniques for ecological control of pests [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (1): 10 – 19. [戈峰. 论害虫生态调控策略与技术 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (1): 10 – 19]

Hatt S, Xu QX, Francis F, *et al.* Aromatic plants of East Asia to enhance natural enemies towards biological control of insect pests: A review [J]. *Entomologia Generalis*, 2019, 38 (4): 275 – 315.

Huang SC, Lin JN, Chen PY. Preliminary report on introduction and trial of *Ocimum basil.* subtropical [J] *Journal of Subtropical Plant Communications*, 1989, 1: 56 – 58. [黄士诚, 林进能, 陈沛扬. 甜罗勒引种试种初报 [J]. 亚热带植物通讯, 1989, 1: 56 – 58]

James DG. Field evaluation of herbivore – induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: Methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (7): 1601 – 1609.

Jiang NN, Mao GF, Li T, *et al.* Olfactory – behavioral responses of *Cyrtorhinus lividipennis* to a single component of volatiles in rice [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27 (2): 262 – 267. [蒋娜娜, 茆国锋, 李婷, 等. 黑肩绿盲蝽对水稻挥发物单一组分的嗅觉行为反应 [J]. 生态环境学报, 2018, 27 (2): 262 – 267]

Kessler A, Baldwin IT. Defensive function of herbivore – induced plant volatile emissions in nature [J]. *Science*, 2001, 5511 (291): 2141 – 2144.

Kiradoo MM, Srivastava M. A comparative study on the efficacy of two lamiaceae plants on egg – laying performance by the pulse beetle *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae) [J]. *Journal of Biopesticides*, 2010, 3 (3): 590 – 595.

Kpoviessi BK, Kpoviessi S, Ladekan EY, *et al. In vitro* antitrypanosomal and antiplasmodial activities of crude extracts and essential oils of *Ocimum gratissimum* from Benin and influence of vegetative stage [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2014, 155 (3): 1417 – 1423.

Laubertie EA, Wratten SD, Hemptinne JL. The contribution of potential beneficial insectary plant species to adulthoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness [J]. *Biological Control*, 2012, 61 (1): 1 – 6.

Li H, Li J, Dong Y, *et al.* Time – series transcriptome provides insights into the gene regulation network involved in the volatile terpenoid metabolism during the flower development of lavender [J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19 (1): 313.

Li S, Wang J, Guo XJ, *et al.* Research progress and prospect of natural enemy insect *Chrysopa pallens* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (2): 241 – 252. [李姝, 王杰, 郭晓军, 等. 天敌昆虫大草蛉的研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 241 – 252]

Li XL, Duan SS, Hu ZH, *et al.* Analysis and comparison of aroma components of mint and spearmint [J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2014, 29 (1): 41 – 45. [李小龙, 段树生, 胡增辉, 等. 薄荷和留兰香香气成分的分析与比较 [J]. 北京农学院学报, 2014, 29 (1): 41 – 45]

Moura EDS, Faroni LRDA, Heleno FF, *et al.* Optimal extraction of *Ocimum basilicum* essential oil by association of ultrasound and hydrodistillation and its potential as a piopesticide against a major stored grains pest [J]. *Molecules*, 2020, 25 (12): 2781.

Parolin P, Bresch C, Desneux N, *et al.* Secondary plants used in biological control: A review [J] *Journal of Pest Management*, 2012, 58 (4): 368 – 376.

Parolin P, Bresch C, Poncet C, *et al.* Testing basil as banker plant in IPM greenhouse tomato crops [J]. *International Journal of Pest Management*, 2015, 61 (3): 235 – 242.

Resende ALS, Souza B, Ferreira RB, *et al.* Flowers of apiaceous species as sources of pollen for adults of *Chrysoperla externa* (Neuroptera) [J]. *Biological Control*, 2017, 106: 40 – 44.

Shen JH, Nie Q, Huang DR, *et al.* Recent advances in controlling plant diseases and insect pests by mixture planting and inter – planting of crops [J]. *Journal of Plant Protection*, 2007, 34 (2): 209 – 216. [沈君辉, 聂勤, 黄得润, 等. 作物混植和间作控制病虫害研究的新进展 [J]. 植物保护学报, 2007, 34 (2): 209 – 216]

Sheng ZY, Li WZ, Yuan GH. Research progress on the relationship between plant odor diversity and insects [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 652 – 661. [盛子耀, 李为争, 原国辉. 植物气味多样性与昆虫关系的研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 652 – 661]

Song B, Liang Y, Liu S, *et al.* Behavioral responses of *Aphis citricola* (Hemiptera: Aphididae) and its natural enemy *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to non – host plant volatiles [J]. *Florida Entomologist*, 2017, 100 (2): 411 – 421.

Song BZ, Wang MC, Kong Y, *et al.* The relationship between the main pests and their natural enemies in the intercropping area of aromatic plants in pear orchards [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43 (17): 3590 – 3601. [宋备舟, 王美超, 孔云, 等. 梨园芳香植物间作区主要害虫及其天敌的相互关系 [J]. 中国农业科学, 2010, 43 (17): 3590 – 3601]

Su JW, Cai ZP, Qiao F, *et al.* Comparison of trapping effects of plant –

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

derived volatiles on natural enemy insects in corn fields. [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (1): 196 – 205. [苏建伟, 蔡志平, 乔飞, 等. 植物源挥发物对玉米田天敌昆虫的诱集效果比较 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (1): 196 – 205]

Tabata J, Moraes CM, Mescher MC. Olfactory cues from plants infected by powdery mildew guide foraging by a mycophagous ladybird beetle [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (8): 23 – 799.

Thoming G, Knudsen GK. Semiochemicals and habitat manipulation to supportgreen lacewing activity to reduce aphid infestations in agroecosystems [J]. *Basic and Applied Ecology*, 2021, 51 (104): 30 – 42.

Togni PH, Venzon M, Muniz CA, *et al*. Mechanisms underlying the innate attraction of an aphidophagous coccinellid to coriander plants: Implications for conservation biological control [J]. *Biological Control*, 2016, 92: 77 – 84.

Wäckers FL, van Rijn PCJ. Pick andmix: Selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. In: Gurr GM, Wratten SD, Snyder WE, Read D, eds. Biodiversity and Insect Pests [C]. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012: 139 – 165.

Wang B, Li HM, Cao HQ, *et al*. Mechanism and application of tertiary trophic interactions between plants, herbivorous insects and natural enemies mediated by volatile compounds [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54 (8): 1653 – 1672. [王冰, 李慧敏, 操海群, 等. 挥发性化合物介导的植物 – 植食性昆虫 – 天敌三级营养级互作机制及应用 [J]. 中国农业科学, 2021, 54 (8): 1653 – 1672]

Wang J. Identification and Functional Study of Olfactory – Related Protein Genes in *Chrysopa pallens* [D]. Beijing: China Agricultural University PhD Thesis, 2016. [王娟. 大草蛉嗅觉相关蛋白基因的鉴定及功能研究 [D]. 北京: 中国农业科学院博士论文, 2016]

Wu GH, Cui L, Wang MX, *et al*. Attractive effect of tea tree flower aroma and tea scent on *Apis cerana* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40 (12): 4024 – 4031. [吴国火, 崔林, 王梦馨, 等. 茶树花香气及茶叶气味对中华蜜蜂的引诱效应 [J]. 生态学报, 2020, 40 (12): 4024 – 4031]

Wu HH, Zhang LS, Chen HY. Effects of temperature and release height on the diffusion behavior of adult *Chrysopa pallens* and *Chrysopa formosa* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (5): 587 – 592. [武鸿鹊, 张礼生, 陈红印. 温度与释放高度对大草蛉和丽草蛉成虫扩散行为的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (5): 587 – 592]

Xu H, Turlings TCJ. Plant volatiles as mate – finding cues for insects [J]. *Trends in Plant Science*, 2018, 23 (2): 100 – 111.

Xue JL, He J, Xie YP. Attractive effect of plant volatiles on the natural enemy *Harmonia axyridis* [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2008, 4: 494 – 498. [薛皎亮, 贺珺, 谢映平. 植物挥发物对天敌昆虫异色瓢虫的引诱效应 [J]. 应用与环境生物学报, 2008, 4: 494 – 498]

Yang JK. Habits and common species of lacewings [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1974, 3: 36 – 41. [杨集昆. 草蛉的生活习性和常见种类 [J]. 昆虫知识, 1974, 3: 36 – 41]

Yang XK. Discussion on the scientific name of *Chrysopa pallens* and related issues [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 1: 107 – 108. [杨星科. 关于大草蛉的学名及有关问题的讨论 [J]. 昆虫学报, 1998, 1: 107 – 108]

Zhang F, Li S, Xiao D, *et al*. Research progress on the application of natural enemies of vegetable pests in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48 (17): 3463 – 3476. [张帆, 李姝, 肖达, 等. 中国设施蔬菜害虫天敌昆虫应用研究进展 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (17): 3463 – 3476]

Zhang ZQ, Tian YY, Gao SW, *et al*. Research on the influence of tea garden intercropping aromatic plants basil and perilla on the tea garden ecosystem [J]. *Journal of Tea Science*, 2016, 36 (4): 389 – 395. [张正群, 田月月, 高树文, 等. 茶园间作芳香植物罗勒和紫苏对茶园生态系统影响的研究 [J]. 茶叶科学, 2016, 36 (4): 389 – 395]

Zhu J, Obrycki JJ, Ochieng SA, *et al*. Attraction of two lacewing species to volatiles produced by host plants and aphid prey [J]. *Naturwissenschaften*, 2005, 92 (6): 277 – 281.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net