

# 栗苞挥发物成分及其在桃蛀螟防治中的潜在应用\*

杜艳丽<sup>1</sup> 张佳鑫<sup>1</sup> 杨萌萌<sup>1</sup> 孙淑玲<sup>1</sup> 秦 岭<sup>1</sup> 王金宝<sup>2</sup> 张志勇<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>北京农学院植物科学技术学院, 农业应用新技术北京市重点实验室, 北京 102206; <sup>2</sup>北京市怀柔区板栗试验站, 北京 101405)

**摘 要** 为了探讨板栗(*Castanea mollissima*)栗苞挥发物化学成分及其含量, 找出对栗园桃蛀螟(*Conogethes punctiferalis*)具有引诱作用的行为活性物质, 采用顶空捕集法和气相色谱-质谱联用分析技术, 对北京地区桃蛀螟寄主植物板栗的4个主要栽培品种(怀黄、怀九、燕红和实生)幼果期(对应桃蛀螟成虫盛发期)和成熟期的栗苞挥发物进行了检测。结果表明: 4个板栗品种的栗苞在幼果期共捕集到10种化合物, 其中, 4个品种均释放的化合物共有5种, 分别为 $\alpha$ -蒎烯、莰烯、 $\beta$ -侧柏烯、 $\beta$ -蒎烯和(反)-2-丁烯酸-2-亚甲基环丙基-2-基酯; 柏木脑和3-萜烯为燕红板栗品种所特有, D-苧烯为怀九、燕红和实生板栗所特有, 罗勒烯和法尼醇为怀黄和怀九板栗所特有。另外, 成熟期所释放的挥发物种类和数量均较幼果期明显减少。研究结果说明: 1) 不同生长发育期的板栗栗苞释放的挥发物不同; 2) 不同板栗品种间既有共同释放的共性化合物, 也有品种特异性化合物。

**关键词** 桃蛀螟; 板栗; 栗苞; 植物挥发物; 萜类化合物

**中图分类号** S436.6; Q968.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)8-2096-05

**Volatiles from involucre of chestnut and their potential applications in control of *Conogethes punctiferalis*.** DU Yan-li<sup>1</sup>, ZHANG Jia-xin<sup>1</sup>, YANG Meng-meng<sup>1</sup>, SUN Shu-ling<sup>1</sup>, QIN Ling<sup>1</sup>, WANG Jin-bao<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-yong<sup>1\*\*</sup> (<sup>1</sup>Beijing Key Laboratory for Agricultural Application and New Technique, College of Plant Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; <sup>2</sup>Huairou Station of Chestnut Germplasm of Beijing, Beijing 101405, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(8): 2096–2100.

**Abstract:** In order to identify plant-originated attractants for forecasting and controlling of the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* in chestnut orchards, volatiles emitted from involucre of four chestnut cultivars (Huaihuang, Huaijiu, Yanhong and Shisheng) widely planted in Beijing area, were collected and analyzed using headspace trapping and GC-MS techniques, during the young fruit period and mature fruit period respectively. The results showed that 10 volatile compounds were emitted from the four chestnut cultivars during the young fruit period, and 5 out of the 10 volatiles were shared in the four cultivars, including  $\alpha$ -pinene, camphene,  $\beta$ -thujene,  $\beta$ -pinene, and (E)-2-butenic acid, 2-(methylenecyclopropyl) prop-2-yl ester. Cedrol and 3-carene were only detected in Yanhong cultivar, and D-limonene was only emitted by Huaijiu, Yanhong, and Shisheng cultivars.  $\beta$ -ocimene and farnesol were specifically released by Huaihuang and Huaijiu cultivars. In addition, the kinds and quantity of volatiles during the mature fruit period were both significantly lower than during the young fruit period. The results indicated that the volatiles from involucre of chestnut differed in different growth periods, and that some volatiles were shared by different chestnut cultivars while the others were cultivar-specific.

**Key words:** *Conogethes punctiferalis*; chestnut; involucre; plant volatiles; terpenoids.

\* 北京市教育委员会科技计划项目(KZ201210020019)、国家自然科学基金项目(NSFC31040074)、北京市教委学术创新团队建设基金项目(PHR201107135)和北京市科技计划项目(D131100000513001)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: zzy@buaa.edu.cn

收稿日期: 2014-03-12 接受日期: 2014-04-22

板栗(*Castanea mollissima*),又名栗、中国板栗,隶属于壳斗科栗属,原产于中国,是经济效益和生态效益俱佳的干果类树种。板栗树体高大、根深叶茂、适地性强、防风固沙性能好,在山区水土保持及优化生态环境方面发挥了重要作用。板栗具有很高的食用价值,栗实甘甜芳香,营养成分丰富,被称为“木本粮食”。近年来,随着农业产业结构的调整,深加工技术的不断进步和出口量的增加,板栗栽培面积迅速扩大。然而,随着板栗种植面积的扩大,蛀果性害虫桃蛀螟(*Conogethes punctiferalis*)的发生危害也逐年加重。据报道,部分板栗种植区因桃蛀螟造成的虫果率达20%~40%,严重时高达60%,极大影响了板栗的商品价值及农民的经济收入(曹庆昌等,2010)。作为农作物和园艺植物的重要害虫之一,桃蛀螟在我国每年发生2~5代不等。其中,河北地区每年发生2~3代,第二代成虫于8月中下旬转至栗园产卵于栗苞针刺间,幼虫孵化后即行钻蛀危害板栗栗苞和果实(俎文芳和秦立者,2009)。因此,推测该时期的板栗所释放的挥发性气味化合物对于桃蛀螟成虫搜寻寄主植物和产卵具有重要的引导作用,是其寻找寄主植物的重要信息。

近年来,一些学者探讨了桃蛀螟对板栗挥发性物质的触角电位反应,认为不同板栗品种对桃蛀螟的抗性差异与其栗苞所释放的挥发物组分有关(陈炳旭等,2010;董易之等,2012)。然而,虽然目前对板栗花、种皮、种仁和栗苞化学成分的研究已有一些报道(高雅琴,1985;刘敏等,2008;焦启阳等,2009;卢川等,2010;金秀梅等,2010),但多出于对板栗药用价值的研究,且研究方法多采用蒸馏-萃取法,研究结果不能真实反映植物材料的自然状态,而顶空-吸附采集法与自动热脱附和气相色谱/质谱联用(ATD-GC/MS)作为较为新兴的分析技术,能很好模拟植物自然状态,更好地反映植物挥发物的实际释放情况(Dudareva & Pichersky, 2000)。鉴于不同板栗品种栗苞挥发物的差异性及其对桃蛀螟的抗性差异(陈炳旭等,2010;董易之等,2012)、作物在不同生长发育期所释放的挥发物种类和数量的不同(Vallat & Dorn, 2005; Piñero & Dorn, 2009),以及到目前为止,还没有报道用于有效监测栗园桃蛀螟的行为活性物质,本试验采用顶空捕集法(headspace trapping)和气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术,对北京地区桃蛀螟主要寄主植物板栗的4个主要栽培品种(怀黄、怀九、燕红和实生)幼果期和成熟期的栗

苞挥发物进行了鉴定和比较研究,为下一步开展室内行为试验、探讨寄主植物挥发物和性信息素间的协同增效作用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试植物材料

供试板栗分别于2011年8月中下旬(幼果期)和9月上中旬(果实成熟期)采自位于北京市怀柔区渤海镇得水湾村的北京市板栗种质资源站,本试验所用品种为怀黄(Huaihuang cultivar)、怀九(Huaijiu cultivar)、燕红(Yanhong cultivar)和实生(Shisheng cultivar),品种鉴定由北京市板栗种质资源站王金宝高级工程师和北京农学院秦岭教授负责完成。8月中下旬采集栗苞时,4个品种的栗蓬均为青绿色,总苞内的栗果已形成种皮,并开始膨大。栗苞直径约4 cm,重量约45 g。9月中旬采集栗苞时,4个品种的栗蓬均为黄绿色,栗苞直径约6 cm,重量约70 g。

### 1.2 栗苞挥发物的捕集

栗苞挥发物的捕集采用顶空气体采样法,具体步骤参照Turlings等(1998)以及Yan和Wang(2006)描述的方法,略有改进:采集新鲜板栗栗苞带回板栗种质资源站实验室,用软毛刷将栗苞上的脏物清除干净后,装入预先准备好的圆柱形气味源玻璃瓶(直径10 cm,高25 cm)中。挥发物的提取采用吹-扫捕集法,具体过程为:空气由大气采样仪(QC-1S,北京市劳动保护科学研究所)流出后进入蒸馏水瓶以增加空气湿度,再经过活性炭过滤器进一步净化,然后从底部进入装有栗苞的气味源玻璃瓶内,携带有植物挥发物的气流从气味源玻璃瓶顶部流出,经过装有50 mg吸附剂(PorapakQ, 80-100目, Waters Corporation, Milford, Massachusetts, 吸附剂在使用前在150℃下活化2 h后,依次用甲醇、无水乙醚和色谱纯正己烷各3 mL进行淋洗)的捕集管后,再经过一个气体流量计监测气体流量,经抽气泵的作用被吸出外面。气体流量约450 mL·min<sup>-1</sup>,不同部件间通过Teflon管进行连接,挥发物提取期间气味源玻璃瓶内温度保持在(25±2)℃。被吸附剂吸附的挥发物用350 μL色谱纯正己烷洗脱后-20℃保存。每次挥发物提取持续进行4 h,每处理重复3次,每次样品采集的同时,均以1个空的气味源玻璃瓶采集4 h作为空白对照。

### 1.3 栗苞挥发物的分析与鉴定

吸取栗苞挥发物洗脱液200 μL,加入420 ng乙

酸正壬酯作为内标化合物。采用气相色谱 (HP6890N, Agilent 公司, 美国)-质谱 (HP5975B, Agilent 公司, 美国) 联用技术进行化合物的定性和定量分析。分析条件如下: 毛细管柱为 HP-5MS (30 m ×0.25 μm×0.25 mm, Agilent 公司, 美国); 以氦气作载气, 流速 26 cm · s<sup>-1</sup>; 进样量 1 μL, 无分流; 进样温度 210 ℃, 采用程序升温, 初始温度为 55 ℃, 保持 1 min, 以 5 ℃ · min<sup>-1</sup> 的升温速率从 55 ℃ 升至 200 ℃, 保持 5 min; 气谱/质谱接口温度 280 ℃, 质谱离子源温度 230 ℃, 四极杆温度 150 ℃, 电离能 70 eV, 质量扫描范围 30 ~ 300 m · z<sup>-1</sup>。

通过核对 NIST 图库中的质谱图, 对提取的挥发物组分进行定性, 部分化合物还通过与购买的标准化合物的保留时间与质谱图相比较进一步确认。各个组分的定量通过峰面积与内标化合物的峰面积的比较计算。

1.4 数据处理

分别就同一时期(幼果期或成熟期)不同板栗品种间同种化合物的平均释放量进行方差分析和 Duncan 新复极差法差异显著性检验(α=0.05), 并对同一

品种在不同时期所释放的同种化合物的量进行独立样本 *T*-检验, 以分析其差异显著性(α=0.05)。所有数据统计分析均用软件 SPSS 16.0 进行。

2 结果与分析

对 4 个板栗品种幼果期和成熟期的栗苞挥发物进行 GC-MS 分析, 经 NIST 谱库检索和内标法定量, 发现 4 个板栗品种的栗苞挥发物主要为萜烯类、萜醇类和萜酯类化合物(表 1)。其中, 在板栗幼果期, 怀黄品种共捕集到 7 种挥发物, 怀九和燕红均为 8 种, 实生最少, 仅捕集到 6 种。另外, 幼果期释放的挥发物中, 4 个板栗品种共有的化合物有 5 种, 包括(反)-2 丁烯酸-2-亚甲基环丙基-2-基酯、茨烯、α-蒎烯、β-蒎烯和 β-侧柏烯, 且 4 个品种均以(反)-2 丁烯酸-2-亚甲基环丙基-2-基酯和茨烯的含量最高, β-侧柏烯最低; 除此之外, 怀九、燕红和实生板栗均含有 D-柠檬烯, 怀黄和怀九板栗还检测到了含量较高的罗勒烯和含量较少的法尼醇; 柏木脑和 3-萜烯则为燕红板栗所特有, 二者的相对含量均较低(表 1, 表2, 图1)。从同一化合物在板栗幼果期不同品种

表 1 4 个板栗品种 3 大类栗苞挥发物的相对含量 (%) 与成分种类数  
Table 1 Relative content and component number of three category compounds emitted from involucre of four chestnut cultivars

化合物种类	幼果期				成熟期			
	怀黄	怀九	燕红	实生	怀黄	怀九	燕红	实生
萜烯类	36.95 (5)	39.61 (6)	70.42 (6)	78.61 (5)	100 (4)	100 (3)	100 (4)	62.54 (4)
醇类	2.06 (1)	1.81 (1)	2.74 (1)	-	-	-	-	-
酯类	60.99 (1)	58.58 (1)	26.84 (1)	21.39 (1)	-	-	-	37.46 (1)

括号内的数据为化合物的种类数。

表 2 GC-MS 分析鉴定 4 个板栗品种栗苞挥发物的成分及其含量  
Table 2 Volatiles identified in involucre of the four chestnut cultivars using GC-MS

编号	化合物种类	化合物名称	保留时间 (min)	分子式	幼果期绝对含量 (μg · mL <sup>-1</sup> )				成熟期绝对含量 (μg · mL <sup>-1</sup> )			
					怀黄	怀九	燕红	实生	怀黄	怀九	燕红	实生
1	萜烯类	α 蒎烯 α-pinene	5.886	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.16±0.03 dB	13.17±0.02 bA	11.77±0.04 cA	13.33±0.04 aA	4.87±0.01 cA	7.41±0.02 bB	7.91±0.04 aB	1.84±0.01 dB
2		茨烯 Camphene	6.310	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.29±0.02 dB	18.41±0.06 bA	20.69±0.07 aA	18.10±0.01 cA	6.34±0.03 cA	10.64±0.03 bB	11.08±0.03 aB	2.64±0.03 dB
3		β 侧柏烯 β-thujene	6.877	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.07±0.03 cA	3.19±0.01 a	1.86±0.03 bA	1.87±0.01 b	0.65±0.01 bB	-	0.89±0.01 aB	-
4		β 蒎烯 β-pinene	7.016	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.06±0.02 cB	10.39±0.04 aA	9.13±0.02 bA	9.09±0.02 bA	3.07±0.01 cA	6.08±0.02 aB	4.88±0.02 bB	1.06±0.01 dB
5		D-柠檬烯 D-limonene	8.448	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	1.26±0.04 c	1.54±0.02 b	1.96±0.01 a	-	-	-	-
6		罗勒烯 β-cocimene	8.890	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	18.35±0.04 b	19.03±0.04 a	-	-	-	-	-	1.74±0.01
7		3-萜烯 3-carene	9.076	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	-	1.22±0.03	-	-	-	-	-
		合计			27.93	46.42	46.21	44.35	14.93	24.13	24.76	7.28
8	萜醇类	法尼醇 Farnesol	10.180	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1.56±0.03 b	2.12±0.02 a	-	-	-	-	-	-
9		柏木脑 Cedrol	24.509	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	-	-	1.80±0.02	-	-	-	-	-
		合计			1.56	2.12	1.80	0	0	0	0	0
		(反)-2 丁烯酸-2-亚 甲基环丙基-2-基酯										
10	萜酯类	(E)-2-butenoic acid,	10.738	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	46.11±0.34 b	68.65±0.36 a	17.61±0.04 c	12.07±0.03 dA	-	-	-	4.3±0.01B
		2-(methylene-cyclo- propyl) prop-2-yl ester										
		合计			46.11	68.65	17.61	12.07	0	0	0	4.36
		萜类化合物	总计		75.60	117.19	65.62	56.42	14.93	24.13	24.76	11.64

-未检出。同行数据后不同小写字母表示同一化合物在同一时期(幼果期或成熟期)不同板栗品种间的释放量差异显著(Duncan 新复极差法检验, n=4; P<0.05); 不同大写字母表示同一板栗品种在不同时期所释放的同种化合物的量差异显著(独立样本 *T*-检验, n=2; P<0.05)。



间的释放量来看,除 $\beta$ -侧柏烯和 $\beta$ -蒎烯在燕红和实生2个品种间无显著差异外,其他各化合物的释放量在不同品种间均存在显著差异(表2)。

相比较而言,果实成熟期的挥发物在种类和数量上均明显少于幼果期。如:除实生板栗在成熟期还检测到(反)-2-丁烯酸-2-亚甲基环丙基-2-基酯外,其他3个品种的栗苞挥发物仅检测到3~4种萜烯类化合物,如:怀黄和燕红品种只捕集到 $\alpha$ -蒎烯、莰烯、 $\beta$ -侧柏烯和 $\beta$ -蒎烯共4种化合物,而怀九品种仅含有 $\alpha$ -蒎烯、莰烯和 $\beta$ -蒎烯3种化合物(表2)。另外,4个品种成熟期所捕集到的挥发物中,莰烯含量最高、 $\alpha$ -蒎烯和 $\beta$ -蒎烯次之, $\beta$ -侧柏烯含量最少或无,这与幼果期4个品种挥发物中各种化合物的相对含量相同。

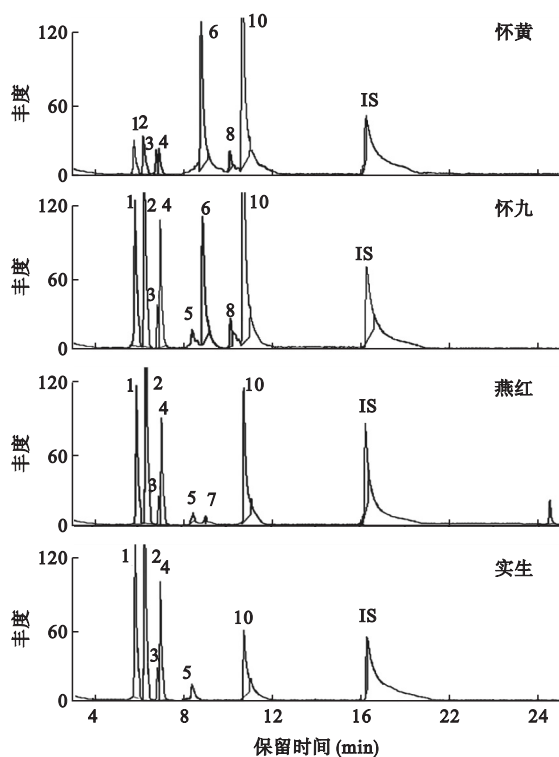


图1 不同板栗品种幼果期栗苞挥发物总离子流  
Fig.1 Total ion chromatograms of volatile compounds collected from chestnut involucre

1.  $\alpha$ -蒎烯;2. 莰烯;3.  $\beta$ -侧柏烯;4.  $\beta$ -蒎烯;5. D-柠檬烯;6. 罗勒烯;7. 3-蒎烯;8. 法尼醇;9. 柏木脑;10. (反)-2-丁烯酸-2-亚甲基环丙基-2-基酯。

### 3 讨论

板栗作为北京地区桃蛀螟的重要转寄主植物之一,每年8月中下旬,正值板栗幼果期,第二代成虫转至栗园产卵,以第三代幼虫钻蛀危害板栗栗苞和果实。因此,推测幼果期的栗苞挥发物在诱引桃蛀

螟成虫产卵方面发挥着重要作用。从北京地区主要栽培的4个板栗品种来看,幼果期共捕集到10种挥发物,主要为萜烯类、萜醇类和萜酯类化合物。其中,共有的萜烯类化合物包括 $\alpha$ -蒎烯、莰烯、 $\beta$ -侧柏烯和 $\beta$ -蒎烯4种;共有的萜酯类化合物为(反)-2-丁烯酸-2-亚甲基环丙基-2-基酯;柏木脑和3-蒎烯为燕红板栗品种所特有,D-蒎烯为怀九、燕红和实生板栗所特有,罗勒烯和法尼醇均为怀黄和怀九板栗所特有。而果实成熟期所捕集到的栗苞挥发物多为 $\alpha$ -蒎烯、莰烯、 $\beta$ -侧柏烯和 $\beta$ -蒎烯等萜烯类化合物,在种类和数量上均明显少于幼果期。一方面,这个结果与Vallathe和Dorn(2005)以及Piñero和Dorn(2009)的结果一致,认为果树等作物在果实生长发育的不同时期,其挥发物在种类和数量上均存在差异;另一方面,该结果表明, $\alpha$ -蒎烯、莰烯、 $\beta$ -侧柏烯和 $\beta$ -蒎烯有可能是栗园引诱桃蛀螟的主要化学物质。

董易之等(2012)采用蒸馏-萃取法对广东省“河源油栗”(抗虫品种)和“农大1号”(感虫品种)2个板栗品种的果实和叶片挥发物的化学成分进行了分析,均检测到100余种化合物,包括醇类、醛类、酸类、烷烃、烯烃、酮类和酯类等;焦启阳等(2009)、金秀梅等(2010)分别从板栗总苞中分离鉴定出9~10种化合物,这3项研究所鉴定的化合物种类互不相同。本研究从板栗栗苞中检测到萜醇类、萜烯类和萜酯类共计10种化合物,与上述研究所鉴定的化合物种类也存在很大差异,分析造成这种差异的主要原因在于:1)各自研究的板栗品种不同;2)采用的挥发物捕集方法不同。本研究对挥发物的捕集采用顶空气体采样法,捕集对象为刚从树上采摘下来的青绿色完整的新鲜栗苞;董易之(2012)等采用的是水蒸气蒸馏法,捕集对象为阴干后的“河源油栗”和“农大1号”共2个板栗品种的栗苞碎块;焦启阳等、金秀梅等均采用了硅胶柱色谱、凝胶柱色谱和重结晶等分离方法。

虽然顶空捕集法所能捕集到的挥发物种类较少,但由于其基本能反映自然条件下植物挥发物的实际释放情况,因此,国内外从事昆虫化学生态学领域的研究多采用该方法对寄主植物的挥发性化合物进行捕集(Turlings *et al.*, 1998; Yan & Wang, 2006; 张琳等, 2011)。本研究所分离鉴定的 $\alpha$ -蒎烯、莰烯、 $\beta$ -侧柏烯、 $\beta$ -蒎烯和D-蒎烯等气味化合物,也在许多其他植物自然生长或虫害诱导的过程中释放

(War *et al.*, 2011), 且部分化合物已被证明具有诱引天敌、诱蛾或驱避成虫产卵的生物活性(Tooker *et al.*, 2005; Zakir *et al.*, 2013)。因此, 推测本文探讨的4个板栗品种幼果期所释放的萜类化合物的单体或按照一定比例复配组合后的混合物中, 很有可能存在桃蛀螟识别寄主的信号物质, 但信号物质的种类及其作用方式还有待进一步研究。

## 参考文献

- 曹庆昌, 曹均, 张国珍, 等. 2010. 板栗桃蛀螟有机防治技术研究. 安徽农业科学, **38**(1): 221–223.
- 陈炳旭, 董易之, 梁广文, 等. 2010. 板栗挥发物对桃蛀螟成虫寄主选择行为的影响. 应用生态学报, **21**(2): 464–469.
- 董易之, 陈炳旭, 徐淑, 等. 2012. 抗、感虫板栗品种果、叶挥发物化学成分的GC-MS分析. 果树学报, **29**(6): 1052–1056.
- 高雅琴. 1985. 板栗花的挥发油成分. 沈阳药学院学报, **2**(3): 292–294.
- 焦启阳, 吴立军, 黄健, 等. 2009. 板栗总苞化学成分的分离与鉴定. 沈阳药科大学学报, **26**(1): 23–26.
- 金秀梅, 吴迪, 黄健, 等. 2010. 板栗总苞化学成分的分离与鉴定(II). 沈阳药科大学学报, **27**(8): 630–633.
- 刘敏, 张冬松, 黄顺旺, 等. 2008. 板栗种仁的化学成分. 沈阳药科大学学报, **25**(3): 191–193.
- 卢川, 吴迪, 高慧媛, 等. 2010. 板栗种皮化学成分的分离与鉴定. 沈阳药科大学学报, **27**(6): 440–442.
- 张琳, Wang BD, 许志春. 2011. 桑科中4种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究. 生态学报, **31**(24): 7479–7485.
- 俎文芳, 秦立者. 2009. 板栗桃蛀螟研究概述. 河北农业科学, **13**(1): 18–20.
- Dudareva N, Pichersky E. 2000. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents. *Plant Physiology*, **122**: 627–628.
- Piñero JC, Dorn S. 2009. Response of female oriental fruit moth to volatiles from apple and peach trees at three phenological stages. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **131**: 67–74.
- Tooker JF, Crumrin AL, Hanks LM. 2005. Plant volatiles are behavioral cues for adult females of the gall wasp *Antistrophus rufus*. *Chemoecology*, **15**: 85–88.
- Turlings TCJ, Bernasconi M, Bertossa R, *et al.* 1998. The induction of volatile emission in maize by three herbivore species with different feeding habits: Possible consequences for their natural enemies. *Biological Control*, **11**: 122–129.
- Vallat A, Dorn S. 2005. Changes in volatile emissions from apple trees and associated response of adult female codling moths over the fruit-growing season. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **53**: 4083–4090.
- War AR, Sharma HC, Paulraj MG, *et al.* 2011. Herbivore induced plant volatiles: Their role in plant defense for pest management. *Plant Signaling and Behavior*, **6**: 1973–1978.
- Yan ZG, Wang CZ. 2006. Wound-induced green leaf volatiles cause the release of acetylated derivatives and a terpenoid in maize. *Phytochemistry*, **67**: 34–42.
- Zakir A, Sadek MM, Bengtsson M, *et al.* 2013. Herbivore-induced plant volatiles provide associational resistance against an ovipositing herbivore. *Journal of Ecology*, **101**: 410–417.

---

**作者简介** 杜艳丽, 女, 1972年生, 博士, 副教授, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: yanlidu@126.com

**责任编辑** 张敏

---