

# 表皮碳氢化合物在云杉大墨天牛和云杉小墨天牛鉴定中的应用

王书平<sup>1\*</sup>, 苏翠翠<sup>2</sup>, 朱雅君<sup>1</sup>, 张凯<sup>3</sup>, 朱坚<sup>1</sup>, 叶军<sup>1</sup>

(1. 上海出入境检验检疫局动植物与食品检验检疫技术中心, 上海 200135; 2. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095; 3. 上海共青森林公园, 上海 200438)

**摘要** 云杉大墨天牛和云杉小墨天牛是进境木材及木质包装中常见的检疫性害虫, 由于墨天牛属近缘种之间的幼虫形态相似, 形态鉴定资料不完整, 对低龄幼虫的鉴定尤其困难。为了鉴定云杉大墨天牛和云杉小墨天牛, 本文利用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫的表皮碳氢化合物进行了分析, 经 NIST 数据库检索, 并与标准图谱比较, 应用色谱峰面积归一法测定各组分及其相对含量。结果表明, 云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫表皮中的主要碳氢化合物由  $C_{24}$ ~ $C_{44}$  的直链或支链、饱和及不饱和的长链烃类组成。云杉大墨天牛幼虫表皮有 9 种碳氢化合物, 而云杉小墨天牛幼虫表皮有 8 种碳氢化合物, 其中 6 种碳氢化合物为两种昆虫共有, 但在含量上有差异。云杉大墨天牛特有的成分为正二十四烷、正三十六烷、正四十四烷, 而云杉小墨天牛特有的成分为 2-甲基-二十六烷、9-二十六碳烯。这些特有表皮碳氢化合物可用于近缘种云杉大墨天牛和云杉小墨天牛的分类鉴定。

**关键词** 云杉大墨天牛; 云杉小墨天牛; 表皮碳氢化合物; 气相色谱-质谱联用仪

**中图分类号:** S 763 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.01.019

## Identification of *Monochamus urussovi* and *Monochamus sutor* by using cuticular hydrocarbons

Wang Shuping<sup>1</sup>, Su Cuicui<sup>2</sup>, Zhu Yajun<sup>1</sup>, Zhang Kai<sup>3</sup>, Zhu Jian<sup>1</sup>, Ye Jun<sup>1</sup>

(1. Technical Center for Animal Plant and Food Inspection and Quarantine, Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Shanghai 200135, China; 2. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Shanghai Gongqing Forest Park, Shanghai 200438, China)

**Abstract** *Monochamus* spp. are important quarantine pests, which can be found in imported wood and wood packages. The cuticular hydrocarbons from the cuticle of *Monochamus urussovi* and *M. sutor* were analyzed by gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS) without solvent. The composition of the cuticular hydrocarbons was then determined by the area normalizing method. By searching the NIST database and comparison with standard mass spectra, nine constituents were identified in the cuticular hydrocarbons of *M. urussovi*, and eight in those of *M. sutor*. The principal components of *M. urussovi* and *M. sutor* cuticular hydrocarbons were straight and branched-chain, saturated and unsaturated long-chain hydrocarbons ranging from  $C_{24}$  to  $C_{44}$ . Similar hydrocarbon patterns were found in *M. urussovi* and *M. sutor* and six constituents were found in both pests but with differences in quantity. *n*-tetracosane, *n*-hexatriacontane and *n*-tetratetracontane were detected only in *M. urussovi*, whereas 2-methylhexacosane and 9-hexacosene were found only in *M. sutor*.

**Key words** *Monochamus urussovi*; *Monochamus sutor*; cuticular hydrocarbon; GC-MS

云杉大墨天牛 *Monochamus urussovi* 和云杉小墨天牛 *M. sutor* 属于鞘翅目 Coleoptera, 天牛科 Cerambycidae, 墨天牛属 *Monochamus*。墨天牛属广泛

分布于北美洲、欧洲大部、非洲北部以及亚洲东部等<sup>[1]</sup>。墨天牛属的多数种类是为害松、杉、柳、桧柏、栎等林木的重要害虫, 其中有不少种类是林木病原微

收稿日期: 2016-01-27 修订日期: 2016-02-08

基金项目: 上海出入境检验检疫局课题(HK006-2014)

\* 通信作者 E-mail: wangsp@shciq.gov.cn

生物的媒介昆虫,给林业生产带来毁灭性灾害<sup>[1-2]</sup>。云杉大墨天牛和云杉小墨天牛是我国进境木材及木质包装中主要的天牛科害虫,墨天牛属非中国种被列入《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》。截获的云杉大墨天牛和云杉小墨天牛大部分为幼虫状态。但由于云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫形态相似,特征区分不明显,加之形态鉴定资料不全,给这两种天牛低龄幼虫的鉴定带来了很大困难。

昆虫表皮碳氢化合物是昆虫表皮蜡质层的主要成分,是碳原子数为 20~50 的直链或支链、饱和及不饱和的长链烃类,蜡层和护蜡层经过多元酚鞣化作用后,性质相当稳定<sup>[3-4]</sup>。Hoppe 等比较了 3 个虻属 *Tabanus* 害虫在形态和地理分布上相似的种表皮碳氢化合物,发现种间差异显著<sup>[5]</sup>。Harverty 等对原白蚁属 *Zootermopsis* 群体(包括各个等级)的表皮碳氢化合物进行分析测定,得到了 63 个组分。根据各组分的有无、含量及统计分析结果,将原白蚁属群体分为 4 个独特的碳氢化合物表现型,并对该属现存 3 个种的划分提出质疑,根据表皮碳氢化合物的种特异性,鉴定出原白蚁属的一个新种<sup>[6]</sup>。Golebiowski 等人分别对丝光绿蝇 *Lucilia sericata* 幼虫、蛹、雌成虫和雄成虫的表皮碳氢化合物进行了研究,发现在这 4 种虫态中,均以大量的 C<sub>27</sub> 和 C<sub>29</sub> 的正烷烃成分为主,其中幼虫和蛹期以 C<sub>29</sub> 为主,含量分别为 42.1% 和 59.5%,成虫期以 C<sub>27</sub> 为主,含量分别为雌成虫 47.5%,雄成虫 47.9%<sup>[7]</sup>。崔可伦等利用表皮碳氢化合物对淡色库蚊 *Culex pipiens pallens* 和致倦库蚊 *C. pipiens quinquefasciatus* 进行了鉴别,分析了海南省不同地区不同季节大劣按蚊 *Anopheles dirus* 的表皮碳氢化合物,表明其为同一个种<sup>[8-9]</sup>。赵成银等对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 成虫和若虫的表皮碳氢化合物主要成分进行了分析,认为西花蓟马成虫和若虫表皮中的主要成分为 C<sub>25</sub>~C<sub>29</sub> 的支链和直链饱和烷烃,成虫和若虫表皮中分别检测到 9 种和 8 种碳氢化合物,9-甲基二十五烷为成虫特有,其他 8 种碳氢化合物为成、若虫共有<sup>[10]</sup>。

目前,对云杉大墨天牛和云杉小墨天牛表皮碳氢化合物的研究尚未见报道。本文对云杉大墨天牛和云杉小墨天牛表皮碳氢化合物组分进行分析,探索表皮碳氢化合物在墨天牛属幼虫分类鉴定工作中的实际应用意义,积极寻找准确快速的幼虫分类鉴定技术,从生化水平上对昆虫分类研究提供理论依据,为云杉大墨天牛和云杉小墨天牛的种类快速鉴别及其检疫监测提供新的技术手段。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

供试墨天牛幼虫为 5 龄幼虫,来自乌克兰的进境木材中发现,经形态分类鉴定,确定为云杉大墨天牛和云杉小墨天牛。

### 1.2 仪器与试剂

仪器:气相色谱(安捷伦-7890A)与质谱(安捷伦 5975C)联用仪;冻干机(LABCONCO);氮吹仪(HGC-12A)

试剂:正己烷(国药集团化学试剂有限公司)

### 1.3 仪器分析条件

色谱柱为 HP-5MS 石英毛细管柱(0.25 mm×30 m×0.25 μm)(美国 Agilent 公司),进样口温度为 280℃,不分流,色谱柱的起始温度 80℃保留 1 min,以 5℃/min 升至 200℃,保留 2 min,再以 10℃/min 升至 300℃,保留 10 min。载气为高纯度氮气,柱压为 9.38 psi。采用直接进样的方式,进样体积为 1 μL,GC 流速为 1 mL/min。质谱参数为:四级杆温度为 150℃;离子源温度为 230℃;扫描速度:每秒 5 张质谱图。

### 1.4 样品制备方法

将墨天牛幼虫置于清水中用毛笔清除其表面的杂质、粪便等,随后置于干净的纸上晾干。将晾干的墨天牛幼虫放入干净的 EP 管内,在-30℃冰箱内预冻存 24 h,然后放入冻干机内进行冻干,冻干条件为冷阱温度-40℃,真空度 0.01 mbar 以下,冻干时间为 24 h。将冻干的墨天牛幼虫放入 10 mL EP 管内,加入 5 mL 正己烷萃取 20 min,吸取上清液至另一个干净的 EP 管内,使用氮吹仪浓缩上清液至 500 μL。将浓缩后的上清液移至色谱瓶中备用。

### 1.5 数据分析

定性分析:将由气相色谱分离得到的各组分通过质谱仪进行鉴定,组分鉴定分析主要根据各化合物的质谱图所得离子峰信息,首先推断各组分分子量,再按照分子裂分的一般规律及质谱解析程序做初步分析,最后与 EPA/NzHMAs, Spectral Data 标准图谱库中的标准图谱对照确定每个组分的结构式。

定量分析:应用气相色谱仪分析墨天牛表皮碳氢化合物,根据供试虫体的总离子流色谱图,分别对每一组分峰的面积积分,获得相应的各组分峰的面积,(在试验条件恒定时,峰面积或峰高与组分的含量成正比)。根据各组分峰的峰面积,按比例求出其组分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析总离子流图

对墨天牛幼虫表皮碳氢化合物经 GC-MS 分析, 获得

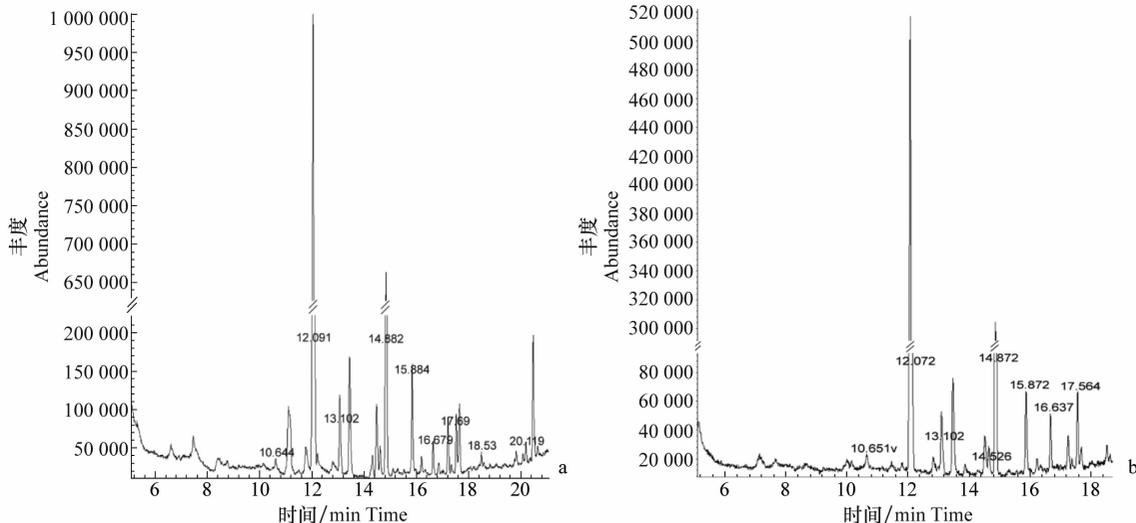


图 1 云杉大墨天牛(a)和云杉小墨天牛(b)幼虫表皮碳氢化合物总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatogram of *Monochamus urussovi* (a) and *M. sutor* (b) of the cuticular hydrocarbons

### 2.2 墨天牛表皮碳氢化合物组分及含量分析

经 GC-MS 分析和 NIST 谱库系统检索并与标准图谱比较, 获得墨天牛幼虫表皮碳氢化合物的名称和相对含量。云杉大墨天牛幼虫表皮有 9 种碳氢化合物(表 1), 包括正二十四烷、正二十五烷、3-乙基-二十四烷、正二十七烷、正三十四烷、三十碳六烯、正二十九烷、正三十六烷、正四十四烷; 其中正二十五烷含量较高, 为 54.51%, 其次为正二十七烷, 含量为 27.16%, 正四十四烷含量最低, 相对含量为 0.51%。云杉小墨天牛幼虫表皮有 8 种碳氢化合物(表 2), 包括 2-甲基-二十六烷、正二十五烷、3-乙基-二十四烷、9-二十六碳

烯、正二十七烷、正三十四烷、三十碳六烯、正二十九烷; 其中正二十五烷含量较高, 为 55.70%, 其次为正二十七烷, 含量为 24.96%, 2-甲基-二十六烷含量最低, 相对含量为 1.11%。

根据试验结果可知, 墨天牛的 11 种碳氢化合物主要是由直链和支链的饱和烷烃和烯烃组成, 云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫有 6 种共有的碳氢化合物, 占 97%~98%。其共有物质的丰度, 云杉大墨天牛都高于云杉小墨天牛, 其中云杉大墨天牛中特有的成分为正二十四烷、正三十六烷、正四十四烷。其中云杉小墨天牛中特有的成分为 2-甲基-二十六烷和 9-二十六碳烯。

表 1 云杉大墨天牛幼虫表皮碳氢化合物

Table 1 Cuticular hydrocarbons of *Monochamus urussovi* larvae

序号 No.	保留时间/min Retention time	特征离子 m/z of characteristic ions	碳氢化合物 Hydrocarbon	峰高 Peak height	相对含量/% Relative content
1	10.644	M <sup>+</sup> 338	正二十四烷 <i>n</i> -tetracosane	14 609	0.79
2	12.091	M <sup>+</sup> 352	正二十五烷 <i>n</i> -pentacosane	968 106	54.51
3	13.102	—	3-乙基-二十四烷 3-ethyl-tetracosane	99 031	5.05
4	14.882	M <sup>+</sup> 380	正二十七烷 <i>n</i> -heptacosane	641 384	27.16
5	15.884	M <sup>+</sup> 478	正三十四烷 <i>n</i> -tetratriacontane	139 306	5.45
6	16.679	—	三十碳六烯 Squalene	43 554	1.70
7	17.69	M <sup>+</sup> 408	正二十九烷 <i>n</i> -nonacosane	90 334	4.22
8	18.53	M <sup>+</sup> 506	正三十六烷 <i>n</i> -hexatriacontane	19 128	0.62
9	20.119	M <sup>+</sup> 618	正四十四烷 <i>n</i> -tetratetracontane	13 595	0.51

表 2 云杉小墨天牛幼虫表皮碳氢化合物

Table 2 Cuticular hydrocarbons of *Monochamus sutor* larvae

序号 No.	保留时间/min Retention time	特征离子 m/z of characteristic ions	碳氢化合物 Hydrocarbon	峰高 Peak height	相对含量/% Relative content
1	10.651	—	2-甲基二十六烷 2-methylhexacosane	9 227	1.11
2	12.072	M <sup>+</sup> 352	正二十五烷 <i>n</i> -pentacosane	505 595	55.70
3	13.102	—	3-乙基二十四烷 3-ethyl-tetracosane	43 360	4.53
4	14.657	—	9-二十六碳烯 9-hexacosene	19 410	1.78
5	14.872	M <sup>+</sup> 380	正二十七烷 <i>n</i> -heptacosane	293 652	24.96
6	15.872	M <sup>+</sup> 478	正三十四烷 <i>n</i> -tetratriacontane	55 076	4.63
7	16.673	—	三十碳烯 Squalene	40 095	3.20
8	17.564	M <sup>+</sup> 408	正二十九烷 <i>n</i> -nonacosane	53 734	4.08

### 3 讨论

1969年, Moore首先报道了澳大利亚澳洲土垅白蚁 *Nasutitermes exitiosus* 表皮烃的组成, 发现其主要为 24~27 碳的直链烃, 且以奇数碳为主<sup>[11]</sup>。Golden 等通过表皮碳氢化合物对萤叶甲科的两个近缘种 *Diabrotica longicornis* 与 *D. barberi* 进行了分析<sup>[12]</sup>。Anyanwu 和 Carlson 等根据表皮碳氢化合物中二十六碳烷、1,3,2-三甲基三十一碳烷和二甲基三十九碳烷的相对丰度差异, 将冈比亚按蚊复合体 *Anopheles gambiae* 中两个形态上无法辨别的近缘种 *A. gambiae* 和 *A. arabiensis* 进行了区分<sup>[13-14]</sup>。日本学者 Takematsu 对 4 种树白蚁 *Glyptotermes* 的研究表明, 黑树白蚁 *G. fuscus*、赤树白蚁 *G. satsumensis* 和 *G. nakajimai* 的表皮碳氢化合物组成各异, 而 *G. kushimensis* 的表皮碳氢化合物组成与 *G. nakajimai* 相同。因此认为 *G. kushimensis* 与 *G. nakajimai* 应为同一种, 即存在同物异名现象<sup>[15]</sup>。Carlson 和 Walsh 分析了蚋 *Simulium damnosum* 复合体中的 2 个种, 通过对表皮碳氢化合物组分进行分析, 成功地将复合体中两个种鉴定出来<sup>[16]</sup>。

国内对昆虫表皮碳氢化合物的研究较少。赵彤言等应用毛细管气谱法对我国尖音库蚊复合组尖音库蚊、淡色库蚊和致倦库蚊的表皮碳氢化合物进行了分析, 并与该复合组分布于日本的骚扰库蚊以及亲缘种迷走库蚊进行了比较。结果表明, 尖音库蚊复合组各成员碳氢化合物的主要组分相同, 含量略有差异, 与迷走库蚊相比则有显著差异, 表现出了复合组的特征<sup>[17]</sup>。高明媛等研究发现, 棉铃虫与烟青虫幼虫表皮碳氢化合物的组分与含量均有显著差异<sup>[18]</sup>。梁晓松等利用固相萃取技术对台湾白蚁表皮碳氢化合物进行萃取, 分析发现白蚁表皮中含有 24 种碳氢化合物,

主要为 11,13-二甲基二十六烷烃(33.34%)和 2,4,6-三甲基二十七烷烃(15.75%)<sup>[19]</sup>。

近缘种云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫形态上十分相似, 很难鉴定。通过 GC-MS 分析结果表明, 云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫都含有 6 种相同的碳氢化合物, 但它们也含有自己特有的碳氢化合物。这些特有的碳氢化合物可用于鉴定云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫, 这为今后墨天牛的检疫鉴定提供了有用的数据支持。云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫表皮碳氢化合物成分与相对含量的差异, 其原因有待进一步深入研究。利用表皮碳氢化合物区分云杉大墨天牛和云杉小墨天牛幼虫可以大大缩短口岸检疫的时间, 且成本低, 操作简单, 不受实验样品的限制, 干燥标本、新鲜标本或冷冻标本都可以进行分析, 克服了分子鉴定方法对活体样品的特殊要求, 并且整体浸泡的提取方法不损坏昆虫的外部形态, 可以继续保存标本, 以备将来进一步研究, 在口岸检疫中有较高的实用价值。

### 参考文献

- [1] 王乔. 墨天牛属 (*Monochamus* Guér) 的生物地理学研究 [J]. 林业科学, 1988(3): 297 - 304.
- [2] 陈世襄. 中国经济昆虫志 第一册 [M]. 北京: 科学出版社, 1959: 78 - 81.
- [3] Blomquist G J, Dillwith J W. Cuticular lipids [M]// Kerkut G A. Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology. Oxford: Pergamon Press, 1985: 595 - 645.
- [4] Lockey K H. Insect cuticular lipids [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B, 1988, 89: 595 - 645.
- [5] Hoppe K L, Dillwith J W, Wright R E, et al. Identification of horse flies (Diptera: Tabanidae) by analysis of cuticular hydrocarbons [J]. Journal of Medical Entomology 1990, 27(4): 480 - 486.

### 3 讨论

多花木蓝籽石油醚提取物浓度为 4 000 mg/L 时,其对多种植物病原真菌表现出较好的抑菌活性,抑制率均可达到 70%以上<sup>[5]</sup>。一级柱层析后,当 A-4、A-5 流分浓度为 2 000 mg/L 时,除梨黑星病菌外,对其他测试菌的抑制率均低于 70%。一级柱层析后,活性化合物集中于 A-4 和 A-5 流分,然而其活性并未有显著的提高。另外,2 个酯类的活性化合物的 MIC 和 MBC 值也主要集中在 500 mg/L 和 1 000 mg/L,其抑菌活性较弱。推测可能多花木蓝籽石油醚提取物中存在一些具有增效作用的化合物,随着分离程度的提高,增效物质的含量降低,故其抑菌活性也降低,但是其具体的原因还有待进一步验证。

本试验前期曾报道了豆科植物多花木蓝籽石油醚提取物具有一定的抑菌活性<sup>[5]</sup>,在此基础上,本实验室在活性追踪下分离出 2 个酯类活性化合物,它们的化学结构较简单,但其表现出的抑菌活性较弱,故改造其化学结构,以期提高抑菌活性,是本课题组下一步将要研究的内容。

### 参考文献

- [1] 徐苏酪. 天然产物源农药和农药先导物[J]. 农药译丛, 1994 (2): 18-24.
- [2] 单承莺, 马世宏, 张卫明. 我国植物源农药研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2011, 30(6): 14-23.
- [3] 中国科学院西北植物研究所编著. 秦岭植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 34-35.
- [4] 傅书遐. 湖北植物志[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2002: 276-280.
- [5] 毛心莹, 苏生, 曹红旗, 等. 多花木蓝抑菌活性及其化学成分研究[J]. 广东农业科学, 2015(15): 48-52.
- [6] Li Yan, Shen Binbin, Li Jun, et al. Antimicrobial potential and chemical constituent of *Mikania micrantha* H. B. K. [J]. African Journal of Microbiology Research, 2013, 7(20): 2409-2415.
- [7] 刘冬梅, 李理, 杨晓泉, 等. 用牛津杯测定益生菌的抑菌活力[J]. 食品研究与开发杂志, 2006(3): 110-111.
- [8] Jorgensen J H. *In vitro* activity of daptomycin against vancomycin-resistant enterococci of various van types and comparison of susceptibility testing methods [J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2003, 47(12): 3760-3763.
- [9] 李健强, 李六金. 兽医微生物实验实习指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999: 29-30.
- [10] Yeh-Hsin Tsai, Ih-Sheng Chen, Ian-Lih Tsai. New long-chain esters and adenine analogs from the leaves of formosan *Bridelia balsanae* [J]. Helvetica Chimica Acta, 2003, 86: 2452-2457.
- [11] Harverty M I, Page M, Nelson L J, et al. Cuticular hydrocarbons of dampwood termites, *Zootermopsis*; intra- and intercolony variation and potential as taxonomic characters [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(3): 1035-1058.
- [12] Golebiowski M, Paszkiewicz M, Grubba A, et al. Cuticular and internal *n*-alkane composition of *Lucilia sericata* larvae, pupae, male and female imagines: application of HPLC-LLSD and GC/MS-SIM [J]. Bulletin of Entomological Research, 2012, 102(4): 453-460.
- [13] Anyanwu G I, Davies D H, Molyneux D H, et al. Cuticular-hydrocarbon discrimination between *Anopheles gambiae* s. s. and *An. arabiensis* larval karyotypes [J]. Annals of Tropic Medicine and Parasitology, 2001, 95(8): 843-852.
- [14] Carlson D A, Service M W. Identification of mosquitoes *Anopheles gambiae* species complex A and B by analysis of cuticular hydrocarbons [J]. Science, 1980, 207(4435): 1089-1901.
- [15] Takematsu Y, Yamaoka R. Taxonomy of *Glyptotermes* (Isoptera, Kalotermitidae) in Japan with reference to cuticular hydrocarbon analysis as chemotaxonomic characters [J]. Esakia, 1997, 37: 1-14.
- [16] Carlson D A, Walsh J F. Identification of two west African black flies (Diptera: Simuliidae) of the *Simulium damnosum* species complex by analysis of cuticular paraffins [J]. Acta Tropica, 1981, 38(3): 235-239.
- [17] 赵彤言, 陆宝麟. 中国尖音库蚊复合组 (*Culex pipiens* complex) 生物分类学的研究——幼虫形态特征的数值分析[J]. 寄生虫与医学昆虫学报, 1995, 2(3): 153-160.
- [18] 高明媛, 王心丽, 李重九. 表皮碳氢化合物分析用于棉铃虫与烟青虫幼虫分类鉴别[J]. 昆虫知识, 1999, 36(5): 266-269.
- [19] 梁小松, 徐刘平, 李浩, 等. 固相微萃取技术在白蚁表皮碳氢化合物分析中的应用[J]. 昆虫知识, 2009, 46(4): 632-636.
- [20] 崔可伦, 王志光, 李明馨, 等. 应用气相色谱法鉴别海南省大劣按蚊[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 1992, 10(4): 283-285.
- [21] 崔可伦, 王木森, 洗伟立, 等. 应用气相色谱法鉴别淡色库蚊与致倦库蚊[J]. 动物分类学报, 1991, 16(4): 497-499.
- [22] 赵成银, 何余容, 钟锋, 等. 西花蓟马表皮碳氢化合物成份分析[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 536-541.
- [23] Moore B P. Biochemical studies in termites [M]//Krischna K, Weesnereds F M. Biology of termites. New York: Academic Press, 1969: 407-432.
- [24] Golden K, Meinke L J, Stanley-Samuelson D W. Cuticular hydrocarbon discrimination of *Diabrotica* (Coleoptera: Chrysomelidae) sibling species [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1992, 85(5): 561-570.
- [25] (责任编辑: 田 喆)

(上接 120 页)

- [26] (责任编辑: 杨明丽)