

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

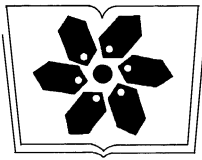
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性·····	刘 波,郑雪芳,孙大光,等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应·····	尹 红,王 靖,刘洪滨,等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程·····	李海波,李英华,孙铁珩,等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划·····	肖 燚,陈圣宾,张 路,等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例·····	鲁春霞,刘 铭,冯 跃,等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征·····	许倍慎,周 勇,徐 理,等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响·····	李宁云,袁 华,田 昆,等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例·····	宋晓龙,李晓文,张明祥,等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力·····	韩道瑞,曹广民,郭小伟,等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究·····	张 杰,张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价·····	孙才志,杨 磊,胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析·····	钟林生,王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者·····	褚福印,唐思贤,潘虎君,等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响·····	朱俊霞,王 勇,张美文,等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统·····	祁 君,苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究·····	张 琳,WANG Baode,许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系·····	杨忠岐,王小艺,王 宝,等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响·····	李 乐,万冬梅,刘 鹤,等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究·····	宋 伦,杨国军,李 爱,等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征·····	王海梅,李政海,乌 兰,等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响·····	兰春剑,江 洪,黄梅玲,等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理·····	赵风华,王秋凤,王建林,等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较·····	巩国丽,陈 辉,段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响·····	雍石泉,仝 川,庄晨辉,等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性·····	谢彩香,索风梅,贾光林,等 (7551)
苈对黑麦草根系几种低分子量有机分泌物的影响·····	谢晓梅,廖 敏,杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定·····	张丽珍,樊晶晶,牛 伟,等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响·····	安 娟,郑粉莉,李桂芳,等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建·····	楼 波,徐 毅,林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响·····	张远东,刘世荣,顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展·····	胡广录,赵文智,王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物·····	高 东,何霞红,朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征·····	刘 刚,沈守云,闫文德,等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫生殖的影响·····	黄 林,刘昌利,韦传宝,等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办·····	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等·····	(I)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境,同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中,但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变,形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭,绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬,远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张琳, Wang Baode, 许志春. 桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究. 生态学报, 2011, 31(24): 7479-7485.

Zhang L, Wang B D, Xu Z C. Volatile constituents of four moraceous host plants of *Apriona germari*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7479-7485.

桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究

张 琳¹, WANG Baode², 许志春^{1,*}

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. USDA APHIS PPQ CPHST, Otis Building 1398, Otis ANGB, MA 02542, USA)

摘要:采用动态顶空和气相色谱-质谱联用技术,对桑天牛的主要桑科寄主桑树、构树、柘树和无花果等 4 种植物的挥发性物质进行检测,以期找出对桑天牛有引诱作用的行为化学物质。结果表明,4 种植物分别鉴定出 31 种、30 种、29 种和 27 种化合物,主要为烯类、酯类、醛类、醇类等。4 种寄主植物共有的化合物共 11 种,分别是叶醇、正辛醇、苯甲醛、壬醛、癸醛、1-辛烯、罗勒烯、乙酸叶醇酯、正十六烷、2,6-二叔丁基对甲酚和 2,4-二叔丁基苯酚。

关键词:桑科植物;挥发物;动态顶空-气质联用;桑天牛

Volatile constituents of four moraceous host plants of *Apriona germari*

ZHANG Lin¹, WANG Baode², XU Zhichun^{1,*}

1 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 USDA APHIS PPQ CPHST, Otis Building 1398, Otis ANGB, MA 02542, USA

Abstract: *Apriona germari* is an important boring insect and a major threat to more than 20 kinds of trees, including mulberry, poplar, and apple trees. It is widely distributed in China, where it causes serious damage. Difficulties in the detection and monitoring of boring insects are major obstacles to the prediction and control of infestations. Thus, it is important to develop trapping devices incorporating behavioral chemicals (e. g. sex pheromones, plant attractants) as bait. However, to date, no effective compounds suitable for monitoring the behavior of this insect have been reported. The purpose of this study was to analyze the principal volatile compounds of its host plants and to identify the most effective plant attractants for monitoring insect numbers, as a basis for forecast and control.

Apriona germari adults consume nutrients to reach sexual maturity and then, to achieve reproductive success, they must migrate to other trees to lay their eggs. The shoots of plants within the family Moraceae are rich in protein and represent an important source of nutrients for newly emerged *Apriona germari*. The volatiles of four important host plants in this family, *Morus alba*, *Broussonetia papyrifera*, *Cudrania tricuspidata* and *Ficus carica*, were analyzed using ATD-GC-MS. The relative levels of individual chemical components were determined using normalization methods. In total, 56 different compounds were identified in the four plants, of which 31 were present in *Morus alba*, 30 in *Broussonetia papyrifera*, 29 in *Cudrania tricuspidata*, and 27 in *Ficus carica*. They were divided into four major categories: alcohols, aldehydes, alkenes, and esters. The plants differed in their 'chemical fingerprints', characterized by specific types and content of volatiles. The major volatile components of *Morus alba* were alcohols (25.06%) and esters (66.61%), accounting for 91.67% of the total; in *Broussonetia papyrifera*, alkenes (46.22%) and esters (39.59%) accounted for 87.81% of the total; in *Cudrania tricuspidata*, alcohols (11.80%), aldehydes (22.92%), alkenes (36.15%) and acids (14.58%) accounted for 85.45% of the total; and in *Ficus carica*, alkenes (33.25%), esters (33.36%) and

基金项目:中美合作项目(USDA-BFU-200904)

收稿日期:2011-05-06; 修订日期:2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhchxu@bjfu.edu.cn

phenols (18.06%), accounted for 84.77% of the total. Among all four plants, the most common constituents were vinyl compounds. Compared with the other three species, *Ficus carica* volatiles had lower total contents of ketones and alkanes and *Cudrania tricuspidata* had a lower content of esters. Importantly, 11 of the volatiles were common to all four plants. These were: leaf alcohol, capryl alcohol, benzaldehyde, 1-nonanal, decanal, 1-octene, ocimene, leaf acetate, hexadecane, 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol and 2,4-di-tert-butylphenol. The total quantities of these 11 compounds accounted for 79.98% of their total volatiles in *M. alba*, 60.43% in *B. papyrifera*, 34.62% in *C. tricuspidata*, and 45.97% in *F. carica*.

Volatile odors of host plants are important chemical signals that have great significance for the survival and development of insects. They play important roles in insect-host orientation, nutrition, breeding, and other aspects of environmental positioning. Many studies have shown that it is possible to obtain insect attractants by analyzing and extracting the volatiles of their host plants. It seems likely that a suitable signal compound could be obtained from these 11 compounds, either singly or in combinations mixed in specific proportions.

Key Words: moraceae; volatile; ATD-GC-MS; *Apriona germari*

桑天牛 (*Apriona germari*) 别名粒肩天牛, 桑褐天牛, 属鞘翅目天牛科 (*Cerambycidae*) 沟胫天牛亚科 (*Lamiinae*)。该虫在中国除黑龙江、吉林、内蒙古、宁夏、新疆、青海之外的大部分地区均有分布, 分布范围十分广泛, 是桑树、杨树和苹果等 20 多种林木和果树的重要蛀干害虫。桑天牛成虫食害寄主嫩枝皮叶, 幼虫则在枝干皮下和木质部内活动, 由上向下进行蛀食, 对树高、树径和材积的生长造成影响, 进而降低木材质量, 甚至导致树木死亡, 严重威胁着林、果、蚕业, 特别是近年来大面积种植的杨树工业用材林的发展。桑天牛成虫羽化后需要补充营养才能达到性成熟, 从而实现成功繁殖。汪永俊等观察桑天牛成虫在桑树上补充营养后, 再迁飞到多种林木或果树上产卵。秦旦仁通过解剖不同树种饲养的桑天牛雌性生殖系统, 证实桑天牛的卵巢发育与补充营养有关。桑科植物的嫩枝皮, 含有丰富的蛋白质, 是桑天牛初羽化成虫补充营养的重要来源。桑科 (*Moraceae*) 植物中的桑树 (*Morus alba*)、构树 (*Broussonetia papyrifera*)、柘树 (*Cudrania tricuspidata*) 和无花果 (*Ficus carica*) 都被认为是桑天牛的主要危害对象和寄主^[1-5]。预测和控制树木蛀干性昆虫的主要困难之一是对蛀干性昆虫的发现和监测, 因而研制以行为化学物质 (比如性外激素和植物引诱剂) 为诱饵的诱捕装置显得非常重要。

植物挥发性信息化合物是由一些分子量在 100—200 的有机化学物质如烃类、醇类、酮类、有机酸、含氮化合物以及有机硫等组成的混合物。每种植物都有各自的挥发性次生物质, 各自都以较为精确的比例构成该种植物的化学指纹谱。寄主植物的挥发性气味是重要的化学信号, 其对昆虫的生存和发展具有重要意义, 在昆虫定向寄主、摄取营养和产卵繁殖等行为的环境定位中起着重要作用。如在植食性昆虫的寄主定位阶段, 昆虫通过嗅觉感受器感受寄主植物的挥发性次生物质, 与寄主接触后, 再通过味觉感受器感知植物中营养成分比例、取食刺激素或抑制素的存在^[6-8]。很多植物挥发性物质已经被证明对昆虫有引诱作用, 如桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 成虫对芒果挥发性成分乙酸乙酯有明显的趋性反应^[9]; 茉莉花所释放的苯乙醛对粉纹夜蛾 (*Trichoplusia ni*) 有明显的引诱作用^[10]。而分析挥发物含量有助于研究特定比例的混合物对昆虫的引诱作用, 如油松球果挥发性物质 1R-(+)- α -蒎烯、 β -香叶烯和 D-柠檬烯组合对松果梢斑螟 (*Dioryctria pryeri*) 具有明显的引诱作用^[11]; 芳樟醇+水杨酸甲酯+顺乙酸-3-己烯酯的混合物对马铃薯甲虫 (*Leptinotarsa decemlineata* (Say)) 雄虫有很强的引诱作用^[12], 油菜中的 3 种挥发性化学成分 3-丁烯基异硫氰酸酯、4-戊烯基异硫氰酸酯、2-苯乙基异硫氰酸酯的混合物对甘兰荚象甲 (*Ceutorhynchus assimilis*) 成虫有强烈的长距离引诱作用^[13]。

鉴于到目前为止还没有报道有关桑天牛的有效用于监测的行为化学物质, 本试验的目的就是通过对该天牛主要寄主植物的挥发性化合物的研究比较, 以期筛选出有效的用于监测的植物引诱剂, 为桑天牛发生的

预测预报和控制其危害提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

桑树(*Morus alba*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)选自北京林业大学校园,栎树(*Cudrania tricuspidata*)、无花果(*Ficus carica*)选自北京植物园。

1.2 试验仪器

气质联用仪:Turbo Matrix 650-clarus 600T,美国 PE 公司;吸附管:Tenax TA 60-80 mesh,美国 CNW Technologies GmbH 公司;HH-10 型吸附管活化仪:郑州谱析科技有限公司;大气采样仪:QC-1 型,北京市劳动保护科学研究所;干燥塔;活性炭。

1.3 试验方法

1.3.1 挥发性物质的采集

吸附管在活化仪中 220 ℃下活化 2 h 后,7 月初—9 月初期间,选择晴朗无风天气,利用动态顶空法采集 4 个树种的挥发性有机物。用塑料袋(Reynolds[®] Oven Bags, 482 mm × 596 mm, Richmond, VA, USA)将枝条包住-将袋内空气抽出-填充经活性炭净化的空气-密闭系统循环采气 2 h,抽气泵流量为 100 mL/min。以空袋采集 2 h 作为对照。

1.3.2 挥发性物质的测定

(1)热脱附(ATD)工作条件 重新收集速率 25 mL/min,载气流速 2.0 mL/min,进口分流速率 21 mL/min,脱附速率 25 mL/min,注入量 4.0%,四通阀温度 230 ℃,传输线温度 250 ℃,吸附管加热温度 260 ℃,冷阱捕集管加热温度 300 ℃,制冷温度 -25 ℃,升温速率 40 ℃/S,升至 300 ℃保持 5 min,吸附管干吹时间为 1 min。

(2)GC 工作条件 毛细管柱 Elite-5ms,载气流速 2 mL/min,柱长 30 m,内径 0.32 mm 膜厚 0.25 μm,采取两级程序升温方法,初始温度 40 ℃保持 2 min,第一级升温速率为 4 ℃/min 升至 160 ℃保持 2 min;第二级升温速率 20 ℃/min,至 270 ℃保持 2 min,共用时 46.5 min。

(3)MS 工作条件 溶剂延迟 1 min,离子源为 EI 源,电子能 70eV;接口温度为 250 ℃;离子源温度为 220 ℃,扫描质量范围为 29—500 m/z,扫描时间为 0.2 s。根据所得的粒子流图,采用 TurboMass Ver 5.4.2 软件,通过 NIST2008 谱图库检索,结合色谱保留时间,进行挥发性化合物成分鉴定,通过面积归一法对各类挥发性化合物的绝对含量和相对含量进行定量。

2 结果与分析

经动态顶空-气质联用技术对 4 个树种挥发性物质进行检测,各类物质的种类和含量见表 1。

表 1 GC-MS 分析鉴定 4 种桑科植物挥发性物质的成分及其相对含量

Table 1 Volatiles identified in each of the four Moraceae tree species using GC-MS

化合物种类 Compound type	化合物名称 Volatiles	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content/%			
			桑树 <i>Morus alba</i>	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	栎树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	无花果 <i>Ficus carica</i>
醇类 Alcohols	1,3-丁二醇 1,3-Butanediol	C ₄ H ₁₀ O ₂	0.52	—	—	—
	叶醇 Leaf alcohol	C ₆ H ₁₂ O	22.59	6.66	2.31	2.10
	己醇 Hexyl alcohol	C ₆ H ₁₄ O	0.50	—	—	—
	2-乙基己醇 2-Ethylhexanol	C ₈ H ₁₈ O	0.40	—	3.46	2.10
	正辛醇 Capryl alcohol	C ₈ H ₁₈ O	0.31	0.15	0.75	0.28
	顺-2-己烯-1-醇 Cis-2-hexen-1-ol	C ₆ H ₁₂ O	0.74	—	—	—
	3-己炔-2,5-二醇 3-Hexyn-2,5-diol	C ₆ H ₁₀ O ₂	—	—	4.35	—
	丙二醇 1,2-Propanediol	C ₃ H ₈ O ₂	—	—	0.94	—

续表

化合物种类 Compound type	化合物名称 Volatiles	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content/%			
			桑树 <i>Morus alba</i>	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	无花果 <i>Ficus carica</i>
醛类 Aldehydes	庚醛 Heptanal	C ₇ H ₁₄ O	—	—	0.55	—
	苯甲醛 Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	0.16	0.55	1.14	0.71
	壬醛 1-Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	0.86	1.08	10.32	1.56
	癸醛 Decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	0.36	0.55	8.95	0.59
	正辛醛 Octanal	C ₈ H ₁₆ O	—	—	1.95	—
烯类 Alkenes	1-辛烯 1-Octene	C ₈ H ₁₆	0.20	0.66	2.52	0.81
	桉烯 Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	0.22	0.81	—	—
	反-β-罗勒烯(E)-β-Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	0.31	—	—	2.15
	罗勒烯 Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	0.49	4.7	1.05	3.93
	(-)-异丁香烯(-)-Isocaryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	0.72	0.61	23.77	—
	α-律草烯;丁香烯. Alpha. -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	0.48	1.05	4.10	—
	α-法呢烯. Alpha. -Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	0.68	5.20	—	10.63
	间戊二烯 1,3-Pentadiene	C ₅ H ₈	—	22.33	—	—
	1,3,5-环庚三烯 1,3,5-Cycloheptatriene	C ₇ H ₈	—	0.70	1.41	—
	1-壬烯;香茅烯 1-Nonene	C ₉ H ₁₈	—	0.33	0.9	—
	顺-2-甲基-7-十八烯 Cis-2-methyl-7-octadecene	C ₁₉ H ₃₈	—	1.03	—	—
	4-甲基-1,5-庚二烯 4-methyl-1,5-heptadiene	C ₈ H ₁₄	—	1.47	—	—
	(E)-β-法呢烯(E)-beta-Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	0.21	—	1.73	0.5
	D-柠檬烯 D-limonene	C ₁₀ H ₁₆	—	—	0.64	—
	长叶烯(+)-longifolene	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	3.22
	右旋大根香叶烯 D-Germacrene	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	0.55
	右旋愈创木烯 d-Guaiene	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	11.41
	甘菊蓝 Azulene	C ₁₀ H ₈	—	0.67	—	—
酯类 Esters	(Z)-庚酸-3-己烯-1-基酯 Heptanoic acid, 3-hexenyl ester, (Z)-	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	0.23	—	—	—
	乙酸叶醇酯 Leaf acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	53.32	44.05	0.96	15.65
	乙酸己酯 Hexyl acetate	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.83	—	—	—
	甲酸环己酯 Cyclohexyl formate	C ₇ H ₁₂ O ₂	0.17	—	—	—
	反-3-己烯基丁酯(E)-hex-3-enyl butyrate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	5.99	1.72	—	—
	顺式-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯 Cis-3-Hexenyl 2-methylbutanoate	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	6.07	—	—	0.31
	反式 3-己烯醇乙酸酯 3-Hexen-1-ol, acetate, (E)-	C ₈ H ₁₄ O ₂	—	0.18	—	—
	苯甲酸叶醇酯 Hexenyl benzoate	C ₁₃ H ₁₆ O ₂	—	0.28	—	0.93
	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	C ₈ H ₈ O ₃	—	—	—	16.46
烷类 Alkanes	正辛烷 N-octane	C ₈ H ₁₈	0.81	0.46	2.10	—
	壬烷 N-nonane	C ₉ H ₂₀	0.11	0.22	0.80	—
	异丙基环己烷 Isopropylcyclohexane	C ₉ H ₁₈	0.44	—	—	—
	正十六烷 Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	0.50	0.56	1.62	2.28
	正戊烷 Pentane	C ₅ H ₁₂	—	0.53	—	—
	癸烷 Decane	C ₅ H ₁₂	—	0.29	—	—
酮类 Ketones	4-甲基-2-戊酮 Methyl isobutyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	—	—	—	0.60
	4-甲基-3-戊烯-2-酮 Mesityl oxide	C ₆ H ₁₀ O	—	—	—	1.85
	甲基庚烯酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	C ₈ H ₁₄ O	0.36	—	—	0.37
	(1,1'-联环戊基)-2-酮[1,1'-Bicyclopentyl]-2-one	C ₁₀ H ₁₆ O	—	0.85	2.31	1.85
酸类 Acids	丁酸 Butanoic acid	C ₄ H ₈ O ₂	—	—	13.67	0.26
	乙酸 Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	—	—	0.91	—
酚类	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol	C ₁₅ H ₂₄ O	0.64	0.61	1.98	1.55

续表

化合物种类 Compound type	化合物名称 Volatiles	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content/%			
			桑树 <i>Morus alba</i>	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	无花果 <i>Ficus carica</i>
Phenols	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-Di-tert-butylphenol	C ₁₄ H ₂₂ O	0.55	0.86	3.02	16.51
	苯酚 Phenol	C ₆ H ₆ O	—	—	0.77	—
Ethers	苯甲醚 Anisole	C ₇ H ₈ O	0.22	0.82	0.98	—
Benzenes	对伞花烃 p-Cymene	C ₁₀ H ₁₄	—	—	—	0.77

对 4 个树种的挥发性化合物进行分析,共鉴定出 56 种化合物,主要为醇类、醛类、烯类、酯类等(含量和数量见表 2)。分析数据显示,各种植物具有不同的化学指纹图谱:桑树释放的挥发物中以醇类(25.06%)和酯类(66.61%)为主,醇类包括 1,3-丁二醇、叶醇、己醇、2-乙基己醇、正辛醇、顺-2-己烯-1-醇,其中叶醇的含量最高(22.59%);酯类包括乙酸叶醇酯、反-3-己烯基丁酯、顺式-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯等,其中乙酸叶醇酯的含量最高(53.32%)。特有的物质有 7 种,分别是 1,3-丁二醇、己醇、顺-2-己烯-1-醇、(Z)-庚酸-3-己烯-1-基酯、乙酸己酯、甲酸环己酯、异丙基环己烷。

构树释放的挥发物中以酯类(39.59%)和烯类(46.22%)为主,酯类包括乙酸叶醇酯、反-3-己烯基丁酯、苯甲酸叶醇酯等,其中乙酸叶醇酯的含量最高(44.05%);烯类包括间戊二烯、罗勒烯、 α -律草烯、4-甲基-1,5-庚二烯、 α -法呢烯、顺-2-甲基-7-十八烯、4-甲基-1,5-庚二烯等,其中间戊二烯的含量最高(22.33%)。特有的化合物有 8 种,分别是间戊二烯、顺-2-甲基-7-十八烯、4-甲基-1,5-庚二烯、甘菊蓝、反式 3-己烯醇乙酸酯、正戊烷、癸烷、乙酸。

柘树释放的挥发物以醛类(22.92%)、烯类(36.15%)、醇类(11.80%)和酸类(14.58%)为主,醛类包括壬醛、癸醛、正辛醛、苯甲醛、庚醛,其中壬醛的含量最高(10.32%);烯类包括 1-辛烯、罗勒烯、(-)-异丁香烯、 α -律草烯、1,3,5-环庚三烯、1-壬烯、(E)- β -法呢烯等,其中(-)-异丁香烯的含量最高(23.77%);醇类包括叶醇、2-乙基己醇、3-己炔-2,5-二醇等,其中 3-己炔-2,5-二醇含量最高(4.35%);酸类包括丁酸和乙酸,其中丁酸的含量最高(13.67%)。特有的化合物有 6 种,分别是 3-己炔-2,5-二醇、丙二醇、庚醛、正辛醛、D-柠檬烯、苯酚。

表 2 各类物质在不同树种中的数量和含量

Table 2 The number of volatiles and their relative contents in the four different tree species

化合物种类 Compound type	桑树 <i>Morus alba</i>		构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>		柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>		无花果 <i>Ficus carica</i>	
	含量/% Content	数量 Number	含量/% Content	数量 Number	含量/% Content	数量 Number	含量/% Content	数量 Number
醇类 Alcohols	25.06	6	6.81	2	11.80	5	4.48	3
醛类 Aldehydes	1.38	3	2.18	3	22.92	5	2.87	3
烯类 Alkenes	3.32	8	39.59	12	36.15	8	33.25	8
酯类 Esters	66.61	6	46.22	4	0.96	1	33.36	4
烷类 Alkanes	1.85	4	2.06	5	4.52	4	2.28	1
酮类 Ketones	0.36	1	0.85	1	2.31	1	4.67	4
酸类 Acids	—	—	—	—	14.58	2	0.26	1
酚类 Phenols	1.19	2	1.47	2	5.77	3	18.06	2
醚类 Ethers	0.22	1	0.82	1	0.98	1	—	—
苯类 Benzene	—	—	—	—	—	—	0.77	1

无花果释放的挥发物以烯类(33.25%)、酯类(33.36%)和酚类(18.06%)为主,烯类包括反- β -罗勒烯、

罗勒烯、 α -法呢烯、长叶烯、右旋愈创木烯等,其中右旋愈创木烯含量最高(11.41%);酯类包括乙酸叶醇酯、水杨酸甲酯、苯甲酸叶醇酯、顺式-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯,其中水杨酸甲酯含量最高(16.46%);酚类包括 2,6-二叔丁基对甲酚和 2,4-二叔丁基苯酚,其中 2,4-二叔丁基苯酚含量最高(16.51%)。特有化合物有 7 种,分别是长叶烯、右旋大根香叶烯、右旋愈创木烯、水杨酸甲酯、4-甲基-2-戊酮、4-甲基-3-戊烯-2-酮、对伞花烃。

4 个树种共有的化合物有 11 种,分别是叶醇、正辛醇、苯甲醛、壬醛、癸醛、1-辛烯、罗勒烯、正十六烷、2,6-二叔丁基对甲酚和 2,4-二叔丁基苯酚。4 个树种中物质种类最多的均为烯类化合物,与其它 3 个树种相比,无花果具有种类较多的酮类物质,而烷类物质最少,柘树中酯类物质的种类最少。

3 讨论

植食性昆虫的寄主选择行为常分为寄主的定向(远距离)、降落(近距离)和接触 3 个主要阶段。而寄主植物的气味特点是昆虫在定向寄主植物、降落运动阶段的主要诱导因素^[14]。该类植物挥发性信息化合物对植食性昆虫的引诱作用有以下 3 种方式:(1)特异性化合物对植食性昆虫的引诱作用,(2)特定浓度比例的混合物对植食性昆虫的引诱作用,(3)植物挥发性信息化合物协同昆虫信息素对植食性昆虫的引诱作用^[15]。因此,可以人工合成、应用植物挥发物中的有效组分来进行害虫诱捕防治。例如, Bartelt 和 Hossain 以植物挥发物 ethanol、2-methyl-1-propanol、2-methyl-1-butanol、3-methyl-1-butanol、acetaldehyde、ethylacetate 配制出一种取食引诱剂,用于防治澳大利亚梨园甲虫(*Carpophilus davidsoni* Dobson)^[16]。赵锦年选择单萜烯、松脂、松节油、乙醇、异丙醇、乙醛、丙酮、安息香酸、丁香酚和有机溶剂(增效剂)等按不同组分、不同比例配制成液体引诱剂,筛选出对松褐天牛引诱活性较高的引诱剂 M99-1^[17]。

桑树、构树、柘树和无花果 4 种树均为桑天牛补充营养的对象,桑天牛成虫在羽化后首先要取食桑科植物的嫩枝皮补充营养才能完成繁殖,阎俊杰、叶志毅、汪永骏等用不同树种饲养桑天牛的试验结果均显示在食量(cm^2)、产卵量(粒)、寿命(d)等指标方面,以桑树和构树喂养的桑天牛各项指标明显高于以其他树种喂养的桑天牛各项指标^[18-20]。而桑天牛在寻找营养树的过程中很可能是通过桑科植物的挥发性化学信号物质找到寄主的。由此可见,研究桑科植物挥发性物质的成分和组成对桑天牛植物源引诱剂的开发有重要意义。高瑞桐等利用构树作为诱饵有效地诱集了桑天牛成虫^[21]。张世权、崔建州等曾以 6 种不同的有机溶剂浸泡桑、构树的嫩枝皮,其提取液滴在滤纸上(待有机溶剂挥发以后)制成“信卡”,在室内试验中发现对桑天牛成虫有明显的引诱作用^[22],说明这几种桑科植物中可能含有对桑天牛有引诱作用的相同物质。

笔者对 4 种桑天牛寄主植物的挥发性物质成分进行了分析,分别检测出 31 种、30 种、29 种和 27 种化合物,其中共有化合物 11 种(叶醇、正辛醇、苯甲醛、壬醛、癸醛、1-辛烯、罗勒烯、乙酸叶醇酯、正十六烷、2,6-二叔丁基对甲酚和 2,4-二叔丁基苯酚),分别占各自化合物总量的 79.98%、60.43%、34.62%、45.97%。在这 11 种化合物的单体或是按照一定比例复配组合后的混合物中,很有可能存在桑天牛识别寄主的信号物质,但信号物质的种类及其作用方式的确定还需进一步的试验。

References:

- [1] Huang D Z. The regional dynamics and comprehensive management of *Apriona germari*. Harbin: Dongbei University of Finance and Economics Press, 1999.
- [2] Zhang J S, Zhang S Q, Gao S T, Hou K W, Zhang J Z, Zhou X H, Zhang T Z, Jing X J. Preliminary report of the studies on the eating attractant for *Apriona germari*. Journal of Hebei Forestry College, 1996, 11(2): 152-155.
- [3] Qin D R, Guo T B, Jiang F R, Zhou Y, Zhao H Z, Wang K F. Study on the relationship of ovary development and complementary nutrition of *Apriona germari* (Hope). Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences), 1994, 18(3): 46-50.
- [4] Wang Y J, Zhang J L, Qin D R, Li G Z, Ge L X, Zhou Z R. Preliminary study on the relationship of occurrence and complementary nutrition of *Apriona germari* (Hope). Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology, 1986, (1): 32-34.
- [5] Liu H M, Sun X G, Wang X J. Advances in the research on *Apriona germari* Hope. Forest Pest and Disease, 2002, 21(5): 30-33.
- [6] Theis N, Lerdau M. The evolution of function in plant secondary metabolites. International Journal of Plant Sciences, 2003, 164(S3): S93-S102.
- [7] Dai J Q, Han S C, Du J W. Progress in studies on behavioural effect of semiochemicals of host plant to insects. Journal of Environmental Entomology, 2010, 32(3): 407-414.
- [8] Zhuze P P, Luo S L, Wang M Q, Zhang G. Electrophysiological responses of *Batocera horsfieldi* (Hope) adults to plant volatiles. Journal of

- Applied Entomology, 2010, 134(7): 600-607.
- [9] Shi W, Liu H, Ye H. Behavioral response of *Bactrocera dorsalis* to five kinds of odor volatile of mango. Chinese Bulletin of Entomology, 2010, 47(2): 318-321.
- [10] Heath R R, Landolt P J, Dueben B, Lenczewski B. Identification of floral compounds of night-blooming jessamine attractive to cabbage looper moths. Environmental Entomology, 1992, 21(4): 854-859.
- [11] Li Y, Zhao P, Yin C Y, Liu X X, Zhang Q W. Attraction of *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) by several plant volatiles and aggregation pheromone. Acta Entomologica Sinica, 2010, 53(7): 734-740.
- [12] Li X G, Yang L J, Liu L P, Liu H X. Host selection of adult *Dioryctria pryeri*. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(2): 75-81.
- [13] Bartlett E, Blight M M, Hick A J, Williams I H. The responses of the cabbage seed weevil (*Ceutorhynchus assimilis*) to the odour of oilseed rape (*Brassica napus*) and to some volatile isothiocyanates. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1993, 68(3): 295-302.
- [14] Lu Y H, Zhang Y J, Wu K M. Host plant selection mechanisms and behavioural manipulation strategies of phytophagous insects. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5113-5122.
- [15] Fan H, Jin Y J, Li J Q, Chen H J. Advances on plant volatile semiochemicals attracting herbivorous insects. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(3): 76-81.
- [16] Lin K J, Wu K M, Zhang Y J, Guo Y Y. Evaluation of *Piemarket Abutilon theophrasti* Medic as a trap plant in the integrated management of *Bemisia tabaci* (biotype B) in cotton and soybean crops. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(7): 1379-1386.
- [17] Zhou L, Ma Z Q, Feng G, Zhang X. Sex pheromones, lure plants and plant attractants of cerambycid beetles (Coleoptera) and their applications. Chinese Bulletin of Entomology, 2006, 43(4): 433-438.
- [18] Yan J J, Huang D Z, Wang Z G, Ji D R, Yan Y H, Yu L S, Hu J D. Correlation analysis of nutrition and life of Mulberry Longicorn, *Apriona germari*. Acta Sericologica Sinica, 1994, 20(2): 126-127.
- [19] Ye Z Y, Liu H, Shen W J. Studies on the life habit and control method of Mulberry Longicorn, *Apriona germari*. Acta Sericologica Sinica, 2002, 28(1): 48-51.
- [20] Huang D Z. Toxicity of insecticide "mieduowei" to silkworm and its effects to cocoon production. Journal of Hebei Forestry College, 1996, 11(3/4): 290-296.
- [21] Gao R T, Li G H, Li G W, Liang C J, Huang W Z, Shen F Y, Sun J Z, Zhao Z Y. Study on the bait technology and its application of Mulberry Longicorn, *Apriona germari*. Forest Science and Technology, 1998, (6): 11-13.
- [22] Zhang S Q, Cui J Z, Li C J, Parhati, Zhou X, Zhang J S, Zhou X H, Miao G X, Hou K W, Zhang J Z. Study on the eating attractant to *Apriona germari* (II). Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 1996, 11(3/4): 271-274.

参考文献:

- [1] 黄大庄. 桑天牛区域动态规律与综合治理. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1999.
- [2] 张久森, 张世权, 高述唐, 侯克伟, 张继宗, 周锡华, 张铁柱, 井香俊. 桑天牛的取食引诱研究初报. 河北林学院学报, 1996, 11(2): 152-155.
- [3] 秦旦仁, 郭同斌, 蒋富荣, 周勇, 赵惠忠, 王克服. 桑天牛卵巢发育与补充营养关系的研究. 南京林业大学学报(自然科学版), 1994, 18(3): 46-50.
- [4] 汪永俊, 张纪林, 秦旦仁, 李国钊, 葛令轩, 周正荣. 桑天牛的发生与补充营养关系的初步研究. 江苏林业科技, 1986, (1): 32-34.
- [5] 刘会梅, 孙绪良, 王向军. 桑天牛研究进展. 中国森林病虫, 2002, 21(5): 30-33.
- [7] 戴建青, 韩诗畴, 杜家纬. 植物挥发性信息化学物质在昆虫寄主选择行为中的作用. 环境昆虫学报, 2010, 32(3): 407-414.
- [9] 施伟, 刘辉, 叶辉. 桔小实蝇对五种芒果气味挥发性物质的行为反应. 昆虫知识, 2010, 47(2): 318-321.
- [11] 李源, 赵珮, 尹春艳, 刘小侠, 张青文. 多种植物挥发物及马铃薯甲虫聚集素对马铃薯甲虫的引诱作用. 昆虫学报, 2010, 53(7): 734-740.
- [12] 李新岗, 杨立军, 刘拉平, 刘惠霞. 松果梢斑螟成虫的寄主选择. 林业科学, 2009, 45(2): 75-81.
- [14] 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略. 生态学报, 2008, 28(10): 5113-5122.
- [15] 樊慧, 金幼菊, 李继泉, 陈华君. 引诱植食性昆虫的植物挥发性信息化合物的研究进展. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 76-81.
- [17] 周琳, 马志卿, 冯岗, 张兴. 天牛性信息素、引诱植物和植物性引诱剂的研究与应用. 昆虫知识, 2006, 43(4): 433-438.
- [18] 阎浚波, 黄大庄, 王志刚, 纪殿荣, 阎晔辉, 于连生, 胡继斗. 桑天牛补充营养与寿命的相关分析. 蚕业科学, 1994, 20(2): 126-127.
- [19] 叶志毅, 刘红, 沈文静. 桑天牛的生活习性和防治方法的研究. 蚕业科学, 2002, 28(1): 48-51.
- [20] 黄大庄. 桑天牛的研究进展. 河北林学院学报, 1996, 11(3/4): 290-296.
- [21] 高瑞桐, 李国宏, 李广武, 梁成杰, 黄维正, 申富勇, 孙金钟, 赵忠懿. 桑天牛诱饵技术研究及应用. 林业科技通讯, 1998, (6): 11-13.
- [22] 张世权, 崔建洲, 李重九, 帕尔哈提, 周峭, 张久森, 周锡华, 苗国显, 侯克伟, 张继宗. 桑天牛的取食引诱研究(II). 河北林学院学报, 1996, 11(3/4): 271-274.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元