

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

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 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201212301901

王海建, 李彝利, 李庆, 杨刚, 匡健康, 蒋春先, 杨群芳. 西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定. 生态学报, 2013, 33(14): 4361-4369.

Wang H J, Li Y L, Li Q, Yang G, Kuang J K, Jiang C X, Yang Q F. Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen). Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4361-4369.

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定

王海建¹, 李彝利¹, 李庆^{1,*}, 杨刚², 匡健康², 蒋春先¹, 杨群芳¹

(1. 四川农业大学农学院, 成都 611130; 2. 四川甘孜州农业局, 康定 626000)

摘要: 西藏飞蝗作为青藏高原独有的飞蝗亚种, 近年来发生危害严重, 对其聚集机制的研究是西藏飞蝗生态治理的基础。采用自制 Y 型嗅觉仪、气质联用 (GC-MS) 和触角电位反应 (EAG) 等方法对西藏飞蝗虫粪粗提物进行了活性测定和成分分析。结果表明: 乙醇浸提法是提取西藏飞蝗虫粪粗提物的较好方法。西藏飞蝗虫粪粗提物活性随虫龄增加, 并且群居型成虫虫粪粗提物的活性最强。散居型蝗虫对蝗蛹虫粪粗提物的趋向性高于同虫态群居型蝗虫对蝗蛹虫粪粗提物的趋向性。不同虫态的西藏飞蝗虫粪粗提物所含化合物种类及含量有所差别, 部分化合物与东亚飞蝗聚集信息素成分相同。西藏飞蝗对人工合成化合物的电生理反应变化趋势可分为三类: 2 μ L/mL 浓度下触角电位反应值最高; 不同虫态西藏飞蝗对同一化合物的电生理反应变化趋势不一致; 随浓度增加电生理反应显著增加。

关键词: 西藏飞蝗; 虫粪粗提物; 气质联用; 触角电位反应

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen)

WANG Haijian¹, LI Yili¹, LI Qing^{1,*}, YANG Gang², KUANG Jiankang², JIANG Chunxian¹, YANG Qunfang¹

1 College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

2 Agricultural Bureau of Ganzi State, Kangding 626000, China

Abstract: *Locusta migratoria tibetensis* (Chen), a unique subspecies of migratory locust in Tibetan Plateau, has caused serious damage in recent years, and the study of its aggregation mechanism can be the basis for its ecological management. In this paper, we investigated the components of the fecal extract of this pest by gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS) and evaluated its bioactivity by a self-made "Y" olfactometer as well as electroantennograms. The results showed that the fecal extract bioactivities of different extract methods to solitary and gregarious fourth-instar nymphs differed, and that ethyl alcohol extraction was the best method for extracting fecal extracts of *L. migratoria tibetensis*. The bioactivity of fecal extracts increased with instars, and the gregarious adult locusts had the strongest bioactivity. The taxis ratio of solitary locusts to the fecal extracts of solitary and gregarious nymphs was more than that of gregarious locusts to the fecal extract of nymphs. In detail, we detected 35 components in the fecal extract of *L. migratoria tibetensis* by GC-MS, where we found that the main constituents were cyclohexanol, 2,5-dimethyl pyrazine, 2,6,6-trimethyl-2-cyclohexene-1,4-dione, nonanal, benzyl alcohol, (*E*)-3,7,11,15-tetramethyl-2-hexadecen-1-ol, 3-phenylbutan-2-ol, and 2,2'-methylenebis(6-tert-butyl-4-methylphenol). The components and their relative contents differed among the different developmental stages of fecal extracts. Adult female feces contained the most components, while that of solitary nymphs had the fewest. Some of the components of *L. migratoria tibetensis* were the same as the components of aggregation pheromone of *Locusta migratoria*.

基金项目: 四川省教育厅资助 (07ZA066); 四川农业大学学科建设双支计划项目资助

收稿日期: 2012-12-30; 修订日期: 2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liqing633@yahoo.com.cn

manilemsis (Meyen). The electrophysiological responses of *L. migratoria tibetensis* to single artificially synthesized chemical compounds (concentration range 0—4 $\mu\text{L/mL}$) can be divided into three types. For the first type, the electrophysiological responses got the maximum value with the content of 2 $\mu\text{L/mL}$. For the second one, the electrophysiological responses to the same chemical compound differed among the developmental stages. And for the last type, the electrophysiological responses increased with the concentration of the compound. This paper reported the first study of the fecal extracts of *L. migratoria tibetensis*, however, further research is also needed to clarify the aggregation mechanism of this economically-important pest.

Key Words: *Locusta migratoria tibetensis* (Chen); aggregation pheromone; GC-MS; electrophysiological responses

西藏飞蝗 *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) 是青藏高原独有的飞蝗亚种, 分布在我国青海省南部、川西高原和西藏自治区, 主要危害青稞、玉米、小麦等禾本科作物及牧草等。它与东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilemsis* (Meyen)、亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria* (Linnaeus) 一起被称为我国的“三大飞蝗”^[1]。近年来西藏飞蝗在西藏、川西高原和青海玉树等地发生危害十分严重, 且有蔓延的趋势, 给当地的农牧业带来了严重的经济损失^[2]。自 1963 年陈永林订立西藏飞蝗亚种以来^[3], 我国对西藏飞蝗的研究主要集中在形态描述、生物学和生态学特性等方面^[4-8]。如李庆等对西藏飞蝗生活史、抗寒性、产卵习性以及西藏飞蝗对温度和紫外辐射的适应机制进行了研究^[4-7], 杨群芳等对西藏飞蝗的食性进行了研究^[8]。

由于西藏飞蝗主要滋生于偏远民族地区, 从高原藏族宗教文化和环境保护等方面考虑, 单靠化学方法来防治西藏飞蝗可行性低, 需要从生态治理等方面着手。利用信息化合物监测和防治广泛分布的蝗虫, 是可持续蝗灾治理的新理念^[9-11]。西藏飞蝗危害严重的主要原因之一在于其群集性。昆虫聚集信息素是由昆虫产生, 并且能够引起同种昆虫产生聚集行为反应的化学物质, 在昆虫群集中起着重要作用^[12]。关于蝗虫聚集信息素的研究报道多见于非洲飞蝗 *Locusta migratoria migratorioides* (Reiche&Fairmaire)^[13]、沙漠蝗 (*Schistocerca gregaria* (Forskål))^[13-14] 和东亚飞蝗^[15]。现已证明聚集信息素对于蝗虫的型变、群集起到主要的调节和控制作用。蝗虫聚集信息素可存在于粪便、卵囊、虫体及泡沫等部位^[16-22]。不同种类蝗虫聚集信息素组分和含量存在差异, 同种蝗虫不同发育阶段、不同性别之间也存在差异。Torto 等人证实沙漠蝗聚集信息素表现出明显的阶段性差异和性别差异, 其体表分泌 2 种不同聚集信息素: 一类由蝗蛹释放只对蝗蛹作用, 另一类由成蝗释放且只对成蝗作用, 且两类信息素的成分不尽相同^[18-19]。Njagi 等研究表明散居型沙漠蝗聚集信息素中缺少群居型主要的苯乙腈, 并且群居型雄成虫聚集信息素在维持种群聚集及使散居型向群居型转变过程中起着重要作用^[20]。石旺鹏等^[23-24]和郭志永等^[25]研究表明东亚飞蝗聚集信息素主要存在于粪便中, 其 5 龄蝗蛹与成虫之间、雌雄成虫之间的粪便挥发物化学组分基本相似, 但是各成分的组成比例存在差异, 而且包含多种电生理活性物质。Yu 等^[26]利用气相色谱技术证实东亚飞蝗成虫粪便挥发物中含有 30 多种化合物, 并通过质谱分析结果和保留时间鉴定出 9 种能够激起雄成虫触角电位反应的化合物。关于西藏飞蝗聚集信息素的研究国内外未见相关报道。本文采用自制 Y 型嗅觉仪、气质联用 (GC-MS) 和触角电位反应 (EAG) 等方法对西藏飞蝗虫粪粗提物进行了活性测定和成分分析, 以期为进一步研究西藏飞蝗聚集机制及利用聚集信息素对西藏飞蝗进行生态治理提供基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从四川甘孜州理塘县采回西藏飞蝗低龄蝗蛹 (群居型颜色为黑褐色至黑色, 散居型为草绿色), 在实验室用新鲜玉米叶 (雅玉二号) 饲养成生长情况一致的群居型和散居型蝗虫供试。饲养条件为温度 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 60%—70%, 光周期为 12/12 (L/D)。为了避免西藏飞蝗发生型变, 将群居型和散居型蝗蛹分别放在不同房间的人工气候箱中以 25 头/笼和 1 头/笼进行隔离饲养, 以获得群居型和散居型蝗虫。同时, 每天收集蝗虫粪便, 直到成虫 20d。将每天收集到的粪便清除干净杂质并用铝箔纸包好, 放入 -20°C 冰箱。供试前将

每一龄期粪便 5g/包混在一起。文中低龄蝗蛹指 1—2 龄蝗蛹,高龄蝗蛹指 3—5 龄蝗蛹。

1.2 试验方法

1.2.1 西藏飞蝗虫粪粗提物的制备

溶剂直接浸提法 取充分研磨的西藏飞蝗粪便 5g 置于 100mL 锥形瓶,加入 50mL 乙醇充分振荡,1h 后过滤得粗提物,将粗提物置于冰浴中经 N_2 浓缩后,置于 -20°C 冰箱保存待测。丙酮和二氯甲烷提取采用乙醇相同的方法,正己烷浸提需在 65°C 水浴中加热。

超声波提取法 取充分研磨的西藏飞蝗粪便 5g 置于 100mL 锥形瓶,加入 50mL 乙醇,用超声波细胞粉碎机处理 1h 后,过滤得粗提物,将粗提物置于冰浴中经 N_2 浓缩后,置于 -20°C 冰箱保存待测。

1.2.2 西藏飞蝗对其虫粪粗提物的行为反应

采用自制 Y 型嗅觉仪进行行为反应测定。Y 型嗅觉仪主管长 50cm,两侧臂分别长 30cm,内径 7cm,两臂夹角为 75° ,Y 型嗅觉仪两侧臂分别通过 Teflon 管与样品室连接,一个样品室内放入充分浸润西藏飞蝗虫粪粗提物的脱脂棉球,另一个样品室中放入充分浸润同体积提取溶剂的脱脂棉球作对照;采用大气采集仪抽气,使每侧臂气流速度均控制在 $250\text{mL}/\text{min}$ 。从 Y 型嗅觉仪主管末端接入西藏飞蝗试虫 1 头,每次观察 3min。如果试虫释放后在某一侧臂的前臂(即侧臂与气味源连接处的 $1/2$ 处)活动时间持续超过 1min,就记为试虫对该侧臂所连接的气源有趋向性;如果试虫释放后,在整个 3min 观察时间内,在任一侧臂的前臂均未持续活动超过 1min,就记为该试虫在整个试验中对气源无趋向性。

行为反应测定在温度 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的室内进行。每处理试虫 10 头,重复 3 次。每测试 2 头试虫时调换一下 Y 型管两侧臂的方向,以消除几何位置对试虫行为可能产生的影响。每处理测试完后,用 75% 的酒精清洗嗅觉仪,吹风机吹干,静置 30min 后再测定。

1.2.3 西藏飞蝗虫粪粗提物成分分析

利用气相色谱-质谱联用仪分析西藏飞蝗不同类型、性别、龄期粪便粗提物的成分。气相色谱条件:HP-5MS 石英毛细管柱 $(30\text{cm}\times 0.25\text{mm}\times 25\mu\text{m})$,无分流进样;载气:氦气(He);压力:20kPa。具体的升温程序:初始温度为 60°C ,保留 3min;然后以 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 80°C ,保留 3min;再以 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 180°C ,保留 1min;最后以 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 220°C ,保留 5min。进样口温度为 250°C ,GC-MS 接口温度为 270°C ,进样量 $2\mu\text{L}$ 。质谱条件:EI 离子源,离子源温度 150°C ,四极杆温度 230°C ,电离能为 70 eV,扫描范围 (m/z) 35—550amu,载气流速: $1\text{mL}/\text{min}$ 。用 WILEY 软件进行数据采集和分析,2min 后开始采集数据,所得质谱图直接与 WILEY 数据库检出的标准图谱进行对照,并通过查阅相关资料以确定其化学组分。

1.2.4 西藏飞蝗对人工合成化合物触角电位反应

试验时将西藏飞蝗触角沿基部切下,并将触角顶部切下 2—3mm,然后将基部置于参考电极,端部置于记录电极上。取一定量的化合物滴于 $2\text{cm}\times 0.5\text{cm}$ 的滤纸片上,并置于 $1000\mu\text{L}$ 移液枪头中。设定纯化空气流速为 $100\text{mL}/\text{min}$,样品刺激时间为 300ms,两次刺激间的时间间隔为 2min。试验所用触角电位仪由荷兰 Syntech 公司生产,测定所需软件也由该公司提供。

每处理测试触角 5 根,每根刺激 5 次。为消除触角适应所导致的偏差,测试前后均使用乙醇做空白对照,将每一样品测定值的平均数除以前后 2 次对照测定值的平均值即得 EAG 净反应值。

1.2.4 数据处理

应用 SPSS17.0 数据处理系统对数据进行方差分析和 Duncan 氏新复极差测验。

2 结果与分析

2.1 西藏飞蝗虫粪粗提物提取方法比较

西藏飞蝗散居型和群居型 4 龄蝗蛹对不同方法提取的虫粪粗提物的趋向率存在差异(图 1,图 2)。除群居型 4 龄蝗蛹对群居型高龄蝗蛹虫粪粗提物外,散居型和群居型 4 龄蝗蛹对不同来源虫粪粗提物的趋向率均表现为乙醇浸提法>丙酮浸提法>二氯甲烷浸提法>正己烷浸提法>乙醇超声波提取法。乙醇浸提法提取的虫

粪粗提物活性显著高于正己烷浸提法和乙醇超声波提取法。群居型 4 龄蝗蚬对群居型高龄蝗蚬乙醇超声波提取法的虫粪粗提物趋向率略高于正己烷浸提法,但两者之间无显著差异。因此,在五种方法中乙醇浸提法是提取西藏飞蝗虫粪粗提物的最佳方法,后续试验中虫粪粗提物均用该方法得到。

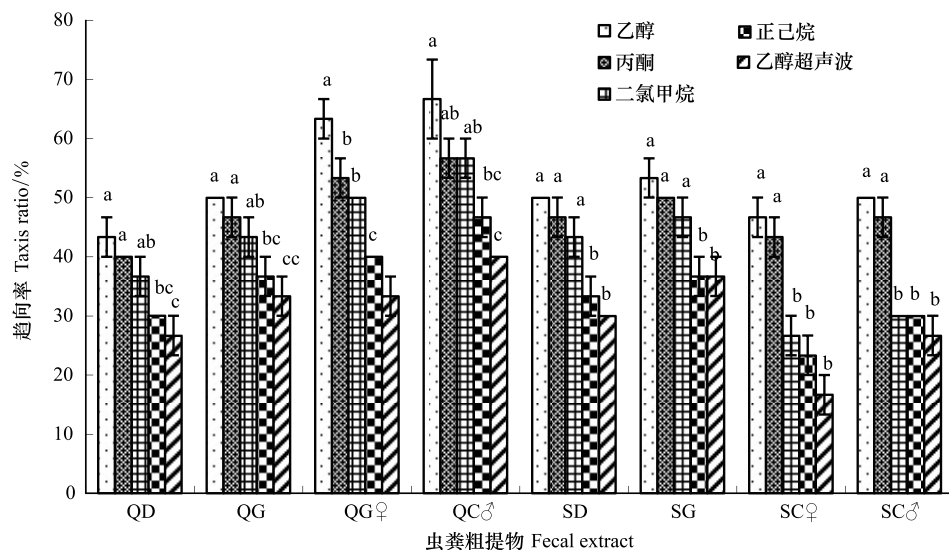


图 1 西藏飞蝗散居型 4 龄蝗蚬对不同虫粪粗提物的趋向率

Fig. 1 The taxis ratio of solitary 4th instars *L. migratoria tibetensis* Chen to different fecal extract

QD: 群居型低龄蝗蚬; QG: 群居型高龄蝗蚬; QC ♀: 群居型雌性成虫; QC ♂: 群居型雄性成虫; SD: 散居型低龄蝗蚬; SG: 散居型高龄蝗蚬; SC ♀: 散居型雌性成虫; SC ♂: 散居型雄性成虫。柱形条上的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

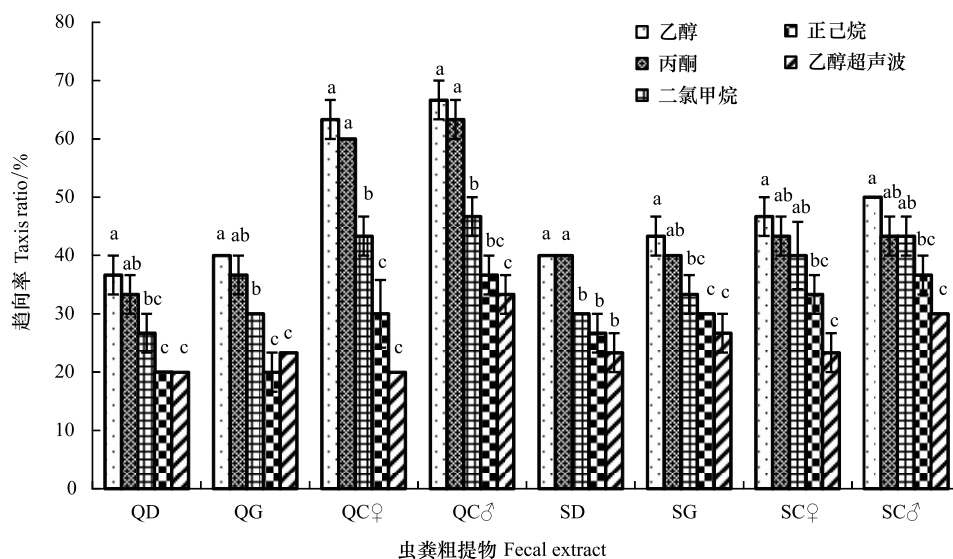


图 2 西藏飞蝗群居型 4 龄蝗蚬对不同虫粪粗提物的趋向率

Fig. 2 The taxis ratio of gregarious 4th instars *L. migratoria tibetensis* Chen to different fecal extract

2.2 西藏飞蝗对不同虫粪粗提物的行为反应

西藏飞蝗对其虫粪粗提物均有一定趋向性,但对不同虫态的虫粪粗提物趋向性存在显著差异(表 1)。其中,群居型雄成虫对其自身虫粪粗提物趋向率最高为 76.67%,而群居型 4 龄蝗蚬对群居型低龄蝗蚬的虫粪粗提物趋向率最低,仅为 36.67%。

西藏飞蝗各虫态对群居型成虫虫粪粗提物的趋向性明显高于对其他虫态虫粪粗提物的趋向性;且对群居型雄成虫虫粪粗提物的趋向性略高于群居性雌成虫,但对两者并无显著差异。各虫态对群居型高龄蝗蚬虫粪

粗提物的趋向性略高于低龄,但对两者并无显著差异。说明群居型西藏飞蝗虫粪粗提物活性随虫龄增加而增强。西藏飞蝗对散居型高龄蝗蛹的趋向性略高于低龄,对雄成虫的趋向性略高于雌成虫,但西藏飞蝗对散居型各虫态虫粪粗提物的趋向性之间无显著性差异。

各虫态西藏飞蝗对低龄蝗蛹虫粪粗提物的趋向性均较低,都小于或等于 50%;对成虫虫粪粗提物的趋向性无显著性差异。散居型蝗虫对蝗蛹虫粪粗提物的趋向性高于同虫态群居型蝗虫对蝗蛹虫粪粗提物的趋向性。除对散居型雄成虫虫粪粗提物外,雄成虫对同一虫粪粗提物的趋向性均高于雌成虫。

表 1 西藏飞蝗对不同虫粪粗提物的趋向率(%)
Table 1 The taxis ratio of *L. migratoria tibitensis* Chen to different fecal extract (%)

虫粪粗提物 Fecal extracts	试虫 Test insect					
	S4	SC ♀	SC ♂	Q4	QC ♀	QC ♂
QD	43.33 ± 3.33Cab	50.00 ± 0Ba	50.00 ± 0Ba	36.67 ± 3.33Cb	43.33 ± 3.33BCab	46.67 ± 3.33Ba
QG	50.00 ± 0BCab	53.33 ± 3.33Bab	56.67 ± 3.33Ba	40.00 ± 0BCc	46.67 ± 3.33BCbc	53.33 ± 3.33Bab
QC ♀	63.33 ± 3.33Aa	66.67 ± 3.33Aa	70.00 ± 0Aa	63.33 ± 3.33Aa	66.67 ± 3.33Aa	73.33 ± 3.33Aa
QC ♂	66.67 ± 6.67Aa	70 ± 5.77Aa	73.33 ± 3.33Aa	66.67 ± 3.33Aa	70.00 ± 0Aa	76.67 ± 3.33Aa
SD	50.00 ± 0BCa	46.67 ± 3.33Ba	50.00 ± 0Ba	40.00 ± 0BCb	40.00 ± 0Cb	46.67 ± 3.33Bb
SG	53.33 ± 5.77BCa	50.00 ± 0 Bab	53.33 ± 3.33Ba	43.33 ± 3.33BCb	43.33 ± 3.33BCb	50.00 ± 0Bab
SC ♀	46.67 ± 3.33Ca	50.00 ± 0 Ba	50.00 ± 0Ba	46.67 ± 3.33BCa	50.00 ± 0BCa	53.33 ± 3.33Ba
SC ♂	50.00 ± 0BCa	53.33 ± 3.33 Ba	50.00 ± 0Ba	50.00 ± 0BCa	53.33 ± 3.33Ba	53.33 ± 3.33Ba

表中数据为平均值±标准误; S4:散居型 4 龄蝗蛹; Q4:群居型 4 龄蝗蛹。表中数字旁标注的大写字母表示纵向比较,小写字母表示横向比较(Duncan 法);不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.3 西藏飞蝗不同虫态虫粪粗提物的成分分析

通过气质联用分析可知,不同虫态西藏飞蝗虫粪粗提物共含有 35 种化合物,主要包含烯烃、醇、醛、酮和酚类等(表 2)。不同虫态虫粪粗提物所含化合物数量及含量有所差别。雌性成蝗化合物种类最多,散居型蝗蛹化合物种类最少。从各化合物含量看,西藏飞蝗虫粪粗提物主要成份为环己醇、2,5-二甲基吡嗪、2,6,6-三甲基环己烯-1,4-二酮、壬醛、苯甲醛、(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇、3-苯基丁-2-醇和 2,2'-亚甲基双-(4-6-叔丁基苯酚)。另外,蝗蛹虫粪粗提物中(3β,5α)-2-亚甲基-3-胆甾烷醇含量远高于成蝗。

2.4 西藏飞蝗对人工合成化合物的触角电位反应

对西藏飞蝗虫粪粗提物中含量较高的化合物及与东亚飞蝗聚集信息素相同的化合物进行触角电位反应,结果见图 3。在 0.04—4μL/mL 浓度范围内,除对(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇触角电位反应不明显外,西藏飞蝗试虫对供试的人工合成化合物均有一定的电生理反应,其变化趋势大致可分为 3 类。第一类是苯甲醛、2,6,6-三甲基环己烯-1,4-二酮、4-(2,6,6-三甲基环己烯基)3-丁烯-2-酮、2,5-二甲基吡嗪和己醛。西藏飞蝗各虫态对浓度为 2μL/mL 和 4μL/mL 的各化合物触角电位反应值均高于对照,且对浓度为 2μL/mL 的各化合物触角电位反应值均最高。第二类是 2-己烯醛、环己醇、庚醛、苯甲醇、壬醛和癸醛等 6 种物质。在 0.04—4μL/mL 浓度范围,不同虫态西藏飞蝗对同一化合物的电生理反应变化趋势不一致。如散居型雌性成虫和散居型雄成虫对环己醇的电生理反应值随环己醇浓度增大而增强;但散居型和群居性蝗蛹对浓度为 4μL/mL 的环己醇电生理反应值低于 2μL/mL。第三类是 2,2'-亚甲基双-(4-6-叔丁基苯酚)、3-苯基丁-2-醇和 1-乙基-3-甲基环戊烯。西藏飞蝗各虫态对这 3 种化合物的电生理反应均显著高于对照,且随物质浓度增加,电生理反应值显著增加。就不同虫态西藏飞蝗对同一物质的反应值来看,总体呈现出散居型强于群居性、成虫强于若虫,雄性强于雌性的趋势。

3 讨论

本文表明溶剂浸提法获得的粗提物活性随提取溶剂极性增强而增强,乙醇浸提法获得的粗提物活性最强,丙酮次之。说明西藏飞蝗虫粪粗提物组分主要为高极性和中极性的物质,低极性的物质较少。超声波提取法在处理粪便的过程中由于温度上升或震动破坏了活性成分,故制备效果不理想。这与石旺鹏等的对东亚

飞蝗粪便聚集信息素提取方法的研究结果报道一致^[24]。

表2 GC-MS法鉴定的西藏飞蝗虫粪粗提物成分及相对含量

Table 2 Chemical compounds and relative content in fecal volatile of *L. migratoria tibitensis* Chen identified by GC-MS

化合物 Chemical compound	化合物相对含量 Relative content/%					
	QC ♀	QC ♂	Q4	SC ♀	SC ♂	S4
环丁烯 cyclohexene	2.29	1.81	1.53	1.91	2.24	2.17
3-甲基-1-乙基环戊烯 1-ethyl-3-methylcyclopent-1-ene	4.46	3.64	2.94	3.86	4.66	4.36
3-苯基丁-2-醇 3-phenylbutan-2-ol	9.58	8.36	8.95	7.58	8.88	7.61
1,3,5-环辛三烯(1Z,3Z,5Z)-cycloocta-1,3,5-triene	4.99	4.00	3.29	4.37	4.84	4.63
1-苯基-1-辛酮 1-phenyloctan-1-one	—	1.75	—	—	—	2.14
己醛 hexanal	1.78	0.88	1.17	1.44	1.57	1.16
4-甲基-2-乙基-1-戊醇 4-methyl-2-ethyl-pentan-1-ol	0.76	0.58	0.50	0.58	—	0.77
2-己烯醛(E)-hex-2-enal	3.25	2.32	1.83	2.78	2.87	2.75
环己醇 cyclohexanol	12.25	16.15	16.30	14.77	13.69	12.67
庚醛 heptanal	1.67	1.96	1.75	1.84	1.84	2.31
2,5-二甲基吡嗪 2,5-dimethyl pyrazine	8.59	10.57	10.24	11.59	10.65	10.86
苯甲醇 benzyl alcohol	0.17	0.32	0.20	0.22	0.32	0.53
苯甲醛 benzaldehyde	1.00	1.00	0.96	1.00	0.99	1.20
(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇 (E)-3,7,11,15-tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	8.49	14.98	7.66	6.24	7.65	8.30
1-二十烷醇 1-eicosanol	—	1.24	0.81	1.08	—	—
壬醛 nonanal	2.55	5.01	2.29	2.32	2.68	2.21
癸醛 decanal	0.31	0.49	0.55	0.58	0.51	0.42
2,6,6-三甲基环己烯-1,4-二酮 2,6,6-trimethyl-2-cyclohexene-1,4-dione	4.15	6.15	3.17	4.09	4.60	3.91
2-己基-1-癸醇 2-hexyl-1-decanol	—	—	—	0.87	—	—
十六烷酸 palmitic acid	—	3.27	5.03	3.85	3.62	6.34
顺式十八碳-9-烯酸 cis-9-Octadecenoic acid	1.16	—	0.24	0.15	0.28	—
十六酸异丙酯 isopropyl palmitate	2.34	—	—	1.33	—	—
2-十八烷氧基乙醇 2-octadecyloxyethanol	1.66	—	—	1.54	0.99	—
13-十七炔-1-醇 heptadec-13-yn-1-ol	1.18	—	2.91	0.70	1.99	2.44
5,8,11-二十碳三烯酸甲酯 methyl icoso-5,8,11-trienoate	3.70	—	—	—	—	—
(3β,5α)-2-亚甲基-3-胆甾烷醇(3β,5α)-2-methylenecholestan-3-ol	1.39	0.82	16.92	5.94	5.61	14.99
2-甲基-1-十六醇 2-methylhexadecan-1-ol	1.11	8.11	4.39	1.28	—	—
异戊酸香叶酯 geranyl isovalerate ester	1.78	0.36	1.57	2.53	2.88	—
2-十六烷醇 2-hexadecanol	1.88	0.15	—	—	—	—
(Z)-9-十八烯酸-十二烷基酯 n-lauryl oleate	—	—	—	2.13	0.88	—
4-(2,6,6-三甲基环己烯基)-3-丁烯-2-酮(E)-4-(2,6,6-trimethylcyclohex-1-en-1-yl)but-3-en-2-one	3.27	1.90	0.75	2.32	2.80	4.87
戊曲酯 valtrate	1.66	—	—	1.66	4.63	—
3,7,11-三甲基-1-十二烷醇 3,7,11-trimethyldodecan-1-ol	2.15	—	—	—	—	0.82
生育酚 tocopherol	2.42	—	—	—	—	—
2,2'-亚甲基双-(4-甲基-6-叔丁基苯酚) 2,2'-methylenebis(4-tert-butyl-4-methylphenol)	8.01	4.18	4.07	9.47	8.35	2.55

“—”表示未检测出该化合物

西藏飞蝗对不同虫粪粗提物的行为反应表明,西藏飞蝗虫粪粗提物活性随虫龄增加,群居型成虫虫粪粗提物活性最强,雄成虫虫粪粗提物活性高于雌成虫,推测成虫虫粪粗提物可能在维持种群聚集中起主要作用。本试验还发现散居型蝗虫对蝗蛹虫粪粗提物的趋向性高于群居型蝗虫对蝗蛹虫粪粗提物的趋向性。不同虫态西藏飞蝗对同一人工合成化合物的触角电位反应也总体呈现散居型强于群居型、成虫强于蝗蛹,雄性强于

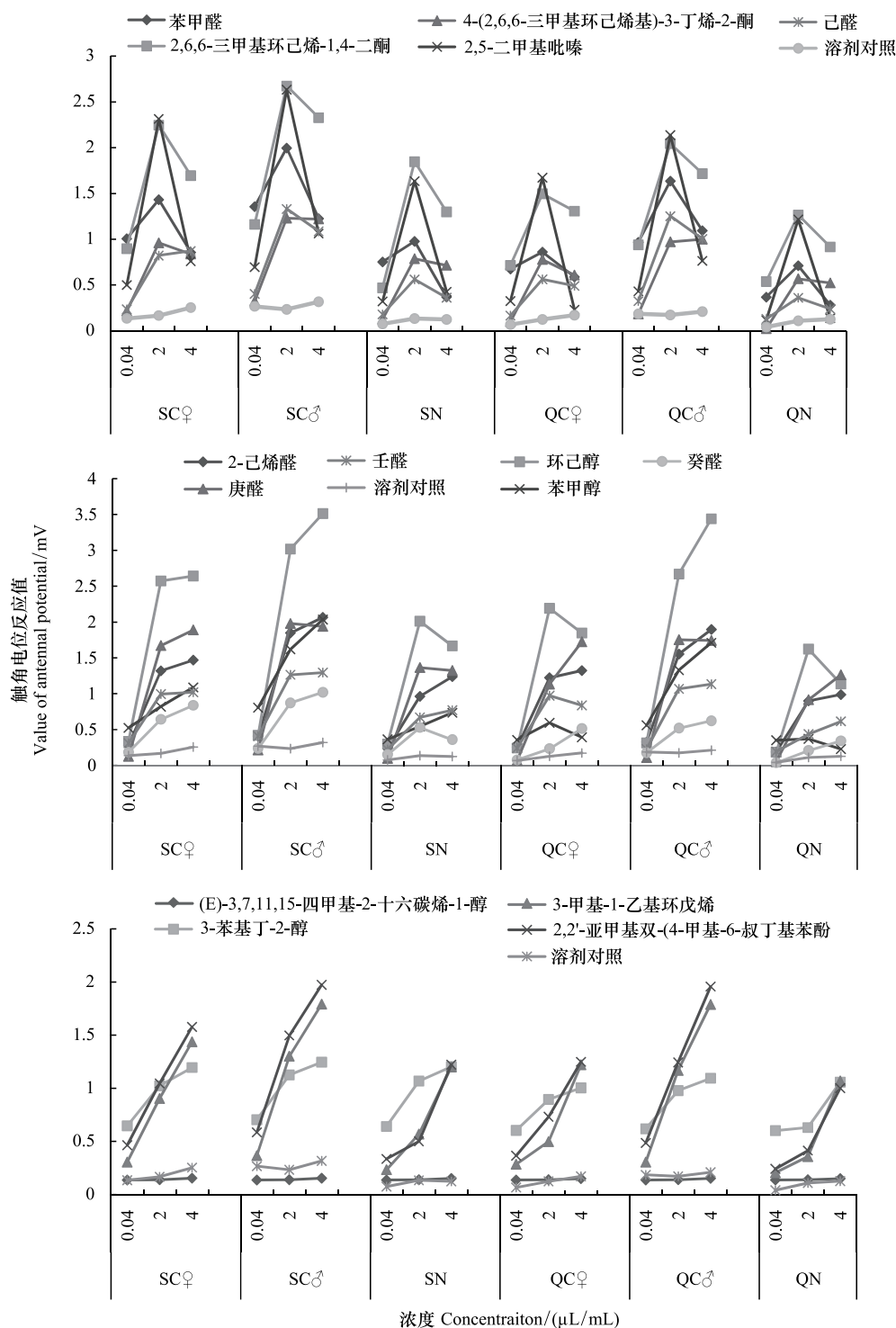


图3 西藏飞蝗对不同浓度人工合成聚集信息素单质的触角电位反应

Fig. 3 Electrophysiological responses of *L. migratoria tibitensis* Chen to different concentrations of synthetic active substance

雌性的趋势。一方面可能是由于散居型西藏飞蝗触角上感受器数量较群居型更多,对寄主植物、产卵场所等的感知和定位能力更强^[27];另一方面群居型蝗虫群集生活,对生活环境中的类似信息素存在一定的适应性,因而对聚集信息素的敏感性不及散居型蝗虫。

现有关于沙漠蝗、非洲飞蝗和东亚飞蝗聚集信息素成分研究表明蝗虫聚集信息素成份较为复杂。不同种类、同种不同生物型、不同性别、不同发育阶段聚集信息素成分及作用对象均表现出明显的差异^[18-19,28]。西藏

飞蝗成虫较蝗蝻虫粪粗提物中的化合物种类更多,表明随虫龄增长化合物种类增加。雌性可能由于生殖等原因,虫粪粗提物化学组分最多,具体是何原因还有待进一步深入研究。群居型和散居型成虫、蝗蝻虫粪粗提物中均有 11 种物质与东亚飞蝗聚集信息素一致,依次为己醛、2-己烯醛、环己醇、庚醛、2,5-二甲基吡嗪、苯甲醇、苯甲醛、壬醛、癸醛、2,6,6-三甲基环己烯-1,4-二酮和 4-(2,6,6-三甲基环己烯基)3-丁烯-2-酮,但是比例有所不同。西藏飞蝗虫粪粗提物中有些物质未曾在东亚飞蝗粪便挥发物中发现,如(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇、3-苯基丁-2-醇、1-乙基-3-甲基环戊烯和 2,2'-亚甲基双-(4-6-叔丁基苯酚)等。西藏飞蝗虫粪粗提物中未发现愈创木酚、邻二甲氧基苯和苯酚这 3 种沙漠蝗和非洲飞蝗聚集信息素中存在的化合物。这可能与西藏飞蝗和东亚飞蝗、非洲飞蝗等隶属不同亚种,且食物、生活条件不同有关。另外,本研究采用溶剂浸提法获得的虫粪粗提物中既含有挥发性成分,也具有非挥发性成分,这也是引起西藏飞蝗和其他飞蝗化合物不同的主要原因。因此,在后续研究中,需直接提取虫粪取挥发性成分做进一步研究。触角电位反应说明,虽然在西藏飞蝗各虫态粪便聚集信息素中(E)-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯-1-醇含量较高,但并无电生理活性。其余物质根据西藏飞蝗不同虫态对不同浓度的反应趋势大体可分为 3 类,说明不同活性成分作用浓度不同。各化合物最适浓度及不同化合物混合作用时,达到最大聚集活性的各成分比例,各成分含量还需进一步研究。在试验中还发现,蝗蝻虫粪粗提物中(3 β ,5 α)-2-亚甲基-3-胆甾烷醇含量远高于成蝗,由于未购得该成分人工合成化合物,并未对该化合物进行触角电位反应,该化合物含量在成若蝗中显著不同是否是引起成蝗和蝗蝻虫粪粗提物活性差异的主要原因还需进一步研究。

References:

- [1] Chen Y L. Locust and locust plague. *Bulletin of Biology*, 1991, 26(11): 9-12.
- [2] Chen Y L. The main achievements of research and control about migratory locust in China. *Entomological Knowledge*, 2000, 37(1): 55-59.
- [3] Chen Y L. A new subspecies of *Locusta migratoria*—Tibetan migratory locusta (*Locusta migratoria tibetensis* subsp. N.). *Acta Entomologica Sinica*, 1963, 12(4): 463-474.
- [4] Li Q, Feng C H, Zhang M, Jiang F, Yang G, Luo L M. The biological characteristics of *Locusta migratoria tibetensis*. *Entomological Knowledge*, 2007, 44(2): 210-213.
- [5] Li Q, Wang S Z, Feng C H, Zhang M, Jiang F, Yang G, Luo L M. The physiological and biochemical indexes of the cold-hardiness of *Locusta migratoria tibetensis* Chen. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1314-1320.
- [6] Li Q, Liao Z C, Yang G, Feng C H, Yang Q F, Luo H H, Jiang C X, Wang H J. Effect of vegetation and soil on oviposition of *Locusta migratoria tibetensis* Chen. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(4): 656-665.
- [7] Li Q, Wu L, Yang G, Kuang J K, Feng C H, Luo H H, Yang Q F, Jiang C X, Wang H J. Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of *Locusta migratoria tibetensis* Chen. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10): 3189-3197.
- [8] Yang Q F, Liao Z C, Li Q, Yang G, Feng C H, Jiang C X. Feeding habits and economic threshold of *Locusta migratoria tibetensis*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2008, 35(5): 399-404.
- [9] Yang Y H. Broadening the scope of biological control by alternatives towards the sustainable pest management. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41(suppl): 1-4.
- [10] Zhang L, Yan Y H. Some considerations on sustainable control over plague of locusts in China. *Acta Entomologica Sinica*, 2000, 43(suppl): 180-185.
- [11] Li J, Zhang L. An overview of locust pheromones. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48(4): 1046-1051.
- [12] Jiang Y, Lei C L, Zhang Z N. The aggregation pheromones of insects. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45(6): 822-832.
- [13] Niassy A, Torto B, Njagi P G N, Hassanali A, Obeng-Ofori D, Ayertery J N. Intra-and interspecific aggregation responses of *Locusta migratoria migratorioides* and *Schistocerca gregaria* and a comparison of their pheromone emissions. *Journal of Chemical Ecology*, 1999, 25: 1029-1042.
- [14] Bashir M O, Hassanali A. Novel cross-stage solitarising effect of gregarious-phase adult desert locust (*Schistocerca gregaria* (Forskål)) pheromone on hoppers. *Journal of Insect Physiology*, 2010, 56(6): 640-645.
- [15] Yu Y X, Cui X J, Jiang Q Y, Jin X, Guo Z Y, Zhao X B, Bi Y P, Zhang L. New isoforms of odorant-binding proteins and potential semiochemicals of locusts. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2007, 65(1): 39-49.
- [16] Obeng-Ofori D, Torte B, Njagi P G N, Hassanali A, Amiani Habert. Fecal volatiles as part of the aggregation pheromone complex of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forskål) (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20(8): 2077-2087.
- [17] Hassanali A, Torto B. Grasshoppers and locusts // Hardie J, Minks A K, eds. *Pheromones of non-Lepidopteran insects associated with agricultural plants*. Oxon: CABI Publishing, 1999: 305-328.
- [18] Torto B, Obeng-Ofori D, Njagi P G N, Hassanali A, Amiani H. Aggregation pheromone system of adult gregarious desert locust *Schistocerca gregaria*

- (Forsk.) (Orthoptera: Acrididae). Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(7): 1749-1762.
- [19] Torto B, Njagi P G N, Hassanali A. Aggregation pheromone system of nymphal gregarious desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.) (Orthoptera: Acrididae). Journal of Chemical Ecology, 1996, 22(12): 2273-2281.
- [20] Njagi P G N, Torto B, Obeng-Ofori D, Hassanali A. Phase-independent responses to phase-specific aggregation pheromone in adult desert locusts, *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae). Physiological Entomology, 1996, 21(2): 131-137.
- [21] Rai M M, Hassanali A, Saini R K, Odongo H, Kahoro H. Identification of components of the oviposition aggregation pheromone of the gregarious desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.). Journal of Insect Physiology, 1997, 43(1): 83-87.
- [22] McCaffery A R, Simpson S J, Islam M, Roessingh P. A gregarising factor present in the egg pod foam of the desert locust *Schistocerca gregaria*. Journal of Experimental Biology, 1998, 201: 347-363.
- [23] Shi W P, Yang Y Y, Zhang L, Wang X D. Attraction of fecal volatile of Oriental migratory locust for the aggregation of its nymphs. Journal of China Agricultural University, 2005, 5(5): 54-58.
- [24] Shi W P, Yan Y Y, Yan Y H. EAG responses of oriental migratory locust to semiochemicals from different sources of the insect. Entomological Knowledge, 2003, 40(2): 145-149.
- [25] Guo Z Y, Shi W P, Zhang L, Wang G L. Behavioral and morphological indices for phase transformation of oriental migratory locust *Locusta migratoria manilensis*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 859-862.
- [26] Yu Y X, Cui X J, Jiang Q Y, Jin X, Guo Z Y, Zhao X B, Bi Y P, Zhang L. New isoforms of odorant-binding proteins and potential semiochemicals of locusts. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2007, 65(1): 39-49.
- [27] Li Y L, Li Q, Kuang J K, Yang G, Feng C H, Luo H H. Observation of antennal sensilla of *Locusta migratoria tibetensis* with scanning electron microscope. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(4): 872-876.
- [28] Ferenz H J, Seidelmann K. Pheromones in relation to aggregation and reproduction in desert locusts. Physiological Entomology, 2003, 28(1): 11-18.

参考文献:

- [1] 陈永林. 蝗虫和蝗灾. 生物学通报, 1991, 26(11): 9-12.
- [2] 陈永林. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就. 昆虫知识, 2000, 37(1): 55-59.
- [3] 陈永林. 飞蝗新亚种——西藏飞蝗 *Locusta migratoria tibetensis* subsp. N. 昆虫学报, 1963, 12(4): 463-474.
- [4] 李庆, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗的生物学特性. 昆虫知识, 2007, 44(2): 210-213.
- [5] 李庆, 王思忠, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗 (*Locusta migratoria tibetensis* Chen) 耐寒性理化指标. 生态学报, 2008, 28(3): 1314-1320.
- [6] 李庆, 廖志昌, 杨刚, 封传红, 杨群芳, 罗怀海, 蒋春先, 王海建. 植被及土壤对西藏飞蝗产卵的影响. 中国农业科学, 2012, 45(4): 656-665.
- [7] 李庆, 吴蕾, 杨刚, 匡健康, 封传红, 罗怀海, 杨群芳, 蒋春先, 王海建. 温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响. 生态学报, 2012, 32(10): 1-9.
- [8] 杨群芳, 廖志昌, 李庆, 杨刚, 封传红, 蒋春先. 西藏飞蝗食性及其防治指标. 植物保护学报, 2008, 35(5): 399-404.
- [9] 严毓骅. 试论拓宽生物防治范围发展虫害可持续治理. 昆虫学报, 1998, 41(增刊): 1-4.
- [10] 张龙, 严毓骅. 持续治理飞蝗灾害的新对策. 昆虫学报, 2000, 43(增刊): 180-185.
- [11] 李嘉, 张龙. 飞蝗及沙漠蝗信息素概述. 应用昆虫学报, 2011, 48(4): 1046-1051.
- [12] 姜勇, 雷朝亮, 张钟宁. 昆虫聚集信息素. 昆虫学报, 2002, 45(6): 822-832.
- [23] 石旺鹏, 严毓骅, 张龙, 王旭东. 东亚飞蝗粪便挥发物对其蝗蝻的聚集作用初报. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 54-58.
- [24] 石旺鹏, 闫跃英, 严毓骅. 东亚飞蝗不同来源聚集信息素的电生理活性. 昆虫知识, 2003, 40(2): 145-150.
- [25] 郭志永, 石旺鹏, 张龙, 王贵龙. 东亚飞蝗行为和形态型变的判定指标. 应用生态学报, 2004, 15(5): 859-862.
- [27] 李彝利, 李庆, 匡健康, 杨刚, 封传红, 罗怀海. 西藏飞蝗触角感器的扫描电镜观察. 应用昆虫学报, 2011, (48)4: 872-876.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 骆世明

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 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元