

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

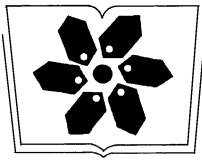
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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 15 期

2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201205060652

刘伟, 门丽娜, 刘新民. 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响. 生态学报, 2013, 33(15): 4724-4736.

Liu W, Men L N, Liu X M. Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4724-4736.

内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响

刘 伟^{1, 2}, 门丽娜³, 刘新民^{4, *}

(1. 中国科学院动物研究所动物进化与系统学重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 4. 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022)

摘要: 2006 年 5—9 月, 诱捕法采集粪金龟子, 以农田为对照, 选择内蒙古武川县不同农田退耕管理方式为研究样地, 分析了农田退耕后采取不同管理方式对粪金龟子群落的影响, 以为农田退耕还草管理措施生态效应的评价和完善提供依据。共捕获粪金龟子 21671 头, 隶属于 3 科 5 属 25 种。优势种为直蜉金龟 (*Aphodius rectus*) 和蜉金龟属 (*Aphodius* sp. 7), 占总捕获量的比例分别为 59.34% 和 11.71%。几种退耕管理方式都导致粪金龟子群落物种丰富度、生物量和多度提高, 且具有显著的季节特征。Pearson 相关分析表明, 粪金龟子群落的物种丰富度、生物量和种数以及不同功能群和主要种的个体数与退耕年限、平均草高和植物群落盖度的变化存在显著正相关关系 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$)。由于长期农业耕作以及缺少大型食草动物和较大面积放牧草地, 研究地区的粪金龟子群落组成以功能群 II 和 III 为主, 功能群 I 的多度和物种丰度较低。可以认为, 在研究地区以农田景观为主要基质的区域, 采取多样化的农田退耕管理方式, 提高了生境的空间异质性, 在减少人为耕作活动对粪金龟子影响的基础上, 对粪金龟子物种丰度和多度的维持起到了促进作用。农田退耕、保留适当面积放牧草地或适当数量大型放牧家畜将有利于功能群 I 物种丰度和多度的提高, 有益于粪金龟子群落物种多样性和整体生态功能的维持。

关键词: 粪金龟子; 群落特征; 功能群; 退耕还草; 农牧交错带

Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China

LIU Wei^{1, 2}, MEN Lina³, LIU Xinmin^{4, *}

1 CAS Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Institute of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

4 College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

Abstract: Excessive farming has intensified wind erosion desertification; this has become a very important factor having serious impact on local economic development and ecological conditions in northern China. This also poses a serious threat to the ecological status of the inland areas of China. In the view of their low tolerance for environmental change, complex community composition, and sensitivity to artificial disturbance, dung beetles can be used to reflect or monitor environmental changes. For anthropogenic or natural environmental changes, plant and mammal community composition are factors that are easily changeable. The abundance and species composition of dung beetle communities in an area can quickly reflect changes to the environment. For the farming-pastoral ecotone, restoring cropland to grassland is an effective way to prevent wind erosion desertification and to recover grassland functions to check wind and prevent sand drifting. From May to September 2006, different methods of restoring grassland from cropland were used in sample plots, such as planting

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40761016); 内蒙古自然科学基金资助项目 (20067010506, 2010MS0519)

收稿日期: 2012-05-06; **修订日期:** 2012-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Liuxm6596671@163.com

Medicago sativa, planting *M. sativa* + *Artemisia* sp., planting *Helianthus tuberosus*, planting *H. tuberosus* + *Artemisia* sp., abandoning cropland, and using existing cropland as a control; the effects of these grassland restoration treatments on dung beetle assemblages were analyzed. The results of such studies potentially could provide the basis for evaluating the ecological effects of such grassland restoration, assist in the perfecting of grassland restoration techniques, and provide information related to the conservation of dung beetle biodiversity in the study region. The pitfall trap method was used for collecting dung beetles. Plastic buckets (25 cm in diameter at the top and 1000 mL in volume) were used for traps and buried in the soil with the top of the trap at ground level. The traps contained 250 mL water, an adequate amount of liquid detergent and insecticide. A nylon bag with 250 g of fresh horse dung was suspended over the top of the trap by iron wire. We set up five traps, spaced 2 m apart in the geographic center of each plot. In each sampling period the traps were set up between 8:00—9:00 a. m. After 5 hours, trapped dung beetles were collected. We randomly captured a total of 21,671 dung beetles, belonging to three families, five genera and 25 species. The dominant species were *Aphodius rectus* and *Aphodius* sp. 7, which made up 59.34% and 11.71% of the total collected beetles, respectively. All tested grassland restoration measures increased species richness, biomass and the abundance of the dung beetle assemblage, in a seasonally dependent way. We observed a positive correlation between the length of rehabilitation period, average grass height and plant community cover of plots with the species richness, biomass, and abundance of dung beetle assemblages, as well as with the abundance of the main species and functional groups of the dung beetle assemblage ($P < 0.01$ or $P < 0.05$). Because of long-term agricultural cultivation, a lack of large herbivores and the recent use of larger paddocks than in the past, the species richness and abundance of functional group I (i. e. larger paracoprids and telocoprids) were lower than in functional groups II and III. The functional group II (relative smaller paracoprids) and III (endocoprids) were the main components of the dung beetle assemblage in the study region. In summary, our results indicate the several methods of restoring cropland to grassland tested could promote the spatial heterogeneity of the farming landscape. Restoration of cropland to grassland, reasonable use of paddocks or using appropriate stocking levels when grazing livestock could be beneficial to enhancing and maintaining the species richness and abundance of functional group I, as well as the biodiversity and overall ecological function of the dung beetle assemblage.

Key Words: dung beetles; community features; functional groups; restoring cropland to grassland; farming-pastoral ecotone

在中国北方农牧交错带,由于过度农耕导致的风蚀荒漠化除对当地经济和生态造成严重影响外,还对中国内陆地区的生态状况构成了严重威胁。退耕还林还草是防止风蚀荒漠化、恢复农牧交错带防风固沙功能的有效措施。从土壤、植被、动物和生态系统功能变化等方面研究农田退耕还林还草的生态效应,是评价和完善退耕还林还草措施的关键环节。

粪金龟子主要包括粪金龟科(Geotrupidae)、金龟科(Scarabaeidae)和蜣金龟科(Aphodiidae)中的种类,它们以哺乳动物粪为食^[1],或把哺乳动物粪作为繁殖活动的场所^[2-4]。通过取食和活动过程中对哺乳动物粪的处理,粪金龟子体现出包括促进生态系统养分循环、协助植物种子二次扩散和放牧牲畜寄生虫控制等一系列生态系统功能^[5],在保持生态系统完整性方面有重要作用^[5-6]。鉴于粪金龟子对环境变化的较窄耐性、群落结构的复杂性和对环境扰动的敏感性^[5],可以用来表征或监测环境的变化,是检验人为干扰与生物群落结构之间关系的一类较好指示生物^[7-8]。粪金龟子对生境的选择主要受气候、土壤类型、植被结构和哺乳动物组成等因素的影响^[9-11]。在自然或人为扰动导致的环境变化中,植被结构和哺乳动物组成属于易变因素^[12-13],粪金龟子的个体数和物种组成对该类环境变化会产生快速而显著的响应^[14-16]。

内蒙古武川县位于阴山北麓,原地带性植被为暖温带草原,在长期的人类垦殖下,现已演替为以农业为主、农牧交错的景观格局,是全国风蚀沙化重点县之一,自实施退耕还林还草工程以来,环境状况有了较明显

改善。已有的有关研究主要集中于对退耕还林还草措施与植被和土壤变化^[17-18]之间关系的分析等方面,针对农田退耕还林还草后动物群落反应的研究则相对缺乏^[19]。本文以内蒙古武川县境内的退耕还草地为研究样地,探讨了农田退耕后采取不同管理方式粪金龟子群落特征的变化,以期为退耕还草工作的实践提供基础资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

研究地点位于乌兰察布高原境内,高原海拔 1000—1500 m,属中温带大陆性季风气候区,南部是阴山北麓的山前丘陵,丘陵以北为地势平缓的凹陷地带,农业较发达。由此向北成为石质丘陵隆起带,后过渡为逐级下降的层状高原地区,地形平坦,地面组成物质主要为第三纪泥质、沙砾质岩层,为荒漠草原占优势的自然景观,并与西部的荒漠群落斑块相结合,占据草原向荒漠过渡的居间位置。

武川县位于乌兰察布高原南端,阴山北麓,境内地形以山地为主。三面环山,中部和北部为坡状低山丘陵,河谷盆洼地相错其间,平均海拔约 1700 m,相对高差 100 m 以下,坡度 5°以下。四季分明,夏短冬长。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温 2516.2 $^{\circ}\text{C}$ 。无霜期约 105 d。日照充足。县境内以农耕活动为主,农作物主要为小麦(*Triticum aestivum* L.)、燕麦(*Avena sativa* L.)和马铃薯(*Solanum tuberosum* L.),无大群放牧牲畜和大面积放牧草地,小群绵羊或山羊(大多<100 头)在无耕作的坡地和撂荒地中放牧,个别农户饲养用以农耕的少量马匹。

1.2 样地设置

在内蒙古武川县东土城乡和西乌兰不浪乡境内,选择农田(Cropland; CL)、退耕种植紫花苜蓿(Planting *Medicago sativa*; PM)、退耕种植紫花苜蓿+蒿属植物(Planting *Medicago sativa* + *Artemisia* sp.; PMA)、退耕种植菊芋(Planting *Helianthus tuberosus*; PH)、退耕种植菊芋+蒿属植物(Planting *Helianthus tuberosus* + *Artemisia* sp.; PHA)和撂荒地(Abandoning cropland; AC)6 种类型样地。每种样地面积大于 100 m $\times$ 200 m。6 种样地包含 3 种土地管理方式,即耕作、退耕还草和撂荒,除耕作农田有施肥管理外,其他管理方式均无施肥。各样地土壤均为栗钙土。由于退耕后管理方式、退耕年限和小环境的差异,各样地在土壤养分含量和植物群落特征等方面有了明显差别(表 1)。

表 1 样地背景资料

Table 1 Background data of sampling plots

样地 Plots	退耕年限 Rehabilitating years/a	土壤有机质 Organic matter /(mg/kg)	土壤全氮 Total N/ (mg/kg)	土壤全磷 Total P/ (mg/kg)	土壤全钾 Total K/ (mg/kg)	土壤速效氮 Available N/ (mg/kg)	土壤速效磷 Available P/ (mg/kg)	土壤速效钾 Available K/ (mg/kg)	平均草高 Average grass height /cm	植物群落盖度 Plant community cover/%
CL	—	1187.0b	515.0c	9.1a	140.2a	19.8c	2.9a	33.3a	43	57
PM	6	2145.1a	100.0a	7.9a	118.9a	27.3b	2.6a	51.8a	54	83
PMA	6	814.2b	86.5ab	7.0ab	157.7a	27.1b	1.5a	50.0a	62	87
PH	6	1297.3ab	85.6ab	7.8a	134.7a	22.6c	2.4a	47.9a	27	62
PHA	3	1519.6ab	73.4bc	4.8b	145.3a	35.5a	1.6a	57.4a	34	71
AC	10	903.9b	67.1bc	8.0a	149.6a	23.8c	2.9a	34.7a	12	23

CL:农田 Cropland; PM:退耕种植紫花苜蓿 Planting *Medicago sativa*; PMA:退耕种植紫花苜蓿+蒿属植物 Planting *Medicago sativa* + *Artemisia* sp.; PH:退耕种植菊芋 Planting *Helianthus tuberosus*; PHA:退耕种植菊芋+蒿属植物 Planting *Helianthus tuberosus* + *Artemisia* sp.; AC:撂荒地 Abandoning cropland; 同列字母不同表示样地间差异显著(Duncan 氏检验, $P < 0.05$)

1.3 采样方法

2006 年 5、6、7、8 和 9 月每月下旬,以诱捕法采集粪金龟子标本,诱捕器为体积约 1000 mL 的塑料桶,桶口直径约 25 cm,将诱捕器埋入土中,桶口与地面平齐,桶中装入约 250 mL 水,加入适量洗洁精和杀虫剂。收集哺乳动物(马)新鲜粪便,称约 250 g,装入适当大小尼龙网袋中,将尼龙网袋悬挂在桶口。每次在每样地中心

地段设置 5 个诱捕器,诱捕器之间间隔约 2 m。相距最近样地的采样点之间的距离大于 100 m。每次采样时,诱捕器布置在 8:00—9:00 am 完成,5 h 后收集落入诱捕器的所有粪金龟子标本,称生物量鲜重,75% 酒精中保存,实验室内依据有关文献^[20-21]进行分类、鉴定,以形态种(Morphospecies)表示无法确定种类的粪金龟子。

1.4 数据处理

统计各样地中捕获的粪金龟子种数和个体数,测定生物量(以风干重计),所得数据做正态检验和对数转换。个体数占群落总个体数 10% 以上的粪金龟子为优势种,1%—10% 为常见种,低于 1% 为稀少种。用双因素方差分析(two-way ANOVA)检验不同采样时间、不同样地之间以及两者交互作用对粪金龟子群落个体数、生物量和种数以及粪金龟子种个体数的影响。用 Duncan 氏检验检验以上指标在样地之间的显著差异。采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(E)和 Odum 丰富度指数(D_o)^[22]计算各样地的粪金龟子群落多样性和季节变化。计算不同样地、不同采样时间粪金龟子群落之间的 Sorensen 指数^[22],并以个体数为属性,对粪金龟子群落进行 DCA 排序分析。依据粪金龟子的体型、体重和在牲畜粪块中的活动特征划分粪金龟子功能群^[23]。采用 Pearson 相关分析检验粪金龟子群落个体数、生物量、种数和功能群以及粪金龟子种个体数与农田退耕还草导致的环境因素变化之间的相关关系。

数据的计算和分析在 Excel 2003、SPSS 11.5 和 Canoco 4.5 中完成。

2 研究结果

2.1 不同退耕还草方式对粪金龟子群落结构的影响

共设置诱捕器 150 个,捕获粪金龟子 21671 头,隶属于 3 科、5 属、25 种(表 2)。其中,优势种为直蜉金龟(*Aphodius rectus*)和蜉金龟属(*Aphodius* sp. 7),占总捕获量的比例分别为 59.34% 和 11.71%;甫拉蜉金龟(*Aphodius praeustus*)、小驼喻蛱螂(*Onthophagus gibbulus*)、游荡蜉金龟(*Aphodius erraticus*)和黑缘喻蛱螂(*Onthophagus marginalis nigrimargo*)为常见种,占总捕获量的比例分别为 8.61%、8.43%、5.08% 和 1.17%;其余 19 种为稀少种,合计占总捕获量的比例为 5.66%。

以农田为对照,不同退耕还草管理下粪金龟子群落优势种构成发生了变化(表 2)。农田中为直蜉金龟(占总个体数的比例为 57.59%)、甫拉蜉金龟(16.54%)和蜉金龟属 *Aphodius* sp. 7(14.27%);退耕后种植紫花苜蓿(PM)和紫花苜蓿+蒿属植物(PMA)样地中均为直蜉金龟(PM, 63.31%; PMA, 62.40%) and 蜉金龟属 sp. 7(PM, 14.80%; PMA, 14.78%);退耕后种植菊芋(PH)样地中为直蜉金龟(69.43%)和甫拉蜉金龟(11.28%);退耕后种植菊芋+蒿属植物(PHA)和撂荒地(AC)样地中均为 3 种,分别为直蜉金龟(46.11%)、游荡蜉金龟(34.88%)和小驼喻蛱螂(11.35%)以及直蜉金龟(46.17%)、小驼喻蛱螂(22.84%)和蜉金龟属 *Aphodius* sp. 7(10.27%)。

合并全年采样数据计算的结果,农田退耕后采取不同管理方式,粪金龟子群落的个体数、生物量无显著变化(表 2; $P>0.05$),仅退耕后种植菊芋+蒿属植物(PHA)样地中粪金龟子群落种数较农田显著降低(Duncan 氏检验; $P<0.05$)。

双因素方差分析(Two-way ANOVA)表明,采样时间、退耕管理方式以及两者交互作用对粪金龟子群落个体数、生物量和种数等 3 项指标均有极显著影响($P<0.01$),且各采样时间 3 项指标对农田退耕还草的响应明显不同(图 1)。粪金龟子群落个体数分别在退耕种植菊芋+蒿属植物(PHA)(5 月)以及退耕种植紫花苜蓿(PM)和退耕种植紫花苜蓿+蒿属植物(PMA)(9 月)中较农田显著提高(Duncan 氏检验; $P<0.05$)。生物量则在 5 种退耕还草管理样地中均较农田有显著提高(Duncan 氏检验; $P<0.05$)。不同样地出现时间不同,农田撂荒(AC)为 5、8 和 9 月,退耕种植菊芋(PH)为 7 和 8 月、退耕种植菊芋+蒿属植物(PHA)为 7 月、退耕种植紫花苜蓿(PM)为 8 和 9 月,退耕种植紫花苜蓿+蒿属植物(PMA)为 9 月。种数仅退耕种植紫花苜蓿(PM)(5 和 6 月)和农田撂荒(AC)(5 月)中较农田显著提高。

2.2 退耕还草对粪金龟子群落多样性和相似性的影响

以 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(E)和 Odum 丰富度指数(D_o)计算了不同退耕还

草管理方式对粪金龟子群落多样性的影响(表3)。农田撂荒(AC)管理,粪金龟子群落3种指数均高于农田;Pielou 均匀度指数仅在退耕后种植菊芋+蒿属植物(PHA)管理下较农田高;而 Odum 丰富度指数则表现为退耕种植菊芋(PH)和退耕种植紫花苜蓿(PM)2种管理下较农田提高。

表2 内蒙古武川县不同退耕还草方式对粪金龟子群落结构的影响

Table 2 The influences of different management methods of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan county, Inner Mongolia

物种 Species	CL	PM	PMA	PH	PHA	AC	合计 Total
粪堆粪金龟 <i>Geotrupes stercorarius</i>	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01
中华喻蛭螂 <i>Onthophagus sinicus</i>	0.49	0.91	1.47	0.51	0.54	1.07	0.89
小驼喻蛭螂 <i>Onthophagus gibbulus</i>	3.55	5.59	8.25	3.88	11.35	22.84	8.43
双顶喻蛭螂 <i>Onthophagus bivertex</i>	0.46	0.75	0.59	0.30	2.84	0.39	0.71
墨侧裸蛭螂 <i>Gymnopleurus mopsus</i>	0.00	0.07	0.11	0.00	0.00	0.10	0.06
立叉喻蛭螂 <i>Onthophagus olsoufieffi</i>	0.19	0.04	1.90	0.54	0.18	2.23	0.84
黑缘喻蛭螂 <i>Onthophagus marginalis nigrimargo</i>	0.66	0.91	0.84	0.6	1.81	3.00	1.17
皱蜉金龟属 <i>Rhyssemus</i> sp.	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
直蜉金龟 <i>Aphodius rectus</i>	57.59	63.31	62.4	69.43	46.11	46.17	59.34
游荡蜉金龟 <i>Aphodius erraticus</i>	3.30	2.38	1.00	3.07	34.88	4.01	5.08
血斑蜉金龟 <i>Aphodius haemorrhoidalis</i>	0.00	0.00	0.00	0.03	0.18	0.00	0.02
污色蜉金龟 <i>Aphodius sordidus</i>	0.08	0.13	0.11	0.12	0.06	0.06	0.1
泥蜉金龟 <i>Aphodius sordescens</i>	1.15	1.13	0.11	1.64	0.00	0.23	0.79
毛蜉金龟 <i>Aphodius scofa</i>	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01
黄缘蜉金龟 <i>Aphodius flavimargo</i>	0.00	0.56	0.05	0.03	0.00	2.75	0.55
甫拉蜉金龟 <i>Aphodius praeustus</i>	16.54	6.79	7.53	11.28	0.48	5.46	8.61
符号蜉金龟 <i>Aphodius comma</i>	0.57	1.75	0.50	0.42	0.00	1.10	0.86
布尔蜉金龟 <i>Aphodius burgaltaicus</i>	0.00	0.20	0.07	0.09	0.06	0.06	0.09
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.02
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 2	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 4	0.03	0.02	0.00	0.09	0.24	0.00	0.04
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 5	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.13	0.15
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 6	1.04	0.13	0.27	1.49	0.00	0.03	0.50
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 7	14.27	14.8	14.78	6.42	1.03	10.27	11.71
个体数 Number of individuals	146.6a	219.8a	176.4a	134.0a	66.3a	123.8a	21671
生物量 Biomass/mg	2321a	4380a	4001a	2223a	2171a	4593a	—
种数 Species number	4.2 ab	5.4 a	4.4 ab	3.6 ab	3.3 b	4.5 ab	25.0

表中粪金龟子数据为个体数优势度(%) ($n=30$); 粪金龟子群落个体数、生物量和种数数据为每诱捕器平均值($n=30$); 同行字母不同表示样地间差异显著(Duncan 氏检验, $P<0.05$)

表3 内蒙古武川县不同退耕还草管理方式对粪金龟子群落物种多样性的影响

Table 3 Effects of different management methods of restoring cropland to grassland on the biodiversity of dung beetle assemblages in Wuchuan county, Inner Mongolia

多样性指数 Biodiversity index	CL	PM	PMA	PH	PHA	AC
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.3629	1.3467	1.3055	1.1951	1.3069	1.6724
均匀度指数 Pielou index	0.4910	0.4500	0.4729	0.4082	0.4962	0.5680
丰富度指数 Odum index	1.9488	2.3229	1.9070	2.3399	1.8893	2.3632

农田退耕还草对粪金龟子群落多样性季节动态的影响似无明显规律(图2),不同退耕还草管理方式下粪

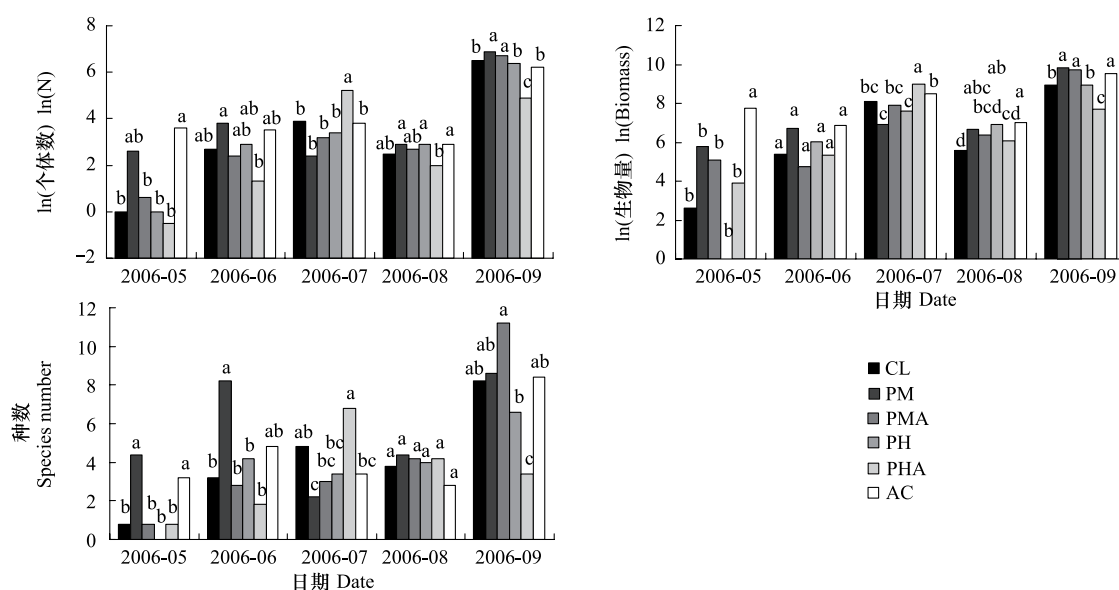


图1 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落个体数、生物量和种数的影响

Fig.1 Effects of restoring cropland to grassland on the number of individuals, biomass and species number of dung beetle assemblage in Wuchuan county, Inner Mongolia

金龟子群落多样性的动态变化形式大体相似。但以下几点值得注意:①农田中粪金龟子群落的 Shannon-Wiener 多样性指数在季节之间变化较小,不同退耕还草管理方式下则变化较大;②与其他采样时间比,2006 年 7 月农田中粪金龟子群落的 Pielou 均匀度指数(E)和 Odum 丰富度指数(D_o)分别较高和较低,但不同退耕还草管理样地 2 种指数则分别低于和高于农田。③总体看,2006 年 5 月不同样地 3 种粪金龟子群落多样性指数之间差别较大,特别是退耕种植菊芋(PH)样地,5 月 3 种指数值均为 0.0000,即该次采样未捕获粪金龟子。

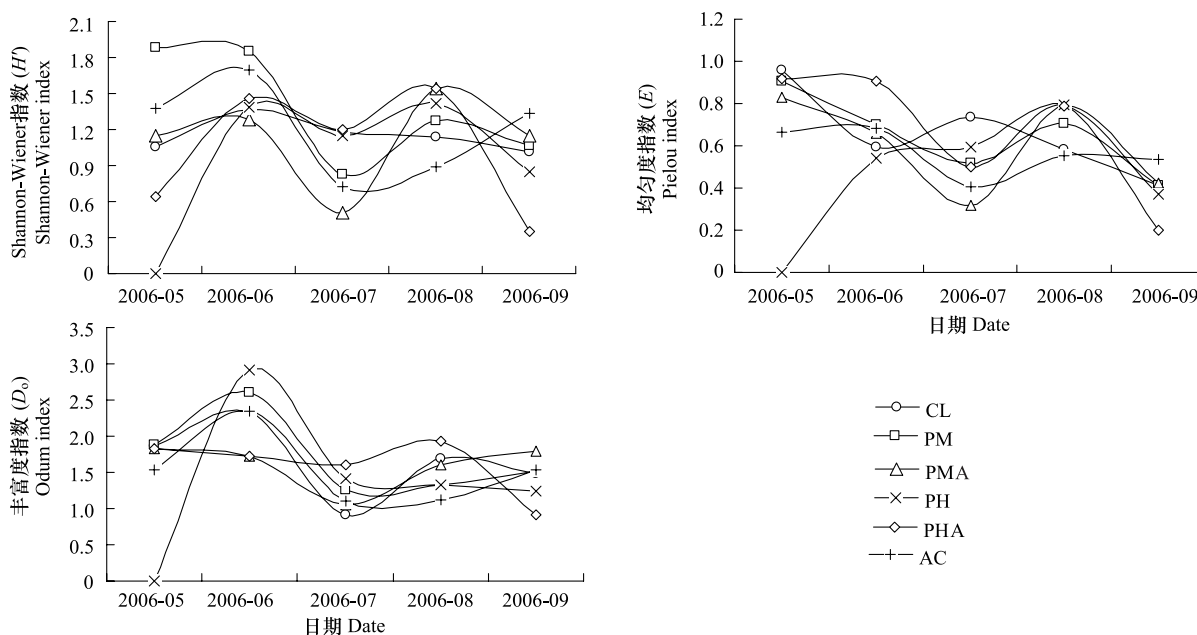


图2 内蒙古武川县不同退耕还草管理下粪金龟群落多样性的季节变化

Fig. 2 Seasonal change of biodiversity of dung beetle assemblages under the conditions of different management methods of restoring cropland to grassland in Wuchuan county, Inner Mongolia

以上计算结果表明,本研究涉及的几种农田退耕还草管理方式中,仅农田撂荒导致粪金龟子群落多样性有较明显的提高;其他管理方式样地尽管在一定程度上可以提高粪金龟子群落个体数、生物量和种数(见上文分析),但群落的3种多样性指数基本均较低,即从群落中物种的配置关系、物种在群落中分布的均匀程度考虑,均未达到较适宜程度。这与研究地区大型土壤动物群落对退耕还草的响应特征^[19]基本一致,可能与退耕时间短、不同样地人为扰动程度不同有关。

图3是对6个样地、5次采样获得的30个粪金龟子群落的DCA排序结果。可以看出,30个群落基本成为5个集团,即不同样地、相同采样时间的粪金龟子群落之间具有较高的相似性,或粪金龟子群落组成在季节之间变化较大;5月和6月,各样地之间粪金龟子群落的相似性程度分别表现为较低(Sorensen指数值介于0.0000—0.5714之间)和较高(0.3529—0.7272);5月和6月退耕种植菊芋+蒿属植物(PHA)样地中的粪金龟子群落与同季节其他样地的相似程度极低;夏秋季(即7、8和9月)各样地之间粪金龟子群落的相似性程度则基本相近。退耕种植菊芋(PH)样地在5月采样时未获得粪金龟子标本,在排序图中没有显示。

2.3 退耕还草后导致功能群的变化

依照粪金龟子的体型、体重和在牲畜粪块中的活动特征,将研究地区的粪金龟子划分为4个功能群。划分结果见表4。

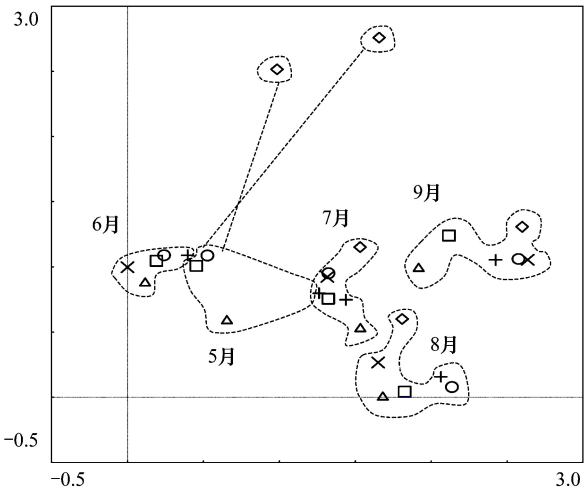


图3 不同采样时间、不同退耕还草管理方式下粪金龟子群落的DCA排序分析

Fig. 3 DCA for dung beetle assemblages in different sampling seasons and different management methods of restoring cropland to grassland in Wuchuan county, Inner Mongolia

○:CL;□:PM;△:PMA;×:PH;◇:PHA;+:AC

表4 粪金龟子功能群划分

Table 4 Classification of functional groups of dung beetles

功能群 Functional group	体长/mm Body length	体重/mg Body weight	行为特征 Behavioral characters	物种 Species	种数 Species number
I	18.0—28.0	>300	掘洞型或滚粪球型	粪堆粪金龟 <i>Geotrupes stercorarius</i> , 墨侧裸蜣螂 <i>Gymnopleurus mopsus</i>	2
II	9.0—18.0	30—300	掘洞型或粪居型	中华喙蜣螂 <i>Onthophagus sinicus</i> , 小驼喙蜣螂 <i>Onthophagus gibbulus</i> , 双顶喙蜣螂 <i>Onthophagus bivertex</i> , 立叉喙蜣螂 <i>Onthophagus olsoufieffi</i> , 黑缘喙蜣螂 <i>Onthophagus marginalis nigrimargo</i> , 游荡蜣金龟 <i>Aphodius erraticus</i>	6
III	5.0—9.0	10—30	粪居型	直蜣金龟 <i>Aphodius rectus</i> , 血斑蜣金龟 <i>Aphodius haemorrhoidalis</i> , 污色蜣金龟 <i>Aphodius sordidus</i> , 泥蜣金龟 <i>Aphodius sordescens</i> , 黄缘蜣金龟 <i>Aphodius flavimargo</i> , 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 1, 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 2, 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 3, 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 4, 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 5, 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 6, 蜣金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 7	12
IV	<5.0	<10	粪居型	毛蜣金龟 <i>Aphodius scofa</i> , 甫拉蜣金龟 <i>Aphodius praeustus</i> , 符号蜣金龟 <i>Aphodius comma</i> , 布尔蜣金龟 <i>Aphodius burgaltaicus</i> , 皱蜣金龟属 <i>Rhyssenus</i> sp.	5

体重以烘干重计(65℃)

表 5 为不同退耕还草管理措施对粪金龟子功能群个体数和种数的影响。总体看,研究地区的粪金龟子群落以功能群 II、III 为主,功能群 I 的个体数和种数均较低;各功能群在发生上有明显的季节性,不同退耕还草管理措施对各功能群个体数的影响较显著,对种数影响较小。

表 5 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落功能群的影响

Table 5 Effects of different management methods of restoring cropland to grassland on the functional groups of dung beetles in Wuchuan county, Inner Mongolia

年-月 Year-Month	功能群 Functional group	个体数 Number of individuals					
		CL	PM	PMA	PH	PHA	AC
2006-05	I	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a
	II	0.8b	8.8ab	1.4b	0.0b	0.6b	30.0a
	III	0.0b	1.8a	0.0b	0.0b	0.0b	1.0ab
	IV	0.2ab	3.4ab	0.4b	0.0b	0.0b	4.8a
2006-06	I	0.0b	1.0a	0.0b	0.2b	0.0b	0.0b
	II	1.8a	6.6a	6.4a	1.4a	2.2a	11.8a
	III	8.8a	18.4a	1.0a	12.4a	1.4a	19.2a
	IV	4.2b	18.0a	4.0b	3.4b	0.0b	3.0b
2006-07	I	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.6a
	II	48.0b	10.6c	24.0bc	28.2bc	155.4a	46.2b
	III	0.0a	0.0a	0.0a	0.4a	29.6a	0.0a
	IV	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.8a	0.0b
2006-08	I	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a
	II	3.6c	9.0ab	10.2ab	12.4a	6.2bc	10.0ab
	III	0.2a	0.0a	0.4a	0.0a	0.4a	0.0a
	IV	8.6ab	9.2a	5.0ab	5.8ab	1.0b	7.8ab
2006-09	I	0.0b	0.0b	1.0a	0.0b	0.0b	0.0b
	II	9.2c	81.2b	82.0b	17.6c	6.6c	109.6a
	III	534.4bc	865.4a	684.2ab	518.2bc	127.2d	349.4cd
	IV	113.0a	65.4ab	62.0ab	70.0ab	0.0c	25.6bc
年-月 Year-Month	功能群 Functional group	种数 Species number					
		CL	PM	PMA	PH	PHA	AC
2006-05	I	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a
	II	0.6bc	2.6a	0.6bc	0.0c	0.4bc	2.0ab
	III	0.0b	0.6a	0.0b	0.0b	0.0b	0.4ab
	IV	0.2bc	1.2a	0.2bc	0.0c	0.0c	0.8ab
2006-06	I	0.0b	0.6a	0.0b	0.2b	0.0b	0.0b
	II	1.0a	2.8a	1.2a	1.2a	1.2a	2.2a
	III	1.2b	3.2a	0.6b	1.8ab	0.6b	1.8ab
	IV	1.0ab	1.6a	1.0ab	1.0ab	0.0b	0.8ab
2006-07	I	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.4a
	II	4.8a	1.6c	3.0bc	3.0bc	4.6ab	3.0bc
	III	0.0b	0.0b	0.0b	0.4b	1.6a	0.0b
	IV	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.6a	0.0b
2006-08	I	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a	0.0a
	II	2.2a	3.0a	3.0a	2.8a	3.0a	1.8a
	III	0.2a	0.0a	0.4a	0.0a	0.4a	0.0a
	IV	1.4a	1.0a	0.8a	1.2a	0.8a	1.0a
2006-09	I	0.0b	0.0b	0.8a	0.0b	0.0b	0.0b
	II	4.4ab	4.4ab	5.8a	3.6bc	2.0c	4.8ab
	III	2.6ab	3.2a	3.2a	2.2ab	1.4b	2.6ab
	IV	1.2a	1.0a	1.4a	0.8a	0.0b	1.0a

表中数据为每诱捕器平均值($n=5$);同行字母不同表示样地间差异显著(Duncan 氏检验, $P<0.05$)

功能群 I 由粪堆粪金龟和墨侧裸蜣螂构成, 体型较大, 发生程度较低; 且仅在个别样地的个别采样时间捕获少量个体; 不同退耕还草管理方式对功能群 I 的个体数和种数均无显著影响。功能群 II 体型较功能群 I 小, 由 5 种喙蜣螂和 1 种蜉金龟构成, 掘洞型生活习性, 全年发生; 2006 年 8 和 9 月, 功能群 II 个体数在退耕种植紫花苜蓿 (PM) 和种植紫花苜蓿+蒿属植物 (PMA) 以及撂荒 (AC) 样地中较农田显著提高 ($P<0.05$); 此外, 2006 年 5 和 7 月, 功能群 II 个体数分别在撂荒 (AC) 和退耕种植菊芋+蒿属植物 (PHA) 样地中较农田显著提高 ($P<0.05$)。功能群 III 包括 12 种体型相对较大的粪居型蜉金龟, 主要发生在秋季; 其个体数仅退耕种植紫花苜蓿 (PM) 样地较农田显著提高 ($P<0.05$), 其他管理方式有降低趋势。功能群 IV 由 5 种体型相对较小的蜉金龟组成, 均为粪居型, 同样发生在秋季; 2006 年 5 和 6 月, 其个体数分别在退耕种植紫花苜蓿 (PM) 和撂荒 (AC) 样地中较农田显著提高 ($P<0.05$)。

2.4 粪金龟子群落与环境因素变化相关分析

计算了农田退耕还草导致的 7 种环境因素变化与粪金龟子群落之间的 Pearson 相关系数 (表 6)。结果表明, 与粪金龟子群落个体数、生物量和种数有显著正相关关系的环境因素是平均草高和土壤全磷 ($r>0$; $P<0.01$ 或 $P<0.05$), 退耕年限与粪金龟子群落生物量呈显著正相关 ($r=0.456$; $P<0.05$)。

表 6 内蒙古武川县粪金龟子群落与环境因素变化的 Pearson 相关系数 (r)

Table 6 Pearson coefficient (r) of correlation analysis between dung beetle assemblage and changes of environmental factors in Wuchuan county, Inner Mongolia

粪金龟子 Dung beetle	退耕年限 Rehabilitating years	平均草高 Average grass height	植物群落盖度 Plant community cover	土壤有机质 Organic matter	土壤全氮 Total N	土壤全磷 Total P	土壤全钾 Total K
粪金龟子群落 Dung beetle assemblage							
个体数 Number of individuals		0.484 **				0.481 **	
生物量 Biomass	0.456 *	0.357 *				0.359 *	
种数 Species number		0.361 *				0.448 *	
功能群 Functional group							
I		0.515 **	0.403 *	-0.414 *			0.499 **
II	0.764 **				-0.425 *		
III		0.509 **	0.373 *			0.431 *	-0.358 *
IV					0.509 **	0.556 **	
物种 Species							
小驼喙蜣螂 <i>Onthophagus gibbulus</i>	0.795 **				-0.485 **		
双顶喙蜣螂 <i>Onthophagus bivertex</i>		0.541 *	0.567 **		-0.510 *	-0.592 **	
立叉喙蜣螂 <i>Onthophagus olsoufieffi</i>	0.688 **			-0.797 **	-0.515 *		0.711 **
黑缘喙蜣螂 <i>Onthophagus marginalis nigrimargo</i>	0.708 **				-0.442 *		
直蜉金龟 <i>Aphodius rectus</i>		0.457 *	0.423 *				-0.413 *
游荡蜉金龟 <i>Aphodius erraticus</i>	0.473 **			0.531 **	-0.397 *		-0.474 *
甫拉蜉金龟 <i>Aphodius praeustus</i>	-0.560 **				0.461 *		
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 7		0.632 **	0.441 *			0.396 *	

表中仅列出了与环境因素变化有显著相关关系的粪金龟子群落指标、功能群和粪金龟子种; “*” 显著相关 ($P<0.05$), “**” 极显著相关 ($P<0.01$)

功能群 I 与平均草高、植物群落盖度、土壤有机质和土壤全钾的变化显著相关; 其中, 除与土壤有机质为显著负相关外 ($r=-0.414$; $P<0.05$), 与其余 3 种因素间均为显著正相关 ($r>0$; $P<0.01$ 或 $P<0.05$)。功能群 II 与退耕年限 ($r=0.764$; $P<0.01$) 和土壤全氮 ($r=-0.425$; $P<0.05$) 的变化显著相关。功能群 III 与平均草高、植物群落盖度、土壤全磷和土壤全钾的变化显著相关; 其中, 除与土壤全钾为显著负相关 ($r=-0.358$; $P<$

0.05)外,与其余3种因素间均为显著正相关($r>0$; $P<0.01$ 或 $P<0.05$)。功能群Ⅳ与土壤全氮和土壤全磷有极显著正相关关系(r 分别为 0.509 和 0.556; $P<0.01$)。

退耕年限与5种粪金龟子(小驼嗡蛱螂、立叉嗡蛱螂、黑缘嗡蛱螂、游荡蜉金龟和甫拉蜉金龟)的个体数间极显著相关;除与甫拉蜉金龟为极显著负相关($r=-0.560$; $P<0.01$)外,与其余4种之间均为极显著正相关($r>0$; $P<0.01$)。土壤全氮变化与6种粪金龟子(小驼嗡蛱螂、双顶嗡蛱螂、立叉嗡蛱螂、黑缘嗡蛱螂、游荡蜉金龟和甫拉蜉金龟)个体数间显著相关;与退耕年限的情况基本相反,除了与甫拉蜉金龟为显著正相关($r>0$; $P<0.01$)外,与其余5种粪金龟子之间均为显著负相关($r<0$; $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。平均草高、植物群落盖度与双顶嗡蛱螂、直蜉金龟和蜉金龟属 *Aphodius* sp. 7 之间显著相关($r>0$; $P<0.05$ 或 $P<0.01$);土壤全钾与双顶嗡蛱螂、直蜉金龟和甫拉蜉金龟之间显著相关($r<0$; $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

在 Pearson 相关分析中,退耕年限、平均草高和植物群落盖度与粪金龟子群落各项指标之间的关系是值得注意的,在有显著相关关系的指标中,均显示为正相关。

2.5 粪金龟子群落主要种对农田退耕还草的响应

从表7可以看出,研究地区粪金龟子群落的6个优势种(见前文分析)中,直蜉金龟的个体数在不同样地之间无显著差异($P>0.05$);农田退耕后种植菊芋+蒿属植物(PHA)导致甫拉蜉金龟个体数较农田中降低($P<0.05$);小驼嗡蛱螂和黑缘嗡蛱螂个体数则在撂荒(AC)地中较农田中显著提高($P<0.05$)。游荡蜉金龟和蜉金龟属 *Aphodius* sp. 7 个体数分别在退耕种植菊芋+蒿属植物(PHA)和种植紫花苜蓿(PM)中较农田显著提高($P<0.05$)。

另外,有8个常见种在不同退耕还草管理样地之间有显著差异(表7)。其中,符号蜉金龟、布尔蜉金龟、中华嗡蛱螂和立叉嗡蛱螂个体数在退耕种植紫花苜蓿(PM)和种植紫花苜蓿+蒿属植物(PMA)样地中较农田中显著提高($P<0.05$);立叉嗡蛱螂和黄缘蜉金龟在撂荒地(AC)中显著提高($P<0.05$);双顶嗡蛱螂和血斑蜉金龟则在退耕种植菊芋+蒿属植物(PHA)中显著提高($P<0.05$)。皱蜉金龟属 *Rhyssesus* sp. 仅在农田中分布。退耕种植菊芋(PH)样地中无粪金龟子个体数较农田显著提高。

表7 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落主要种个体数的影响

Table 7 Effects of different management methods of restoring cropland to grassland on the individual number of main dung beetles in Wuchuan county, Inner Mongolia

物种 Species	CL	PM	PMA	PH	PHA	AC
直蜉金龟 <i>Aphodius rectus</i>	84.40a	139.16a	110.08a	93.04a	31.83a	57.16a
甫拉蜉金龟 <i>Aphodius praeustus</i>	24.24a	14.92ab	13.28ab	15.12ab	0.32b	6.76ab
小驼嗡蛱螂 <i>Onthophagus gibbulus</i>	5.20b	12.28b	14.56b	5.20b	7.52b	28.28a
黑缘嗡蛱螂 <i>Onthophagus marginalis nigrimargo</i>	0.96b	2.00b	1.48b	0.80b	1.28b	3.72a
游荡蜉金龟 <i>Aphodius erraticus</i>	4.84b	5.24b	1.76b	4.12b	23.12a	4.96b
蜉金龟属 <i>Aphodius</i> sp. 7	20.92ab	34.64a	26.08ab	8.60ab	0.68b	12.72ab
符号蜉金龟 <i>Aphodius comma</i>	0.84b	3.84a	0.88b	0.56b	0.00b	1.36ab
布尔蜉金龟 <i>Aphodius burgaltaicus</i>	0.00b	0.44a	0.12b	0.12b	0.04b	0.08b
中华嗡蛱螂 <i>Onthophagus sinicus</i>	0.72bc	2.00ab	2.60a	0.68bc	0.36c	1.32abc
立叉嗡蛱螂 <i>Onthophagus olsoufieffi</i>	0.28b	0.08b	3.36a	0.72b	0.12b	2.76a
黄缘蜉金龟 <i>Aphodius flavimargo</i>	0.00b	1.24ab	0.08b	0.04b	0.00b	3.40a
双顶嗡蛱螂 <i>Onthophagus bivertex</i>	0.68ab	1.64ab	1.04ab	0.40b	1.92a	0.48b
血斑蜉金龟 <i>Aphodius haemorrhoidalis</i>	0.00b	0.00b	0.00b	0.04ab	0.12a	0.00b
皱蜉金龟属 <i>Rhyssesus</i> sp.	0.08a	0.00b	0.00b	0.00b	0.00b	0.00b

表中数据为每诱捕器捕获的粪金龟子个体数的平均值($n=30$);同行字母不同表示样地间差异显著(Duncan 氏检验, $P<0.05$)

3 讨论

粪金龟子主要依赖哺乳动物粪生存,其群落组成受哺乳动物群落(包括粪类型、性质和可获得性)和环境

特征(植被、土壤和气候)的影响。长期的农业耕作活动使研究地区由地带性暖温带草原为主转变为农牧复合景观已经有较长历史,本文涉及的几种研究样地处于该地区农耕活动频繁、较少有大群放牧家畜和大面积放牧草地的区域,是与临近放牧生态系统(内蒙古荒漠草原和典型草原)的主要区别之处。从研究结果看,本研究地区粪金龟子群落的物种丰度与内蒙古荒漠草原^[24]和典型草原^[25]相差不大;较为显著的区别在于物种组成方面,比较值得注意的是符号蜉金龟 *Appodius comma* 和蜉金龟属 *Aphodius* sp. 7,前者在荒漠草原和典型草原中为粪金龟子群落的优势种,在本研究中则为常见种;而后者正相反。这显然与 2 种蜉金龟的生活习性有关。

与人工管理的退耕还草样地比较,农田中频繁的耕作扰动、土壤表层结构的改变^[26-30]、施肥和喷洒农药等改变了土壤动物的生存环境,干扰其生长发育^[31],从而使农田生境大型土壤动物个体数和类群数处于较低水平^[19]。对于粪金龟子,人为管理的退耕还草样地与耕作农田在粪资源的可获得性方面基本类似,植物群落和土壤特征在样地之间的明显变化(表 1)是影响粪金龟子群落的主要因素。从本文的研究结果看,合并全年采样数据计算时,不同管理方式样地之间粪金龟子群落多度、生物量和丰度以及群落多样性差异不大,各样地粪金龟子的物种组成具有较高的相似性;但在不同采样季节,样地之间粪金龟子群落的以上指标则存在显著差别。显然,这与温带地区明显的季相变化以及与之密切相关的粪金龟子发生的显著季节性特征有关;也与季相变化不明显的热带地区粪金龟子群落对人为扰动的响应特征明显不同^[32-34]。即合并全年数据计算在一定程度上掩盖了粪金龟子群落各项指标的季节变化。以季节动态的角度看,本文涉及的几种农田退耕管理方式均使粪金龟子群落的多度、生物量和丰度有所提高,仅不同管理方式提高的季节不同。可以认为,几种农田退耕还草管理方式对粪金龟子群落的保护均是有益的。

本研究的几种样地中的粪金龟子群落具有基本相似的物种丰度(依据合并全年数据的计算结果),且与临近的荒漠草原和典型草原生境具有基本相似的群落组成格局,这显然与粪金龟子较强的移动性^[33]、几种生境处于同一气候区有关。不同退耕还草管理主要导致其中粪金龟子群落在物种组成和多度方面的显著变化,尤其是粪金龟子群落的主要种(表 6),并且具有显著的季节特征。类似的研究结果还见于 Jay-Robert 等^[35]、Lumaret 等^[36]和 Numa 等^[37]的有关研究。农田退耕还草导致了多种环境因素的显著变化(表 1),从粪金龟子群落与退耕年限、平均草高和植物群落盖度的显著正相关不难推测,退耕种植紫花苜蓿(PM)或紫花苜蓿+蒿属植物(PMA)对维持粪金龟子群落的物种多样性是有益的;因为,两种退耕管理方式样地较其他退耕样地有较高的平均草高和植物群落盖度。

在长期的进化中,不同粪金龟子种形成了各自独特的对环境的适应对策,尤其是对哺乳动物粪的利用特征。一般来说,大型滚粪球型粪金龟子受耕作活动的影响相对较大^[12, 38],对人为活动导致的环境因素变化(如粪的可获得性^[15]和土壤紧实度^[39])更加敏感。从个体数和生物量角度看,掘洞型蜉金龟构成的功能群Ⅱ的个体数虽然不是本研究地区 4 个粪金龟子功能群中最高的,但有相对较高的生物量,粪居型蜉金龟构成的功能群Ⅲ的个体数在 4 个功能群中是最高的,两个功能群在本研究地区的粪金龟子群落中占有重要地位;功能群Ⅰ(即大型掘洞型和大型滚粪球型粪金龟子)的物种丰度和多度较低是本研究地区粪金龟子群落的显著特征,显然与研究地区缺少大型食草动物和长期农耕活动的影响密切相关,这与临近荒漠草原^[24]和典型草原^[25]有较明显区别,更有别于热带地区的粪金龟子群落^[33-34]。不同粪金龟子功能群具有不同生态系统功能,对于以农牧交错为基本特征的地区,维持粪金龟子各功能群适当的物种丰度和多度对整个地区生物多样性的维护、生态系统功能完整性的维持是有重要意义的。有观点认为,传统的放牧生态系统是粪金龟子多样性维持的重要途径^[40],因为,可以保持植被组成的空间异质性、生境的开放性以及放牧家畜为粪金龟子提供食物资源^[35, 37, 40]。因此,农田退耕后采取不同管理方式以提高生境的空间异质性、保留适当面积放牧草地和适当数量大型食草动物放牧,将有利于农牧交错区粪金龟子群落多样性的提高和其生态系统功能的维持。

References:

- [1] Halffter G, Edmonds W D. The Nesting Behavior of Dung Beetles (Scarabaeinae): An Ecological and Evolutive Approach. México DF: Instituto

- de Ecología, 1982; 242-242.
- [2] Halffter G, Matthews E G. The Natural History of Dung Beetles of the Subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). México DF: Sociedad Mexicana de Entomología, 1966; 1-312.
- [3] Halffter G. Evolution of nidification in the Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). Quaestiones Entomologicae, 1977, 13: 231-253.
- [4] Liu X M, Yang J. The development of the ecological study on soil Lamellicornia beetles (Coleoptera: Scarabaeoidea). Journal of Inner Mongolia Normal University: Natural Science Edition, 2004, 33(2): 188-194.
- [5] Nichols E, Spector S, Louzada J, Larsen T, Amezcua S, Favila M E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. Biological Conservation, 2008, 141(6): 1461-1474.
- [6] Slade E M, Mann D J, Villanueva J F, Lewis O T. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. Journal of Animal Ecology, 2007, 76(6): 1094-1104.
- [7] Davis A L V, Scholtz C H, Dooley P W, Bham N, Kryger U. Scarabaeine dung beetles as indicators of biodiversity, habitat transformation and pest control chemicals in agro-ecosystems. South African Journal of Science, 2004, 100(9/10): 415-424.
- [8] Spector S. Scarabaeinae dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): an invertebrate focal taxon for biodiversity research and conservation. Coleopterists Bulletin, 2006, 60: 71-83.
- [9] Davis A L V. Habitat associations in a South African, summer rainfall, dung beetle community (Coleoptera: Scarabaeidae, Aphodiidae, Staphylinidae, Histeridae, Hydrophilidae). Pedobiologia, 1996, 40: 260-280.
- [10] Escobar F. Diversity and composition of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages in a heterogeneous Andean landscape. Tropical Zoology, 2004, 17(1): 123-136.
- [11] Davis A L V, Scholtz C H, Deschodt C. Multi-scale determinants of dung beetle assemblage structure across abiotic gradients of the Kalahari-Nama Karoo ecotone, South Africa. Journal of Biogeography, 2008, 35(8): 1465-1480.
- [12] Jankielsohn A, Scholtz C H, Louw S V D M. Effect of habitat transformation on dung beetle assemblages: a comparison between a South African nature reserve and neighboring farms. Environmental Entomology, 2001, 30(3): 474-483.
- [13] Verdú J R, Moreno C E, Sánchez-Rojas G, Numa C, Galante E, Halffter G. Grazing promotes dung beetle diversity in the xeric landscape of a Mexican Biosphere Reserve. Biological Conservation, 2007, 140(3/4): 308-317.
- [14] Escobar F, Halffter G, Arellano L. From forest to pasture: an evaluation of the influence of environment and biogeography on the structure of dung beetle (Scarabaeinae) assemblages along three altitudinal gradients in the Neotropical region. Ecography, 2007, 30(2): 193-208.
- [15] Nichols E, Larsen T, Spector S, Davis A L, Escobar F, Favila M, Vulinec K, The Scarabaeinae Research Network. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: a quantitative literature review and meta-analysis. Biological Conservation, 2007, 137(1): 1-19.
- [16] Jacobs C T, Scholtz C H, Esderico F, Davis A L V. How might intensification of farming influence dung beetle diversity (Coleoptera: Scarabaeidae) in Maputo Special Reserve (Mozambique)? Journal of Insect Conservation, 2010, 14(4): 389-399.
- [17] He W Q, Zhao C X, Gao W S, Chen Y Q, Qin H L, Fan X R. Main affecting factors of soil wind erosion under different land use patterns: a case study in Wuchuan County, Inner Mongolia. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2092-2096.
- [18] Yang S, Wen Y J, Liu H Y. Ecological effects of mandatory conversion of marginal farmland to forestland and grassland in central Inner Mongolia. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(4): 143-149.
- [19] Liu X M, Men L N. Effects of grassland restoration from cropland on soil macrofaunal community in Wuchuan County, Inner Mongolia. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(8): 1965-1972.
- [20] Liu G R, Zhang Y W, Wang R. The Colour Illustrated of Common Lamellicornia beetles of Northern China. Beijing: China Forestry Press, 1997: 1-106.
- [21] Balthasar V. Monographie der Scarabaeidae und Aphodiidae der Palaearktischen und Orientalischen Region. Czechoslovakia: Der Tschechlowakischen Akademie der Wissenschaften, Band 3. 1964: 1-652.
- [22] Qian Y Q, Ma K P. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141-165.
- [23] Liu X M. Influence of grazing activity on dung beetle assemblages in a typical steppe in Inner Mongolia. Acta Entomologica Sinica, 2011, 20(8): 1965-1972.
- [24] Liu X M, Hai Y. Dung beetle species composition and decomposition function in horse dung in desert steppe of Inner Mongolia. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(10): 2269-2276.
- [25] Liu X M. Assemblage characteristics of dung beetles in livestock dung in Inner Mongolian typical steppe. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(1): 24-29.
- [26] Döring T F, Hiller A, Wehke S, Schulte G, Broll G. Biotic indicators of carabid species richness on organically and conventionally managed arable fields. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98(1/3): 133-139.

- [27] Asteraki E J, Hart B J, Ings T C, Manley W J. Factors influencing the plant and invertebrate diversity of arable field margins. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 102(2): 219-231.
- [28] Dlamini T C, Haynes R J. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27(1): 77-88.
- [29] Li Y, Zhang J H, Lobb D A, Zhang J G. Tillage translocation and tillage erosion processes and their implications for agro-ecosystems. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(6): 514-519.
- [30] Zhang J G, Liu S Z, Song S J, Li Y. Effect of different land use on soil water stable aggregate and soil total porosity of slope land in Loess Plateau. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(Suppl 1): 119-124.
- [31] Holland J M, Reynolds C J M. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia*, 2003, 47(2): 181-191.
- [32] Gardner T A, Hernández M I M, Barlow J, Peres C A. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for Neotropical dung beetles. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(3): 883-893.
- [33] Slade E M, Mann D J, Lewis O T. Biodiversity and ecosystem function of tropical forest dung beetles under contrasting logging regimes. *Biological Conservation*, 2011, 144(1): 166-174.
- [34] Barragán F, Moreno C E, Escobar F, Halffter G, Navarrete D. Negative impacts of human land use on dung beetle functional diversity. *PLoS ONE*, 2011, 6(3): e17976.
- [35] Jay-Robert P, Niogret J, Errouissi F, Labarussias M, Paoletti É, Luis M V, Lumaret J P. Relative efficiency of extensive grazing vs. wild ungulates management for dung beetle conservation in a heterogeneous landscape from southern Europe (Scarabaeinae, Aphodiinae, Geotrupinae). *Biological Conservation*, 2008, 141(11): 2879-2887.
- [36] Lumaret J P, Kadiri N, Bertrand M. Changes in resources: consequences for the dynamics of dung beetle communities. *Journal of Applied Ecology*, 1992, 29(2): 349-356.
- [37] Numa C, Verdú J R, Rueda C, Galante E. Comparing dung beetle species assemblages between protected areas and adjacent pasturelands in a Mediterranean Savanna landscape. *Rangeland Ecology and Management*, 2012, 65(2): 137-143.
- [38] Hutton S A, Giller P S. The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 40(6): 994-1007.
- [39] Navarrete D, Halffter G. Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) diversity in continuous forest, forest fragments and cattle pastures in a landscape of Chiapas, Mexico: the effects of anthropogenic changes. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(12): 2869-2898.
- [40] Verdú J R, Crespo M B, Galante E. Conservation strategy of a nature reserve in Mediterranean ecosystems: the effects of protection from grazing on biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2000, 9(12): 1707-1721.

参考文献:

- [4] 刘新民, 杨劼. 土壤金龟总科昆虫的生态学研究进展. *内蒙古师范大学学报: 自然科学(汉文)版*, 2004, 33(2): 188-194.
- [17] 何文清, 赵彩霞, 高旺盛, 陈源泉, 秦红灵, 樊秀荣. 不同土地利用方式下土壤风蚀主要影响因子研究——以内蒙古武川县为例. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2092-2096.
- [18] 杨树, 温雨金, 刘鸿雁. 内蒙古中部地区退耕还林还草后植被与土壤性状的变化. *水土保持研究*, 2006, 13(4): 143-149.
- [19] 刘新民, 门丽娜. 内蒙古武川县农田退耕还草对大型土壤动物群落的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 1965-1972.
- [20] 刘广瑞, 章有为, 王瑞. 中国北方常见金龟子彩色图鉴. 北京: 中国林业出版社, 1997: 1-106.
- [22] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [23] 刘新民. 放牧对内蒙古典型草原粪金龟子群落的影响. *昆虫学报*, 2011, 20(8): 1965-1972.
- [24] 刘新民, 海英. 荒漠草原马粪中粪金龟子组成及分解作用. *生态学杂志*, 2011, 30(10): 2269-2276.
- [25] 刘新民. 内蒙古典型草原家畜粪中的粪金龟子群落特征. *生态学杂志*, 2011, 30(1): 24-29.
- [29] 李勇, 张建辉, Lobb D A, 张建国. 耕作侵蚀及其农业环境意义. *山地学报*, 2000, 18(6): 514-519.
- [30] 张建国, 刘淑珍, 宋述军, 李勇. 不同土地利用方式对黄土坡地土壤水稳性团聚体和总孔隙度的影响. *山地学报*, 2002, 20(Suppl 1): 119-124.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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 赵景柱

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15期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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