

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

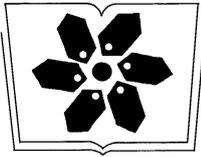
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 15 期 Vol.31 No.15 **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 15 期 2011 年 8 月 (半月刊)

目 次

地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应·····	李锋瑞,刘继亮,化伟,等	(4169)
两种书虱微卫星富集文库的构建及比较·····	魏丹丹,袁明龙,王保军,等	(4182)
菲律宾蛤仔 EST-SSRs 标记开发及不同地理群体遗传多样性·····	闫喜武,虞志飞,秦艳杰,等	(4190)
菲律宾蛤仔大连群体不同世代的遗传多样性·····	虞志飞,闫喜武,杨霏,等	(4199)
玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较·····	姜丽娜,赵艳岭,邵云,等	(4207)
施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化·····	刘海英,崔长海,赵倩,等	(4215)
黄土高原半干旱区气候变化对春小麦生长发育的影响——以甘肃定西为例·····	姚玉璧,王润元,杨金虎,等	(4225)
不同耕作模式下稻田水中氮磷动态特征及减排潜力·····	冯国禄,杨仁斌	(4235)
大田环境下转 Bt 基因玉米对土壤酶活性的影响·····	颜世磊,赵蕾,孙红炜,等	(4244)
短期淹水培养对水稻土中地杆菌和厌氧粘细菌丰度的影响·····	朱超,Stefan Ratering,曲东,等	(4251)
气候变化背景下广东晚稻播期的适应性调整·····	王华,陈新光,胡飞,等	(4261)
长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响·····	何念鹏,韩兴国,于贵瑞	(4270)
黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力·····	刘迎春,王秋凤,于贵瑞,等	(4277)
植物叶表面的润湿性及其生态学意义·····	石辉,王会霞,李秧秧	(4287)
长白山北坡主要森林群落凋落物现存量月动态·····	郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等	(4299)
古尔班通古特沙漠及周缘 52 种植物种子的萌发特性与生态意义·····	刘会良,宋明方,段士民,等	(4308)
吉首蒲儿根的繁殖生态学特性及其濒危成因·····	邓涛,陈功锡,张代贵,等	(4318)
栖息地永久性破坏的比例对物种多度稳定值影响的迭代算法·····	时培建,戈峰,杨清培	(4327)
喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制·····	毛轶清,郑青松,陈健妙,等	(4334)
阿尔山落叶松主要蛀干害虫的种群空间生态位·····	袁菲,骆有庆,石娟,等	(4342)
2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制·····	沈慧梅,吕建平,周金玉,等	(4350)
中华稻蝗长沙种群的生活史及其卵滞育的进化意义·····	朱道弘,张超,谭荣鹤	(4365)
“518”油桃主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	施晓丽,毕守东,耿继光,等	(4372)
青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化·····	张洪芝,吴鹏飞,杨大星,等	(4385)
青海可鲁克湖水鸟季节动态及渔鸥活动区分析·····	张国钢,刘冬平,侯韵秋,等	(4398)
排放与森林碳汇作用下云南省碳净排放量估计·····	刘慧雅,王铮,马晓哲	(4405)
北京城市生态占水研究·····	柏樱岚,王如松,姚亮	(4415)
专论与综述		
植物水分传输过程中的调控机制研究进展·····	杨启良,张富仓,刘小刚,等	(4427)
环境介质中的抗生素及其微生物生态效应·····	俞慎,王敏,洪有为	(4437)
自然生态系统中的厌氧氨氧化·····	沈李东,郑平,胡宝兰	(4447)
研究简报		
山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系·····	张莹,吕振波,徐宗法,等	(4455)
新疆乌伦古湖浮游甲壳动物的季节演替及与环境因子的关系·····	杨丽丽,周小玉,刘其根,等	(4468)
不同施肥与灌水量对槟榔土壤氨挥发的影响·····	卢丽兰,甘炳春,许明会,等	(4477)
学术信息与动态		
水土资源保持的科学与政策:全球视野及其应用——第 66 届美国水土保持学会国际学术年会述评·····	卫伟	(4485)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2011-08



封面图说: 塞罕坝地处内蒙古高原南缘向华北平原的过渡带,地势分为坝上、坝下两部分。解放初期,这里是“飞鸟无栖树,黄沙遮天日”的荒原沙丘,自 1962 年建立了机械化林场之后,塞罕坝人建起了 110 多万亩人工林,造就了中国最大的人工林林场。这是让人叹为观止的落叶松人工林海。

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

李锋瑞, 刘继亮, 化伟, 牛瑞雪, 刘七军, 刘长安. 地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应. 生态学报, 2011, 31(15): 4169-4181.
Li F R, Liu J L, Hua W, Niu R X, Liu Q J, Liu C A. Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4169-4181.

地面节肢动物营养类群对土地覆被变化 和管理扰动的响应

李锋瑞^{1,*}, 刘继亮¹, 化伟², 牛瑞雪¹, 刘七军¹, 刘长安¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所生态与农业研究室 临泽内陆河流域研究站, 兰州 730000;

2. 国土资源部兰州矿产资源监督检测中心, 兰州 730050)

摘要: 近几十年来, 黑河中游荒漠绿洲过渡带大面积天然沙质草地被转变为农田和防风固沙人工林, 然而目前尚缺乏土地利用/覆被变化和管理措施对地面节肢动物多样性形成和维持影响的系统研究。以天然沙质草地转变为的人工梭梭灌木林、人工杨树林、人工樟子松林和农田为研究对象, 以天然草地为对照, 通过对 5 种样地地面节肢动物群落的调查及非生物环境因子的测定, 采用典范对应分析(CCA)等方法, 系统探讨了土地覆被和管理强度(天然草地和人工梭梭林实施零管理、杨树和樟子松人工林实施灌溉管理、农田实施灌溉和施肥管理)变化对地面节肢动物营养类群组成、数量和物种丰富度的影响。主要结果是: (1) 在干旱环境下, 单纯改变土地覆被并不会导致土壤环境的显著变化, 而高强度的管理扰动加速了土壤环境的演变过程。(2) 不同土地覆被和管理措施对营养类群组成及其数量和丰富度的调控作用不同, 将天然草地转变为杨树和樟子松人工林和农田后, 显著提高了捕食性和植食性类群的比例, 降低了‘腐食性+杂食性’类群的比例; 转变为人工梭梭林后显著降低了 3 种营养类群的数量; 转变为人工杨树林后显著降低了‘腐食性+杂食性’类群数量; 转变为人工樟子松林后显著增加了植食性类群数量而降低了其它类群的数量; 转变为农田后显著增加了植食性类群数量而降低了‘腐食性+杂食性’类群数量。(3) 影响捕食性动物分布的关键环境因子是地面温度、土壤硝态氮和田间持水量, 影响植食性动物分布的关键因子是土壤粘粉粒、土壤硝态氮、土壤容重和 pH 值, 影响‘腐食性+杂食性’动物分布的关键因子是地面温度和田间持水量。主要结论是: 土地覆被变化与管理措施相互作用对地面节肢动物群落组装过程及其多样性形成具有重要调控作用, 尽管其相对重要性不同。

关键词: 黑河流域; 土地利用/覆被变化; 管理扰动; 地面节肢动物; 营养类群; 生物多样性维持; 多变量分析

Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance

LI Fengrui^{1,*}, LIU Jiliang¹, HUA Wei², NIU Ruixue¹, LIU Qijun¹, LIU Changan¹

1 Linze Inland River Basin Research Station, Ecology and Agriculture Laboratory, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 Lanzhou Central Laboratory of Mineral Resources, National Land Resources Ministry of the Peoples' Republic of China, Lanzhou 730050, China

Abstract: Land-use/cover change and management disturbance has been the major driver of ground arthropod diversity retention and loss in agricultural ecosystems. However, relatively few researchers have addressed contrasting responses of different trophic groups in ground arthropod communities to environmental changes induced by land-cover change and management disturbance in relation to their abundance and species richness in an arid ecosystem in Northwest China. Using pitfall trapping technique, we investigated abundance and species richness of three trophic groups (herbivores, carnivores and ‘detritivores + omnivores’) of ground arthropod communities along a land-cover and management intensity gradient of

基金项目: 国家自然科学基金黑河流域生态-水文过程集成研究重大研究计划培育项目(91025021); 城市与区域生态国家重点实验室开放基金项目资助(SKLURE2009-2-3)

收稿日期: 2011-03-26; 修订日期: 2011-05-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lifengrui@lzb.ac.cn

21-year-old cultivated shrubland without irrigation and fertilization, 28-year-old *Poplar* and 33-year-old *Pinus* plantations with irrigation, 27-year-old farmland with irrigation and fertilization, and natural sandy grassland as a control, from which all of cultivated systems were converted. Environmental variables (including soil texture properties and microclimatic conditions) of the five habitats under study were measured and canonical correspondence analysis (CCA) was used to determine the relationships between the abundances of three trophic groups and environmental variables. Our results demonstrated a significant reduction of the percentage of 'detritivores+omnivores' and a marked increase of the percentage of either herbivores or carnivores over 20—30 years after conversion of natural sandy grassland to cultivated systems except for non-managed shrubland. Our data also revealed that changes in land-cover and management intensity had significant and differential impacts on the abundance and species richness of the three trophic groups. Conversion of natural grassland to cultivated shrubland has led to a significant reduction in the abundance of the three trophic groups, but did not influence greatly their species richness. Conversion of natural grassland to *Poplar* plantation significantly reduced the abundance of 'detritivores+omnivores', but did not influence the abundance of either herbivores or carnivores as well as species richness of all three trophic groups. Conversion of natural grassland to *Pinus* plantation significantly reduced the abundances of carnivores and 'detritivores+omnivores', but enhanced the abundance of herbivores. Conversion of natural grassland to farmland significantly increased the abundance of herbivores, but reduced the abundance and species richness of 'detritivores+omnivores'. CCA demonstrated that key environmental factors affecting carnivore community distribution were ground temperature, soil $\text{NO}_3\text{-N}$ and field capacity, whereas those affecting the distribution of herbivore communities were soil texture, soil $\text{NO}_3\text{-N}$ and bulk density. Also, ground temperature and field capacity were found to be important dominants of 'detritivore+omnivore' community distribution. These findings have important implications for improving our understanding of the underlying mechanisms of how land-cover change and management disturbance interactively affected the patterns of arthropod trophic group composition, diversity and abundance through their effects on biotic and abiotic conditions of studied habitats, which will help to develop a more effective management strategy for conserving ground arthropod assemblages in these arid ecosystems.

Key Words: Heihe River Basin; land-use/cover change; management disturbance; ground arthropod assemblages; trophic groups; biodiversity conservation; multivariate analysis

黑河流域位于甘肃省河西走廊中段,地跨青、甘、蒙三省区,总面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$,是中国西北干旱区第二大内陆河流域^[1],也是一个能够全面反映干旱区内陆河流域自然景观类型特征的代表性流域,同时也是开展气候变化和人类活动对内陆河流域生态系统结构、功能和过程影响机制研究的理想地区。在黑河流域,山地、绿洲、荒漠三大自然景观类型共存是其最基本的景观格局特征。在这一景观格局下,上游山区是冰川积雪源地,是水资源的形成区,中下游绿洲和荒漠是水资源的消耗区。在黑河中游地区,人工绿洲面积约 $12 \times 10^3 \text{ km}^2$,养育近 129 万人口,平均每平方公里绿洲承载 107 人。因此,黑河中游人工绿洲区是流域生态系统人类活动影响最大、人地水矛盾最突出的一个区域^[2]。

近几十年来,黑河中游地区由于人口数量急剧增加和社会经济快速发展,对粮食和农副产品的需求量不断增加。为了确保粮食安全,对中游地区水土资源开发利用的强度不断加大。在以水土资源开发利用和绿洲生态环境保护工程建设为主要特征的人类活动影响下^[3-4],绿洲边缘区大量的天然沙质草地被相继开垦转变为农业用地和不同类型的人工防风固沙林(如杨树、樟子松和沙枣人工林及人工梭梭灌木林等),从而形成了高度异质性的多样化的土地利用/覆被景观格局^[5-6]。然而,将天然荒漠草地转变为不同类型的人工林和农田生态系统后,由于地表覆被条件改变和土地管理措施不同,已对生态系统的地表水文过程和土壤过程产生了深刻影响,导致了土壤理化和生态水文环境的变化^[7],并进而对地面(即在生活史的某个阶段生活在土壤中而大部分时间在地面活动的节肢动物)和土壤动物(即生活在枯枝落叶层和土壤中的土居动物^[8])群落的

分布及其结构、数量和多样性产生了重要的反馈作用^[9]。

然而,迄今尚缺乏对土地利用/覆被变化和管理措施及其强度对地面/土壤动物多样性形成和维持影响机制的系统研究。目前,尚不清楚土地利用/覆被变化和管理扰动究竟会给地面/土壤动物群落的组装过程及其多样性形成带来什么样的潜在影响?也不清楚地面/土壤动物不同营养类群对土壤生态环境变化的响应与适应机理?因此,深入开展土地覆被变化和管理扰动对土壤生态环境和地面/土壤动物群落组装过程及其多样性演变的耦合影响与调控机制的研究,对于准确认识干旱环境下不同类型绿洲生态系统的地面/土壤动物多样性保育功能和维持机制,具有重要理论意义和实际应用价值。

近年来,以黑河中游地区由天然沙质草地转变成的人工梭梭灌木林(21 a)、人工杨树林(28 a)、人工樟子松林(33 a)和灌溉农田(27 a)为研究对象,以天然沙质草地为对照,通过对5种研究样地地面/土壤动物群落结构特征的系统调查及非生物环境因子的测定,系统探讨了土地覆被变化与管理措施相互作用对地面/土壤动物群落组装过程及其多样性形成的耦合影响与调控机制。本文重点报道了有关土地覆被变化和管理措施对地面节肢动物营养类群组成、数量和丰富度的影响与调控作用机制的研究成果。

1 材料与方法

1.1 研究地点

研究地点位于甘肃省河西走廊中段黑河中游的临泽人工绿洲区(39°21'N, 100°08'E;平均海拔1 384 m)。该区域属温带大陆性干旱荒漠气候,夏季炎热、冬季寒冷、降水稀少、光热资源丰富,风沙灾害频繁。年平均降水量117 mm,年平均蒸发量2 390 mm,年平均气温7.6℃,≥10℃年积温3 085℃,无霜期165 d。地带性土壤为灰棕漠土,绿洲区主要土壤类型有绿洲潮土和灌漠土,绿洲边缘区主要是风沙土。土壤母质主要是第四纪砂砾洪积-冲积物,地下水埋深3—5 m^[10]。

1.2 研究样地选择

临泽绿洲是张掖绿洲生态系统的重要组成部分。近50 a来,在以水土资源开发利用和绿洲生态防护体系建设为主要特征的人类活动影响下,临泽绿洲边缘区大面积的天然沙质草地被转变为农田和不同类型的防风固沙人工林(如杨树、沙枣和樟子松人工林及梭梭灌木人工林等)。本研究以天然沙质草地转变为的已开垦27 a的灌溉农田(简称灌溉农田)及已种植21 a的人工梭梭灌木林、28 a的杨树人工林和33 a的樟子松人工林(简称梭梭、杨树和樟子松人工林)为研究对象,并以天然沙质草地(简称天然草地,下同)为试验对照。其中,对天然草地和梭梭人工林实施零管理(即无灌溉也无施肥措施)、对杨树和樟子松人工林实施灌溉管理、对农田实施灌溉和施肥耦合管理。因此,所选择的5种研究样地(研究体系)形成了一个典型的土地利用/覆被与管理强度变化梯度,为系统探讨土地覆被和管理强度变化对地面节肢动物群落演变的驱动机制及其调控作用提供了理想的研究对象。

1.3 试验设计与取样方法

对5种研究体系地面节肢动物群落的取样方法如下:对天然草地生态系统类型,随机选择3个地点作为调查样区(3个重复);对梭梭、杨树和樟子松人工林生态系统类型,每种类型选择种植时间相近(最大相差不超过3a)的3个样地(3个重复)作为调查样区;对灌溉农田生态系统类型,选择开垦年限相近(最大相差不超过3a)且管理措施相同的3块农田(3个重复)作为调查样区。采用国际通用的陷阱捕获法,调查不同研究样地的地面节肢动物群落组成、数量和类群丰富度^[11]。

具体调查方法如下:2009年9月在地面节肢动物群落数量和多样性的峰值期(根据先前的研究),在每个调查样区随机布设陷阱收集器9个(每种研究样地27个,5种样地共计135个)。为确保收集器在统计学上的独立性,收集器的间距≥10 m^[12]。动物样品采集期为15 d(9月3日至17日)。在采样期间,每3 d检查1次收集器,将捕获的动物样品放在75%的酒精溶液中,带回实验室,在体视显微镜下对样品进行分类鉴定。所有样品鉴定到科,优势类群鉴定到属或种,并按不同分类群(科)统计动物的个体数量。样品鉴定主要依据尹文英撰写的《中国土壤动物检索图鉴》、郑乐怡和归鸿撰写的《昆虫分类》、胡金林撰写的《中国农林蜘蛛》

及任国栋和于有志撰写的《中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫》等权威分类著作^[8, 13-15]。

对地面节肢动物群落进行调查期间,在每个调查样区,用土钻按"S"型取样,共采取9个样点0—20 cm 土壤样品,将9个样点的土壤样品混匀后形成一个混合样品,进行土壤理化性质分析。所有样品的测试工作在国土资源部兰州矿产资源监督检测中心实验室完成。同时在9个采样点采用环刀法测定土壤容重,采用离心法测定田间持水量和采用烘干法测定土壤含水量。此外,还在每个调查样区连续3d利用地温计从8:00到20:00定时(每2h观测1次)观测地面温度,计算5种样地的地面日平均温度值。

1.4 数据分析

根据相关文献^[16-17],将捕获的地面节肢动物依据其食性划分为植食性、捕食性和‘腐食性+杂食性’3个营养类群,并计算5种研究样地每种营养类群的个体数量和类群丰富度。采用单因素方差分析确定不同样地3种营养类群的个体数量和类群丰富度的差异。采用Sørensen群落相似性指数($CC = 2S/(a + b)$),式中S代表两种样地的共有动物类群数,a和b分别代表两种样地各自拥有的类群数)确定不同样地3种营养类群组成的相似性。

基于实测数据,计算反映5种研究样地非生物环境特征的13个主要指标,包括日平均地面温度(简称地面温度)、土壤含水量、田间持水量、土壤粗砂粒(0.25—2 mm)、土壤细砂粒(0.05—0.25 mm)、土壤粘粉粒(<0.05 mm)、土壤容重、pH值、土壤全氮、土壤铵态氮、土壤硝态氮、土壤有机碳和土壤总盐量。利用建立的5种研究样地地面节肢动物营养类群个体数量和类群丰富度数据矩阵及土壤生态环境变量数据矩阵,采用非线性的典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)定量探讨土地利用/覆被变化和管理措施影响下地面节肢动物不同营养类群与环境因子的关系,绘制二维排序图。同时采用偏CCA分析(partial CCA)和蒙特卡洛置换检验(Monte-Carlo permutation test)定量评价不同土壤生态环境因子对3种营养类群变化的贡献率(即对因变量的独立解释量)。为保证实验数据满足正态分布及减小异常值对分析结果的影响,在进行CCA排序分析之前,对动物个体数量和类群丰富度数据及地面温度、土壤容重、pH值、土壤全氮、土壤铵态氮、土壤硝态氮、土壤有机碳、土壤总盐量等数据进行对数转换,对土壤粗砂粒、细砂粒和粘粉粒及土壤含水量数据进行反正弦平方根转换。应用国际通用的排序软件CANOCO 4.5进行分析运算^[18]。

2 研究结果

2.1 土壤生态环境演变特征

方差分析结果显示,天然草地的土壤生态环境特征与未实施任何管理措施的人工梭梭林无明显差异,但与实施灌溉措施的杨树和樟子松人工林及实施灌溉和施肥措施的农田生态系统存在显著差异(表1)。这表明在缺少管理措施的情况下,将天然草地转变为梭梭人工林并不会导致土壤生态环境的显著变化;然而在实施高强度管理措施的情况下,天然草地转变为杨树和樟子松人工林及农田后导致了土壤生态环境的改变。天然草地与杨树和樟子松人工林和农田的土壤生态环境特征差异主要反映在两个方面:一是天然草地转变为杨树和樟子松人工林和农田20多年后,显著降低了地面温度,提高了表层(0—20 cm)土壤含水量;二是天然草地转变为杨树和樟子松人工林和农田20多年后,显著降低了表层土壤的pH值,提高了表层土壤的粘粉粒、全氮、铵态氮和有机碳含量(表1)。

此外,覆被不同而管理措施相同的杨树人工林和樟子松人工林在地面温度、土壤含水量、田间持水量、土壤粗砂和细砂含量、pH值、土壤全氮、土壤铵态氮和有机碳等环境因子方面无显著的差异(表1),表明在干旱环境下土地覆被变化对土壤生态环境演变过程的影响作用小于管理措施。

2.2 地面节肢动物营养类群组成及其数量和丰富度的演变特征

5种研究样地共捕获地面节肢动物3299头,分属41个科。捕获的节肢动物样品被区分为捕食性、植食性和‘腐食性+杂食性’3个营养类群。其中捕食性动物个体数量为794(占捕获节肢动物群落总数的24.1%),分属18个科,优势类群是步甲科、狼蛛科和平腹蛛科,分别占捕食性动物数量的23.4%、23.3%和12.3%。植食性动物个体数量为410(占捕获节肢动物群落总数的12.4%),分属15个科,优势类群是蚜总

科、缘椿科和椿科,分别占植食性动物数量的 34.9%、15.4% 和 12.7%。‘腐食性+杂食性’动物个体数量为 2095 (占捕获节肢动物群落总数的 63.5%),分属 7 个科,优势类群是拟步甲科和蚁科,分别占‘腐食性+杂食性’动物数量的 56.3% 和 41.4%。

表 1 5 种研究样地土壤生态环境组合特征(平均数±标准差)比较

Table 1 The characteristics of soil and environmental conditions (mean ± sd) of the five land-cover types under study

环境变量 Environmental variable	天然荒漠草地 Natural grassland	人工梭梭林 Cultivated shrubland	人工杨树林 Poplar plantation	人工樟子松林 Pinus plantation	灌溉农田 Farmland	F
地面温度 Ground temperature/°C	37.5 ± 0.5a	34.3 ± 0.8a	23.4 ± 0.1b	24.0 ± 0.3b	23.6 ± 0.7b	151.07 ***
土壤含水量 Soil water content/%	2.2 ± 0.02c	2.9 ± 0.1c	5.6 ± 0.3b	5.3 ± 0.5b	11.8 ± 0.33a	192.81 ***
田间持水量 Field capacity/%	16.7 ± 0.3c	18.5 ± 0.2b	21.6 ± 0.5a	21.0 ± 0.3a	17.7 ± 0.1bc	55.67 ***
土壤粗砂粒 Coarse sand/%	15.6 ± 1.7b	24.1 ± 1.4a	10.8 ± 0.7c	10.0 ± 1.1c	22.4 ± 2.5a	16.54 ***
土壤细砂粒 Fine sand/%	83.8 ± 1.7a	74.8 ± 1.4b	84.5 ± 0.3a	83.2 ± 0.4a	73.9 ± 2.6b	10.46 **
土壤粘粉粒 Silt/clay/%	0.6 ± 0.1c	1.1 ± 0.1c	4.7 ± 0.4ab	6.8 ± 0.9a	3.7 ± 0.4b	36.69 ***
土壤容重 Bulk density/(g/cm ³)	1.58 ± 0.01a	1.55 ± 0.003a	1.41 ± 0.02b	1.31 ± 0.01c	1.53 ± 0.02a	59.73 ***
pH	9.4 ± 0.12a	8.1 ± 0.01c	8.4 ± 0.04bc	8.2 ± 0.14c	8.7 ± 0.04b	30.71 ***
土壤全氮 Total soil N/(g/kg)	0.06 ± 0.001b	0.09 ± 0.01b	0.47 ± 0.07a	0.37 ± 0.07a	0.52 ± 0.02a	27.98 ***
铵态氮 NH ₄ ⁺ /(mg/kg)	5.97 ± 0.4bc	5.62 ± 0.14c	7.16 ± 0.11ab	7.87 ± 0.13a	7.98 ± 0.3a	17.85 ***
硝态氮 NO ₃ ⁻ /(mg/kg)	1.51 ± 0.05c	1.17 ± 0.17c	0.21 ± 0.03d	6.63 ± 2.08a	3.17 ± 0.3b	28.09 ***
有机碳 Soil organic carbon/(g/kg)	0.56 ± 0.02b	0.55 ± 0.02b	5.85 ± 0.21a	5.34 ± 0.77a	6.56 ± 0.28a	227.41 ***
C/N	9.3 ± 0.2b	6.2 ± 0.6c	12.5 ± 1.4a	14.4 ± 0.7a	12.6 ± 0.8a	21.22 ***
土壤总盐量 Soil salt content/(mg/kg)	843.3 ± 76.3b	1614.5 ± 381.4ab	1073.3 ± 40.9b	2515.6 ± 141.7a	1185.7 ± 99.3b	10.09 **

** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

方差分析表明,土地覆被变化和管理措施对 3 种营养类群的个体数量及植食性和‘腐食性+杂食性’类群的丰富度产生了显著影响(表 2)。将天然草地转变为梭梭人工林后,显著降低了 3 种营养类群的数量,而对其类群丰富度无显著影响。天然草地转变为杨树人工林后显著降低了‘腐食性+杂食性’动物的数量,对捕食性和植食性动物数量及 3 种营养类群的丰富度无显著影响。天然草地转变为樟子松人工林后显著增加了植食性动物数量,降低了捕食性和‘腐食性+杂食性’动物数量和类群丰富度。天然草地转变为农田后显著增加了植食性动物数量,降低了‘腐食性+杂食性’动物数量和类群丰富度(图 1)。

表 2 土地覆被变化和管理扰动对地面节肢动物营养类群个体数量和丰富度影响的单因素方差分析

Table 2 Results of one-way ANOVAs for the effects of land-cover change and management disturbance on the number of individuals and taxa richness of three trophic groups in the ground arthropod community

营养类群 Trophic group	变异来源 Source of variation	df	个体数量 Number of individuals			类群丰富度 Taxa richness		
			MS	F	P	MS	F	P
捕食性 Predator	区组间 Between blocks	2	0.001	0.01	0.9934	0.03	0.63	0.5579
	处理间 Between land-cover types	4	0.497	6.19	0.0143	0.05	1.07	0.4295
	误差 Error	8	0.080			0.05		
植食性 Herbivore	区组间 Between blocks	2	0.060	0.35	0.7167	1.25	3.84	0.0677
	处理间 Between land-cover types	4	1.055	6.07	0.0151	1.58	4.85	0.0278
	误差 Error	8	0.174			0.33		
腐食性+杂食性 Detritivore+omnivore	区组间 Between blocks	2	0.129	0.68	0.5322	0.01	0.34	0.7214
	处理间 Between land-cover types	4	3.273	17.30	0.0005	0.15	8.10	0.0065
	误差 Error	8	0.189			0.02		

数据还表明,土地覆被变化和管理措施对地面节肢动物营养类群的组成产生了显著影响(图 2)。将天然草地转变为杨树和樟子松人工林和农田后,显著增加了捕食性和植食性类群的比例(其中农田捕食性动物的

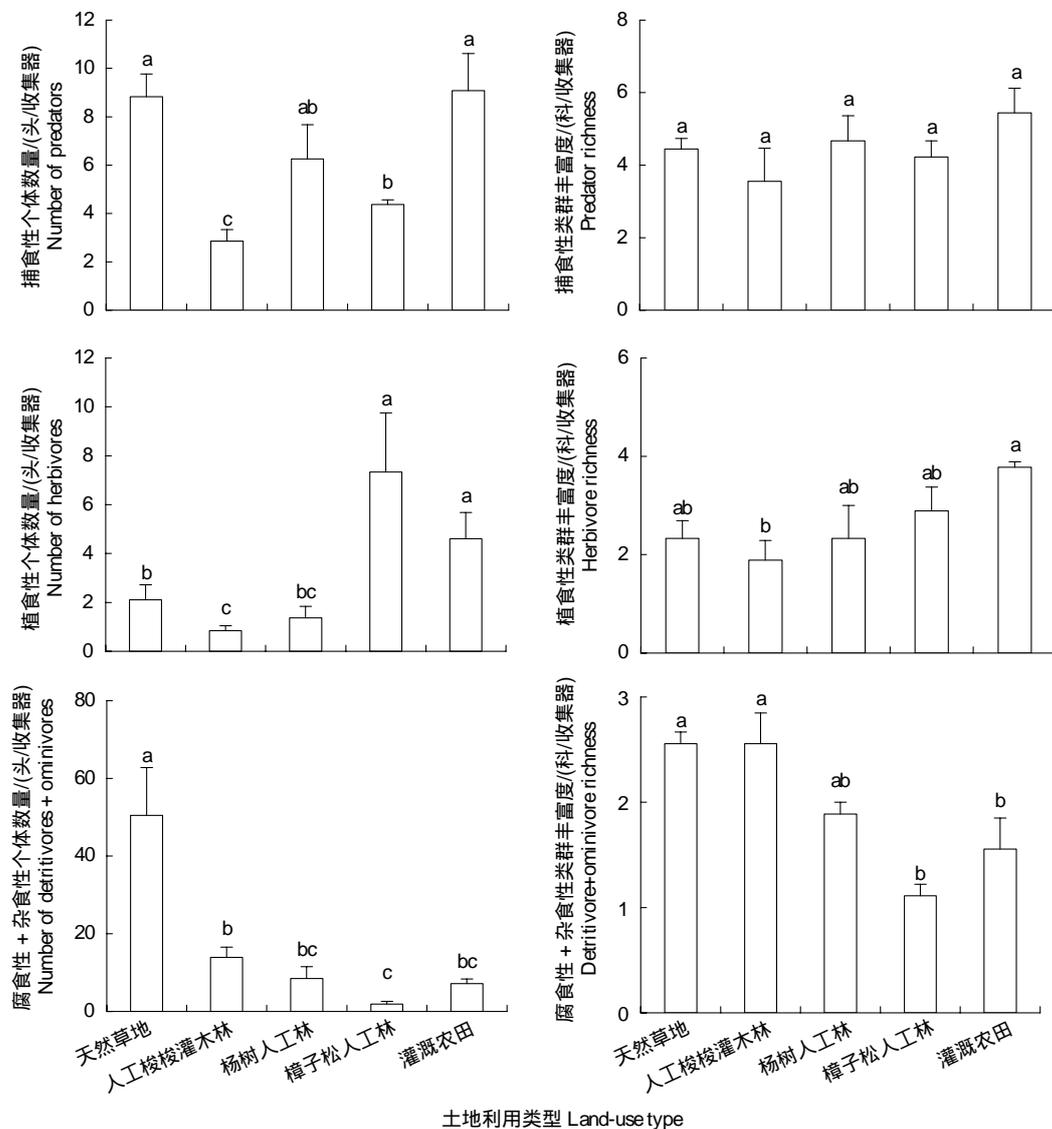


图1 土地覆被变化和管理扰动对地面节肢动物不同营养类群数量和丰富度(平均数±标准差)的影响

Fig. 1 The influence of land-cover change and management disturbance on the abundance and taxa richness (mean±sd) of three trophic groups in the ground arthropod community

增幅最大、樟子松人工林植食性动物的增幅最大),降低了‘腐食性+杂食性’动物类群的比例(其中樟子松人工林降幅最大)。在天然草地、梭梭人工林、杨树人工林、樟子松人工林和农田5种生态系统中,捕食性、植食性和‘腐食性+杂食性’3种营养类群的比值分别为1:0.2:4.9,1:0.3:4.8,1:0.2:1.2,1:1.4:0.3和1:0.5:0.8(图2)。将捕食性和植食性类群视为消费者,将‘腐食性+杂食性’类群视为分解者,则上述5种生态系统的消费者/分解者比值分别是1:4.1,1:3.7,1:1.0,1:0.13和1:0.5。因此,天然草地转变为梭梭人工林、杨树人工林、樟子松人工林和灌溉农田后,地面节肢动物群落中消费者所占比值呈增长趋势、而分解者所占比值呈下降趋势。

对5种研究样地3种营养类群组成相似性的分析表明,天然草地与梭梭人工林捕食性动物群落组成的相似性最大,与杨树人工林和灌溉农田的捕食性动物群落组成的相似性最小;同时灌溉农田与樟子松人工林的捕食性动物群落相似性最大,与梭梭人工林的相似性最小(表3)。相反,天然草地与灌溉农田的植食性动物群落的相似性要大于与杨树和樟子松人工林的相似性,同时灌溉农田与杨树和樟子松人工林的植食性动物群

落组成的相似性要大于与梭梭人工林的相似性。与捕食性和植食性 2 个类群不同,天然草地与梭梭人工林和灌溉农田的‘腐食性+杂食性’动物群落组成的相似性要大于与杨树和樟子松人工林的相似性(表 3)。

2.3 不同营养类群对土壤生态环境变化的响应机制

对 3 种营养类群分布与 13 个环境因子关系的 CCA 分析结果表明,前两个排序轴解释了捕食性类群 29.1% 的变异、植食性类群 27.9% 的变异和‘腐食性+杂食性’类群 46.4% 的变异。捕食性、植食性和‘腐食性+杂食性’3 个类群 13 个环境变量与排序轴 1 的相关系数分别为 0.922、0.967、0.961,与排序轴 2 的相关系数分别为 0.897、0.867、0.714,说明排序能够较好地反映动物类群分布与环境变量的关系(表 4)。

对 13 个环境变量对 3 种营养类群分布的贡献率的偏 CCA 分析结果表明(表 5),地面温度、土壤硝态氮、田间持水量、pH 值和土壤容重 5 个因子对捕食性动物的分布格局有显著(或接近显著)影响,其独立解释量分别为 32%、18%、16%、8% 和 5%。土壤粘粉粒、土壤硝态氮、土壤容重、pH 值、田间持水量和土壤细砂含量 6 个因子对植食性动物的分布格局有显著(或接近显著)影响,其独立解释量分别为 27%、17%、15%、11%、6% 和 6%。地面温度、田间持水量、土壤有机碳、土壤粘粉粒、土壤含水量和土壤铵态氮 6 个因子对‘腐食性+杂食性’动物的分布格局有显著(或接近显著)影响,其独立解释量分别为 57%、8%、6%、6%、5% 和 5% (表 5)。

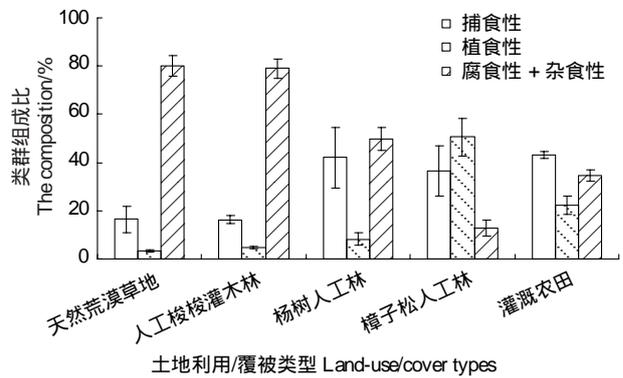


图 2 土地覆被变化和管理扰动对地面节肢动物营养类群(平均数±标准差)组成的影响

Fig. 2 The influence of land-cover change and management disturbance on the composition of three trophic groups (mean ± sd) of the ground arthropod community

表 3 5 种研究样地之间 3 种营养类群组成的 Sørensen 相似性指数

Table 3 The Sørensen's index of trophic group composition similarity of ground arthropod communities between the five land-use/cover types

营养类群 Trophic group	天然荒漠草地 Natural sandy grassland	人工梭梭灌木林 Cultivated shrubland	人工杨树林 Poplar plantation	人工樟子松林 Pinus plantation	灌溉农田 Irrigated farmland
捕食性 Predator					
天然荒漠草地	1	0.71	0.33	0.63	0.44
人工梭梭灌木林		1	0.35	0.67	0.47
人工杨树林			1	0.63	0.67
人工樟子松林				1	0.74
植食性 Herbivore					
天然荒漠草地	1	0.51	0.53	0.46	0.63
人工梭梭灌木林		1	0.53	0.46	0.62
人工杨树林			1	0.50	0.74
人工樟子松林				1	0.71
腐食性+杂食性 Detritivore+omnivore					
天然荒漠草地	1	0.80	0.45	0.29	0.75
人工梭梭灌木林		1	0.44	0.29	0.75
人工杨树林			1	0.33	0.29
人工樟子松林				1	0.40

表 4 地面节肢动物不同营养类群的 CCA 排序轴的特征值、动物类群与环境因子的相关系数

Table 4 Eigenvalues and taxa-environment correlations for the CCA ordination axes of the three trophic groups of ground arthropod communities

营养类群 Trophic group	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
捕食性类群 Predator				
特征值 Eigenvalues	0.445	0.246	0.211	0.093
动物类群与环境因子相关性 Taxa-environment correlations	0.922	0.897	0.797	0.719
累积解释变异百分数 Cumulative percentage variation explained	18.7	29.1	37.9	41.8
第 1 排序轴显著性的蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test		$F = 7.13, P = 0.001$		
所有排序轴显著性的蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test		$F = 2.43, P = 0.001$		
植食性类群 Herbivore				
特征值 Eigenvalues	0.65	0.444	0.262	0.242
动物类群与环境因子相关性 Taxa-environment correlations	0.967	0.867	0.777	0.776
累积解释变异百分数 Cumulative percentage variation explained	16.6	27.9	34.6	40.7
第 1 排序轴显著性的蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test		$F = 5.76, P = 0.001$		
所有排序轴显著性的蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test		$F = 2.35, P = 0.001$		
腐食性+杂食性类群 detritivore+ominivore				
特征值 Eigenvalues	0.338	0.097	0.078	0.021
动物类群与环境因子相关性 Taxa-environment correlations	0.961	0.714	0.648	0.599
累积解释变异百分数 Cumulative percentage variation explained	36.1	46.4	54.7	56.9
第 1 排序轴显著性的蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test		$F = 17.49, P = 0.001$		
所有排序轴显著性的蒙特卡洛置换检验 Monte-Carlo permutation test		$F = 3.47, P = 0.001$		

表 5 13 个环境变量对地面节肢动物不同营养类群分布的独立影响作用的偏 CCA 分析

Table 5 Partial CCA to determine the net contribution of the 13 environmental variables to the variation in the distribution of three trophic groups

环境变量 Environmental variable	捕食性类群 Predator			植食性类群 Herbivore			腐食性+杂食性类群 Detritivore+ominivore		
	贡献率/% % variation explained	<i>F</i>	<i>P</i>	贡献率/% % variation explained	<i>F</i>	<i>P</i>	贡献率/% % variation explained	<i>F</i>	<i>P</i>
地面温度	32.42	8.42	0.001	2.64	0.84	0.567	57.19	22.07	0.001
土壤含水量	4.08	1.34	0.195	1.09	0.33	0.982	4.68	2.08	0.054
田间持水量	15.50	4.80	0.001	5.82	1.80	0.053	7.55	3.04	0.017
pH 值	8.00	2.57	0.006	10.65	3.22	0.001	1.80	0.88	0.465
土壤粗砂粒	3.08	0.99	0.456	2.79	0.89	0.527	2.34	1.13	0.344
土壤细砂粒	0.83	0.27	0.997	5.77	1.82	0.059	3.60	1.67	0.133
土壤粘粉粒	2.25	0.74	0.689	26.87	6.55	0.001	5.76	2.39	0.051
土壤容重	5.08	1.67	0.068	14.53	4.16	0.001	2.52	1.15	0.305
土壤全氮	1.25	0.40	0.961	2.99	0.95	0.481	1.08	0.49	0.743
土壤铵态氮	2.33	0.75	0.689	1.89	0.60	0.801	4.50	2.03	0.066
土壤硝态氮	17.58	4.98	0.001	17.36	4.61	0.001	2.16	0.99	0.422
土壤有机碳	3.58	1.19	0.287	3.53	1.12	0.343	6.29	2.74	0.033
土壤总盐量	4.00	1.32	0.174	4.08	1.30	0.201	0.72	0.32	0.919

选取对 3 种营养类群分布有显著影响的解释变量,绘制 3 种营养类群分布与解释变量关系的 CCA 二维排序图。从捕食性类群的 CCA 排序图可以看出:跳蛛科、逍遥蛛科、步甲科和石蛎目等类群主要分布在天然草地生境中,卡尔避日蛛科、皿网蛛科、蚁蛉科和平腹蛛科等类群主要分布在梭梭人工林地中,狼蛛科、阎甲科和花蚤科等类群主要分布在杨树人工林地中,球蛛科和啮科主要分布在樟子松人工林地中,而蟹蛛科、园蛛科、瓢甲科、隐翅虫科和虎甲科等类群主要分布在灌溉农田生境中(图 3)。在 CCA 排序图中,与第 1 排序轴相关性最大的环境变量是地面温度(相关系数为 0.847),其次是土壤容重(相关系数为-0.740),表明第 1 排

序轴主要反映了地面温度变化梯度,同时也反映了土壤容重变化梯度。地面温度对捕食性动物分布的影响主要体现在:较多的跳蛛科、逍遥蛛科和步甲科动物分布在地面温度较高的天然草地生境中,而土壤容重的影响主要体现在较多的蟹蛛科、园蛛科、瓢甲科、隐翅虫科和虎甲科动物类群分布在灌溉农田生境中。与第2排序轴相关性较大的环境变量是田间持水量(相关系数为-0.631),表明排序轴2主要反映了田间持水量变化梯度。田间持水量的影响主要体现在,较多的狼蛛科、阎甲科、花蚤科、球蛛科和啮科类群分布在田间持水量较高的杨树和樟子松人工林地中(图3)。

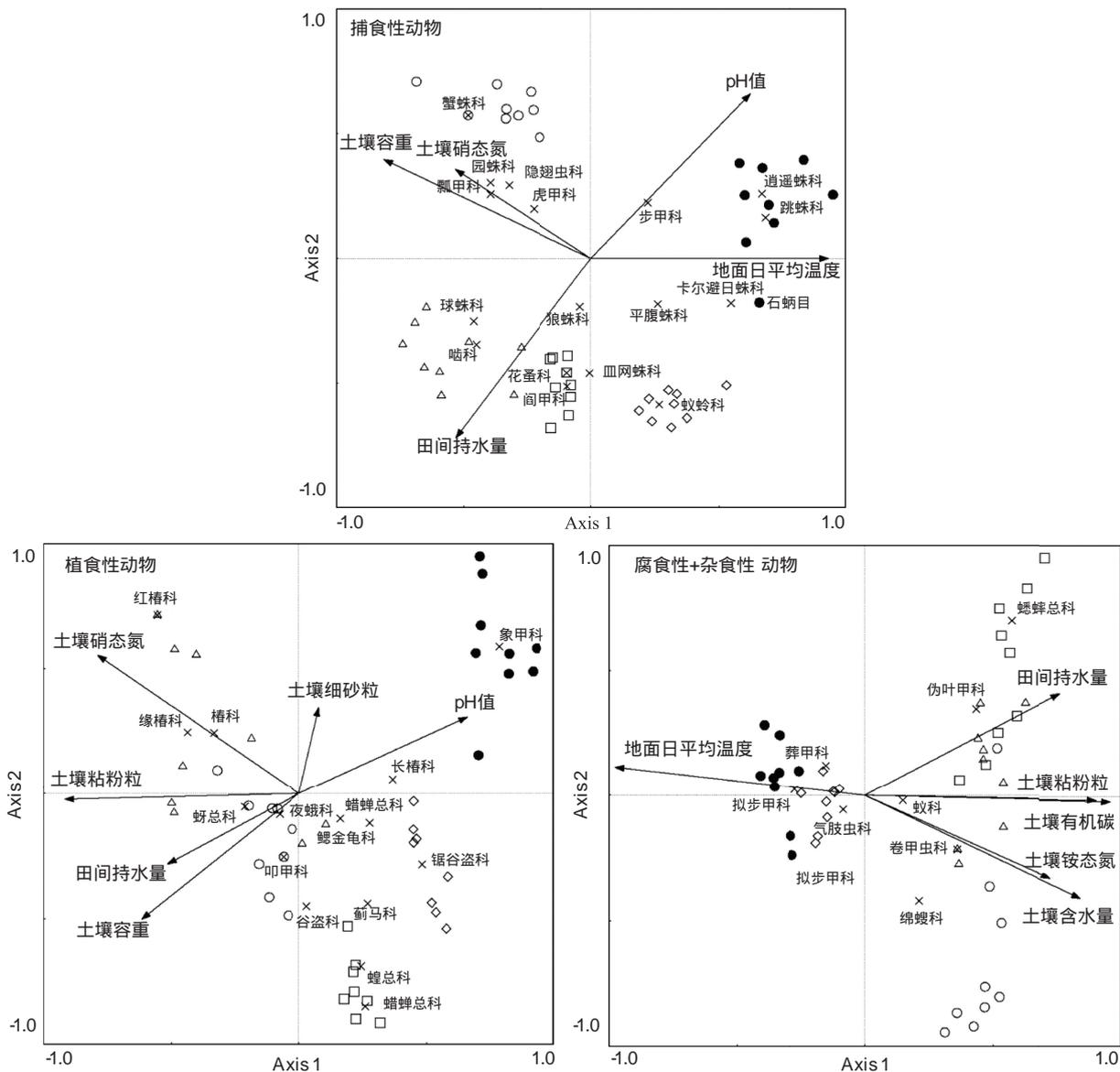


图3 5种研究样地3种地面节肢动物营养类群分布与解释变量关系的 CCA 排序图

Fig. 3 CCA two-dimensional ordination diagram of three trophic groups of ground arthropod assemblage and environmental variables across the five habitats

× 代表动物类群(科), ○ 灌溉农田, △ 樟子松人工林, □ 杨树人工林, ◇ 人工梭梭灌木林, ● 天然荒漠草地

从植食性类群的 CCA 排序图可以看出:象甲科和长椿科动物主要分布在天然草地生境中,锯谷盗科主要分布在梭梭人工林地中,蓟马科、蜡蝉总科、蝗总科和谷盗科主要分布在杨树人工林地中,红椿科、缘椿科和椿科主要分布在樟子松人工林地中,而蚜总科、夜蛾科幼虫、叩甲科和鳃金龟科等类群主要分布在灌溉农田生境中(图3)。在 CCA 排序图中,与第1排序轴相关性较大的环境变量有土壤粘粉粒(相关系数为-0.862)、土壤

硝态氮(相关系数为-0.743)和 pH 值(相关系数为 0.622),而所有 6 个变量与第 2 排序轴的相关性均较小(相关系数在 0.021—0.479 之间),表明排序轴 1 主要反映了土壤粘粉粒、土壤硝态氮和 pH 值等变量对植食性类群分布的影响。土壤粘粉粒和硝态氮含量对植食性类群分布的影响主要体现在:较多的红椿科、缘椿科、椿科和蚜总科类群分布在土壤容重较低和粘粉粒含量较高的樟子松人工林地中,而 pH 值的影响主要体现在较多的象甲科动物分布在高 pH 值的天然草地生境中(图 3)。

从‘腐食性+杂食性’类群的 CCA 排序图可以看出,拟步甲科和葬甲科主要分布在天然草地生境中,气肢虫科主要分布在梭梭人工林地中,伪叶甲科和蟋蟀总科主要分布在杨树人工林地中,卷甲虫科主要分布在樟子松人工林地中,而绵虻科主要分布在灌溉农田生境中(图 3)。在 CCA 排序图中,与第 1 排序轴相关性最大的变量是地面温度(相关系数为-0.930),其次是土壤有机碳(相关系数为 0.915),其余依次为土壤粘粉粒(相关系数为 0.863)、土壤含水量(相关系数为 0.805)、田间持水量(相关系数为 0.728)和土壤铵态氮(相关系数为 0.693),但是 6 个变量与第 2 排序轴的相关性均较小(相关系数在 0.01—0.241 之间)。这表明排序轴 1 主要反映了地面温度、土壤有机碳和粘粉粒等环境变量对‘腐食性+杂食性’类群分布的影响。地面温度的影响主要体现在较多的葬甲科、拟步甲科和气肢虫科动物分布在地面温度较高的天然草地和梭梭人工林地中,而土壤有机碳和粘粉粒含量的影响主要体现在较多的蟋蟀总科、伪叶甲科、卷甲虫科和绵虻科分布在土壤粘粉粒和有机碳含量较高的杨树和樟子松人工林和灌溉农田生境中(图 3)。

3 讨论

本项研究的结果支持了“土地覆被变化与管理措施相互作用通过改变样地的土壤生态环境,进而影响地面节肢动物群落组装过程”的科学假设。研究在以下几方面取得重要进展。

(1)作为对照的天然草地与未实施任何管理措施的人工梭梭灌木林的土壤生态环境特征无明显差异,而与实施灌溉措施的杨树和樟子松人工林及实施灌溉和施肥措施的农田生态系统存在显著的差异;同时研究还发现,覆被不同而管理措施相同的杨树人工林和樟子松人工林在土壤生态环境特征上无显著差异(表 2)。上述结果表明,在干旱环境条件下,土地覆被变化和管理措施在驱动样地的土壤生态环境演变过程中的作用与贡献率不同,在 21—33 a 的时间尺度上,在无任何管理措施扰动的前提下,单纯改变土地覆被并不会导致土壤环境的显著变化,而高强度的灌溉和施肥管理扰动明显加速了土壤生态环境的演变过程,导致了研究样地非生物环境条件的变化。因此,与土地覆被变化相比,管理措施在荒漠绿洲生态系统土壤生态环境演变过程中的贡献率更大,是关键驱动因子。

(2)对土地覆被变化和管理措施对地面节肢动物群落营养类群组成特征的影响机制的研究发现,将天然荒漠草地转变为实施零管理措施的人工梭梭灌木林 21a 后,并未对地面节肢动物营养类群的组成产生显著影响,然而将天然荒漠草地转变为实施灌溉管理的杨树和樟子松人工林及实施灌溉和施肥管理的农田生态系统 20 多年后,显著改变了地面节肢动物营养类群的组成特征,具体反映在:提高了群落中捕食性和植食性类群的比例,降低了‘腐食性+杂食性’类群的比例(图 2)。研究还发现,覆被不同而管理措施相同的杨树和樟子松人工林的地面节肢动物营养类群组成存在明显差异,主要反映在:杨树人工林生态系统中植食性类群所占比例要显著低于樟子松人工林生态系统,但前者的‘腐食性+杂食性’类群所占比例要显著高于后者(图 2)。上述研究结果表明,在缺乏管理措施的情况下,单纯改变土地覆被对地面节肢动物群落组成的影响并不十分显著,然而在高强度管理措施存在的情况下,土地覆被变化与管理措施可以通过相互作用对地面节肢动物群落组成产生显著的影响。国内外学者在其他生态系统类型的研究结果同样表明,土地覆被变化和管理措施对地面/土壤动物群落结构具有显著的影响^[19-29]。例如,庄海峰等在我国东北地区进行的一项有关施氮对落叶松和水曲柳人工林土壤动物群落结构影响的研究发现,施肥显著改变了两种人工林生态系统的土壤动物群落营养功能群的组成特征^[27]。朱强根等在半湿润地区的河南省封丘县的一项有关不同管理措施(包括不同耕作方式、不同施肥量和秸秆还田)对冬小麦农田生态系统土壤动物群落结构影响的研究中发现^[28],管理措施通过改变土壤理化性质(有机质含量、pH 值、全氮和速效磷)对土壤动物群落结构产生了显著的影响,但不同

管理措施对土壤动物群落结构和类群丰富度的调控作用有所不同。Stenbacka 等在瑞典北部地区对处于不同演替阶段(不同年龄)及实施不同采伐强度管理的 5 种云杉林甲虫群落数量和物种丰富度分布特征的研究发现,采伐管理强度对云杉林甲虫群落数量和物种丰富度的影响要大于林地年龄的影响^[29]。

(3)通过对土地覆被变化和管理措施对地面节肢动物不同营养类群个体数量和物种丰富度影响机制的研究发现,将天然草地转变为人工梭梭灌木林和人工樟子松林地后,显著降低了捕食性动物的个体数量,但对其物种丰富度无显著影响;同时还发现,天然草地转变为人工樟子松林和灌溉农田后,显著增加了植食性动物的个体数量,但对其物种丰富度无明显影响。相反,将天然草地转变为人工樟子松林和灌溉农田后,显著降低了‘腐食性+杂食性’动物的个体数量和物种丰富度(图 1)。上述研究结果显示了以下两点:一是不同营养类群的个体数量和物种丰富度对土地覆被变化和管理措施扰动的可塑性反应及其适应机理不同;二是土地覆被变化和管理措施对地面节肢动物个体数量的影响效应要大于对物种丰富度的影响,说明与物种丰富度相比,个体数量对土地覆被变化和管理扰动的反应更为敏感^[30],因而是一个能够更好地指征人类活动影响的重要生态指标^[31]。

(4)通过对地面节肢动物不同营养类群分布与非生物环境因子关系的多变量分析研究,揭示了地面节肢动物不同营养类群分布对土壤生态环境变化的响应模式及其差异,定量评价了不同土壤生态环境因子变化对 3 种营养类群分布的贡献率。CCA 分析表明,所测定的 13 个土壤生态环境变量解释了捕食性类群 50.5% 的变异、植食性类群 51.3% 的变异及‘腐食性+杂食性’类群 59.2% 的变异。偏 CCA 分析显示,在 13 个环境变量中,影响捕食性动物分布的关键生态因子是地面温度、田间持水量、土壤硝态氮、pH 值、土壤容重,其中地面温度、田间持水量和土壤硝态氮对捕食性动物群落变化的贡献率最大,是主导因子。地面温度对捕食性动物分布的影响主要体现在较多的跳蛛科、逍遥蛛科和步甲科动物分布在地面温度较高的天然草地生境中,而田间持水量的影响主要体现在较多的狼蛛科、阎甲科、花蚤科、球蛛科和啮齿科动物分布在田间持水量较高的杨树和樟子松人工林地中(图 3)。影响植食性动物分布的关键因子是土壤粘粉粒、土壤硝态氮、土壤容重、pH 值、田间持水量和土壤细砂含量,其中土壤粘粉粒、硝态氮、容重和 pH 值对植食性动物群落变化的贡献率最大,是主导因子。土壤粘粉粒、硝态氮和容重对植食性动物分布的影响,主要体现在较多的红椿科、缘椿科、椿科和蚜总科等动物分布在容重较低、粘粉粒和硝态氮含量较高的樟子松人工林地中,而 pH 值的影响主要体现在较多的象甲科动物分布在高 pH 值的天然荒漠草地生境中(图 3)。影响‘腐食性+杂食性’动物分布的关键因子是地面温度、田间持水量、土壤有机碳、土壤粘粉粒、土壤含水量和土壤铵态氮,其中地面温度对‘腐食性+杂食性’动物群落变化的贡献率最大,是主导因子。地面温度的影响主要体现在,较多的葬甲科、拟步甲科和气肢虫科动物分布在地面温度较高的天然荒漠草地和人工梭梭灌木林地中(图 3)。近年来,国内外学者在不同类型生态系统对非生物环境因子对地面节肢动物群落分布影响的研究表明^[32-37],非生物环境因子可以通过多种途径和机制(如通过影响地面节肢动物的食物资源数量和质量、成年动物对产卵地点的选择以及幼虫的生长发育和繁育过程等)对地面节肢动物群落的组装过程及其多样性形成产生重要的反馈作用。这与本研究结果相一致。

4 结论

(1)在干旱环境条件下,土地覆被变化和管理措施在驱动土壤生态环境演变过程中的作用和贡献率不同,在 21—33 a 的时间尺度上,单纯改变土地覆被并不会导致生境的显著变化,而高强度的灌溉和施肥措施加速了土壤生态环境的演变过程,导致了生境条件的显著改变。

(2)在缺乏管理措施的情况下,单纯改变土地覆被对地面节肢动物群落组成的影响并不十分显著,但是在管理措施存在的情况下,土地覆被变化与管理措施通过相互作用对地面节肢动物群落结构产生了显著影响。

(3)将天然草地转变为梭梭和樟子松人工林后,显著降低了捕食性动物的个体数量而对物种丰富度无显著影响;将天然草地转变为樟子松人工林和农田后,显著降低了‘腐食性+杂食性’动物的数量和物种丰富度,

同时显著增加了植食性动物的数量而对物种丰富度无显著影响。

(4)揭示了土壤环境因子变化对地面节肢动物不同营养类群分布格局的影响机制。影响捕食性动物分布的关键因子是地面温度、土壤硝态氮和田间持水量,影响植食性动物分布的关键因子是土壤粘粉粒、土壤硝态氮、土壤容重和 pH 值,影响‘腐食性+杂食性’动物分布的关键因子是地面温度和田间持水量。

(5)天然荒漠草地生态系统对维持跳蛛科、气肢虫科、逍遥蛛科、葬甲科、象甲科、拟步甲科和步甲科动物等类群的多样性有重要生态作用,杨树和樟子松人工林生态系统对维持狼蛛科、阎甲科、花蚤科、球蛛科、啮科、红椿科、缘椿科和椿科等动物类群的多样性有重要生态作用,而灌溉农田生态系统对于维持蟹蛛科、园蛛科、瓢甲科、隐翅虫科、虎甲科、叩甲科、鳃金龟科、绵虻科及蚜总科等动物类群的多样性有重要生态作用。

References:

- [1] Li X, Li X W, Li Z Y, Ma M G, Wang J, Xiao Q, Liu Q, Che T, Chen E X, Yan G J, Hu Z Y, Zhang L X, Chu R Z, Su P X, Liu Q H, Liu S M, Wang J D, Niu Z, Chen Y, Jin R, Wang W Z, Ran Y H, Xin X Z, Ren H Z. Watershed allied telemetry experimental research. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114: D22103, doi: 10.1029/2008JD011590.
- [2] Zhao W Z. 50 Years of oasis research in China//Wang T, ed. 50 Years of Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Sciences in China. Beijing: Science Press, 2009: 424-431.
- [3] Su Y Z, Zhao W Z, Su P X, Zhang Z H, Wang T, Ram R. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert ecotone in an arid region: a case study in Hexi Corridor, northwest China. *Ecological Engineering*, 2007, 29(2): 117-124.
- [4] Chen X. Land-Use/Cover Change in Arid Regions of China. Beijing: Science Press, 2008.
- [5] Zhang Y, Liu G M, Ma H Y, Wang G X. Changing characteristics of land-use and land-cover in the Heihe River Basin, China during 1987—2000. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(6): 740-746.
- [6] Chang J, Wang G X, Wang Y B. Driving factors of land use change in the Heihe River: case study of Zhangye prefecture. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(1): 117-123.
- [7] Xiao C S, Xiao H L. Advances in the study of the water regime process and driving mechanism in the Heihe River Basin. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(7): 748-755.
- [8] Yin W Y. Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 2000.
- [9] Fu S L, Zou X M, Coleman D. Highlights and perspectives of soil biology and ecology research in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 868-878.
- [10] Wang Q, Li F R, Zhang Z H. Effects of different irrigation and nitrogen supply levels on nitrate-N dynamics in a recently reclaimed sandy farmland in Heihe River Basin. *Environmental Science*, 2008, 29(7): 291-299.
- [11] Liu J L, Li F R, Liu Q J, Niu R X. Composition and diversity of surface-active soil fauna communities in arid desert ecosystems of the Heihe Basin. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(2): 3421-349.
- [12] Ziesche T M, Roth M. Influence of environmental parameters on small scale distribution of soil dwelling spiders in forests: what makes the difference, tree species or microhabitat? *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(3/4): 738-752.
- [13] Zheng L Y, Gui H. Classification of Insects in China. Nanjing: Nanjing Normal University Publishing House, 1999.
- [14] Hu J L. Agricultural and Forestry Spiders in China. Tianjin: Tianjin Science and Technology Publishing House, 1984.
- [15] Ren G D, Yu Y Z. The Darking Beetles from Deserts and Semi-Deserts of China (Coleoptera: Tenebrionidae). Baoding: University Publishing House, 1999.
- [16] Petersen H, Luxton M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*, 1982, 39(3): 288-388.
- [17] Brussaard L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 1998, 9(1/3): 123-135.
- [18] ter Braak C J F, Šmilauer P. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Ithaca: Microcomputer Power, 2002.
- [19] Downie I S, Wilson W L, Abernethy V J, McCracken D I, Foster G N, Ribera I, Murphy K J, Waterhouse A. The impact of different agricultural land-uses on epigeal spider diversity in Scotland. *Journal of Insect Conservation*, 1999, 3(4): 273-286.
- [20] Perner J, Malt S. Assessment of changing agricultural land use: response of vegetation, ground-dwelling spiders and beetles to the conversion of arable land into grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 98(1/3): 169-181.
- [21] Yin X Q, Wang H X, Zhou D W. Characteristics of soil animals' communities in different agricultural ecosystem in the Songnen grassland of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1071-1078.
- [22] Wang G L, Wang Y, Han L L, Zhang M W, Li B. Soil animal communities of variously utilized in the Dongting Lake Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2629-2636.
- [23] Lin Y H, Zhu P, Zhang F D, Peng C, Gao H J, Liu S H. Effect of different fertilizer treatments on crop soil insect community at Black soil district in Jilin Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1122-1130.
- [24] Wu D H, Zhang B, Chen P. Community composition and distribution of soil macro-arthropods under agricultural environment in the Black Soil

- Region of Jilin Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 125-131.
- [25] Miura F, Nakamoto L, Kanedab S, Okano S, Nakajima M, Murakami T. Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(2): 406-414.
- [26] Norris K. Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conservation Letters*, 2008, 1(1): 2-11.
- [27] Zhuang H F, Sun Y, Gu J C, Xu Y, Wang Z Q. Effects of nitrogen addition on soil fauna communities in *Larix gmelinii* and *Fraxinus mandshurica* plantations. *Biodiversity Science*, 2010, 18(4): 390-397.
- [28] Zhu Q G, Zhu A N, Zhang J B, Zhang H C, Yang S L, Wang Y K. Relation of agricultural soil fauna and soil fertility under conservation tillage systems. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(2): 70-76.
- [29] Stenbacka F, Hjältén J, Hilszczański J, Dynesius M. Saproxyllic and non-saproxyllic beetle assemblages in boreal spruce forests of different age and forestry intensity. *Ecology*, 2010, 20(8): 2310-2321.
- [30] Deng X B, Dou S Q, Fu X H, Yao T Q, Sheng C Y, Bai Z L. The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 130-138.
- [31] Rykken J J, Capen D E, Mahabir S P. Ground beetles as indicators of land type diversity in the Green Mountains of Vermont. *Conservation Biology*, 1997, 11(2): 522-530.
- [32] Stapp P. Microhabitat use and community structure of darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) in shortgrass prairie: effects of season, shrub and soil type. *The American Midland Naturalist*, 1997, 137(2): 298-311.
- [33] Antvogel H, Bonn A. Environmental parameters and microspatial distribution of insects: a case study of Carabids in an alluvial forest. *Ecography*, 2001, 24(4): 470-482.
- [34] Sanchez B C, Parmenter R R. Patterns of shrub-dwelling arthropod diversity across a desert shrubland-grassland ecotone: a test of island biogeographic theory. *Journal of Arid Environments*, 2002, 50(2): 247-265.
- [35] Mazía C N, Chaneton E J, Kitzberger T. Small-scale habitat use and assemblage structure of ground-dwelling beetles in a Patagonian shrub steppe. *Journal of Arid Environments*, 2006, 67(2): 177-194.
- [36] He Q, Wang X P, Yang G J. Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 923-932.
- [37] Liu J L, Li F R, Liu Q J, Niu R X, Qin Y. Interactive effects of microhabitat, environment and seasonal variation on the assembly of ground beetle communities in an arid shrubland. *Journal of Arid Environments*, (in press).

参考文献:

- [2] 赵文智. 中国绿洲研究 50 年//王涛. 中国寒区旱区环境与工程科学 50 年. 北京: 科学出版社, 2009: 424-431.
- [4] 陈曦. 中国干旱区土地利用与土地覆被变化. 北京: 科学出版社, 2008.
- [5] 张钰, 刘桂民, 马海燕, 王根绪. 黑河流域土地利用与覆被变化特征. *冰川冻土*, 2004, 26(6): 740-746.
- [6] 常娟, 王根绪, 王一博. 黑河流域土地利用变化的影响因素-以张掖地区为例. *冰川冻土*, 2005, 27(1): 117-123.
- [7] 肖春生, 肖洪浪. 黑河流域水环境演变及其驱动机制研究进展. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 748-755.
- [8] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 2000.
- [10] 王琦, 李锋瑞, 张智慧. 灌溉与施肥对黑河中游新垦沙地农田土壤硝态氮动态的影响. *环境科学*, 2008, 29(7): 291-299.
- [11] 刘继亮, 李锋瑞, 刘七军, 牛瑞雪. 黑河流域荒漠生态系统地面土壤动物群落的组成与多样性. *中国沙漠*, 2010, 30(2): 3421-349.
- [13] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [14] 胡金林. 中国农林蜘蛛. 天津: 天津科学技术出版社, 1984.
- [15] 任国栋, 于有志. 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫. 保定: 河北大学出版社, 1999.
- [21] 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. *生态学报*, 2003, 23(6): 1071-1078.
- [22] 王广力, 王勇, 韩立亮, 张美文, 李波. 洞庭湖区不同土地利用方式下的土壤动物群落结构. *生态学报*, 2005, 25(10): 2629-2636.
- [23] 林英华, 朱平, 张夫道, 彭畅, 高洪军, 刘淑环. 吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响. *生态学报*, 2006, 26(4): 1122-1130.
- [24] 吴东辉, 张柏, 陈鹏. 吉林省黑土区农业生境大型土壤节肢动物群落组成与生态分布. *中国农业科学*, 2006, 39(1): 125-131.
- [27] 庄海峰, 孙玥, 谷加存, 许咏, 王政权. 施氮肥对落叶松和水曲柳人工林土壤动物群落的影响. *生物多样性*, 2010, 18(4): 390-397.
- [28] 朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 张焕朝, 杨淑莉, 王意锷. 保护性耕作下土壤动物群落及其与土壤肥力的关系. *农业工程学报*, 2010, 26(2): 70-76.
- [30] 邓晓保, 邹寿青, 付先惠, 姚天全, 盛才余, 白智林. 西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响. *生态学报*, 2003, 23(1): 130-138.
- [36] 贺奇, 王新谱, 杨贵军. 宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性. *生态学报*, 2011, 31(4): 923-932.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 15 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance	LI Fengrui, LIU Jiliang, HUA Wei, et al (4169)
Construction and comparative analysis of enriched microsatellite library from <i>Liposcelis bostrychophila</i> and <i>L. entomophila</i> genome	WEI Dandan, YUAN Minglong, WANG Baojun, et al (4182)
Development of EST-SSRs markers and analysis of genetic diversities among different geographical populations of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i>	YAN Xiwu, YU Zhifei, QIN Yanjie, et al (4190)
Genetic diversity of different generations of the Dalian population of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> through selective breeding	YU Zhifei, YAN Xiwu, YANG Fei, et al (4199)
Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field	JIANG Lina, ZHAO Yanling, SHAO Yun, et al (4207)
Effects of organic fertilizer on growth and endogenous hormone contents of wheat seedlings under salt stress	LIU Haiying, CUI Changhai, ZHAO Qian, et al (4215)
Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau; a case study in Dingxi, Gansu Province	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhui, et al (4225)
Dynamic changes in nitrogen and phosphorus concentrations and emission-reduction potentials in paddy field water under different tillage models	FENG Guolu, YANG Renbin (4235)
Effects of planting and straw returning of transgenic Bt maize on soil enzyme activities under field condition	YAN Shilei, ZHAO Lei, SUN Hongwei, et al (4244)
Effects of short-term flooding on <i>Geobacteraceae</i> spp. and <i>Anaeromyxobacter</i> spp. abundance in paddy soil	ZHU Chao, Stefan Ratering, QU Dong, et al (4251)
Adaptative adjustments of the sowing date of late season rice under climate change in Guangdong Province	WANG Hua, CHEN Xinguang, HU Fei, et al (4261)
Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (4270)
Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the Grain for Green Project on China's hilly Loess Plateau	LIU Yingchun, WANG Qiufeng, YU Guirui, et al (4277)
Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang (4287)
Seasonal dynamics of litter accumulation in major forest communities on the northern slope of Changbai Mountain, Northeast China	ZHENG Jinping, GUO Zhongling, XU Chengyang, et al (4299)
A comparative study of seed germination traits of 52 species from Gurbantunggut Desert and its peripheral zone	LIU Huiliang, SONG Mingfang, DUAN Shimin, et al (4308)
The reproductive ecological characteristics of <i>Sinosenecio jishouensis</i> (Compositae) and its endangerment mechanisms	DENG Tao, CHEN Gongxi, ZHANG Daigui, et al (4318)
Iterative algorithm for analyzing the influence of the proportion of permanently destroyed sites on the equilibrium abundances of species	SHI Peijian, GE Feng, YANG Qingpei (4327)
Physiological mechanism of foliage spraying paclobutrazol on increasing salt tolerance of <i>Jatropha curcas</i> seedlings	MAO Yiqing, ZHENG Qingsong, CHEN Jianmiao, et al (4334)
Spatial ecological niche of main insect borers in larch of Aershan	YUAN Fei, LUO Youqing, SHI Juan, et al (4342)
Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth) in Yunnan, 2009	SHEN Huimei, LÜ Jianping, ZHOU Jinyu, et al (4350)
Life history and the evolutionary significance of egg diapause in Changsha population of the rice grasshopper, <i>Oxya chinensis</i> (Orthoptera: Catantopidae)	ZHU Daohong, ZHANG Chao, TAN Ronghe (4365)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in "518" nectarine orchard	SHI Xiaoli, BI Shoudong, GENG Jiguang, et al (4372)
Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China	ZHANG Hongzhi, WU Pengfei, YANG Daxing, et al (4385)
Seasonal changes in waterbirds population and movements of Great Black-headed Gull <i>Larus ichthyaetus</i> at Keluke Lake of Qinghai, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, HOU Yunqiu, et al (4398)
Predictions of net carbon emissions based on the emissions and forest carbon sinks in Yunnan Province	LIU Huiya, WANG Zheng, MA Xiaozhe (4405)
Ecological water depletion by human use in Beijing City	BAI Yinglan, WANG Rusong, YAO Liang (4415)
Review and Monograph	
Research progress on regulation mechanism for the process of water transport in plants	YANG Qiliang, ZHANG Fucang, LIU Xiaogang, et al (4427)
Antibiotics in environmental matrices and their effects on microbial ecosystems	YU Shen, WANG Min, HONG Youwei (4437)
Anaerobic ammonium oxidation in natural ecosystems	SHEN Lidong, ZHENG Ping, HU Baolan (4447)
Scientific Note	
Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula	ZHANG Ying, LÜ Zhenbo, XU Zongfa, et al (4455)
Seasonal succession of crustacean zooplankton in relation to the major environmental factors in Lake Ulungur, Xinjiang	YANG Lili, ZHOU Xiaoyu, LIU Qigen, et al (4468)
Effect of different fertilization and irrigation practices on soil ammonia volatilization of Arecanut (<i>Areca catechu</i> L.)	LU Lilan, GAN Bingchun, XU Minghui, et al (4477)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 15 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 15 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

主 编 冯宗炜

主 管 中国科学技术协会

主 办 中国生态学会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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@espg.net

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933



9 771000 093118

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