

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

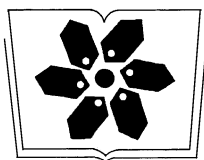
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **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 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

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/stxb201204250593

杨大星, 杨茂发, 徐进, 尚小丽. 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性. 生态学报, 2013, 33(8): 2531-2544.

Yang D X, Yang M F, Xu J, Shang X L. Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2531-2544.

马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段 中小型土壤节肢动物多样性

杨大星, 杨茂发*, 徐进, 尚小丽

(贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025)

摘要:为探明喀斯特地区马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性, 2011 年 10 月(秋季)和 2012 年 2 月(冬季)对火烧后恢复 1.5 个月(RS1)、1.5 年(RS2)的马尾松人工林迹地和马尾松人工林(CK)各进行了两次调查。共获得中小型土壤节肢动物 15704 只, 隶属 7 纲 13 目 89 科 134 类。研究表明, 马尾松人工林迹地中小型土壤节肢动物类群数、个体密度、多样性和相似性均随恢复时间的增加而增加; 类群数和个体密度与全钾显著相关; 在季节变化上, RS1 个体密度冬季显著高于秋季, RS2 和 CK 类群数、个体密度和多样性冬季显著高于秋季。结果说明, 随着恢复时间的增加, 喀斯特马尾松人工林火烧迹地中小型土壤节肢动物群落结构发生明显改变, 趋于复杂, 稳定性提高, 季节敏感性增加。

关键词:喀斯特地区; 马尾松人工林; 火烧迹地; 土壤动物

Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages

YANG Daxing, YANG Maofa*, XU Jin, SHANG Xiaoli

Institute of Entomology, Guizhou Key Laboratory for Plant Pests Management of Mountainous Region, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: Guizhou province, located on the center of southwestern Karst region, is an ecological fragile zone. Fire is one of the important factors that lead to degradation of Karst ecosystem, but the effect of fire disturbance on the structure and diversity of the below-ground soil biota is little known. In order to examine the structure and diversity variation of soil meso-and micro arthropod in different restoration stages of *Pinus massoniana* plantation after burned, investigations were conducted on forests after 1.5 months (RS1) burning, 1.5 years (RS2) burning and unburned *Pinus massoniana* plantation (CK) in October (Autumn), 2011 and February (Winter), 2012, respectively. The method of Tullgren was used to extract soil meso- and micro arthropod from soil samples. A total of 15704 individuals, belonging to 7 classes, 13 orders, 89 families and 134 groups, were extracted from the soil. The soil meso- and micro arthropod community showed typical zonal characteristics compared with other localities in China. *Oppeilla* and *Aenictus* were the dominant groups of the soil meso- and micro arthropod community in burned areas, account for 35.93%. The community taxonomic richness, density and Margalef index (D) of soil meso- and micro arthropod increased significantly with the increasing of the recovery time in Autumn and Winter ($P < 0.01$). The Shannon-wiener index (H') was not significantly changed in Autumn ($P > 0.05$), but increased significantly in Winter ($P < 0.001$). Simpson index (S) decreased significantly with the increasing of the recovery time in Autumn and Winter ($P < 0.001$). Pielou index (E) has not significantly changed in Autumn and Winter ($P > 0.05$). Furthermore, the coefficient of Sorenson suggested that the recovery time had significant effect on

基金项目: 贵州省农业科技攻关项目(黔科合 NY 字[2010]3079 号)资助)

收稿日期: 2012-04-25; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangmaofa@sohu.com

taxonomic composition of soil meso- and micro arthropod communities in Autumn and Winter. Pearson correlation analysis showed the taxonomic group and individual density of the community had a significantly positive relationship with TK. In terms of seasonal variation, individual density of soil meso- and micro arthropod showed significant difference between different seasons in RS1 ($P < 0.01$). The significant seasonal changes were recorded with taxonomic group, individual density, Shannon-wiener index (H') and Pielou index (E) in RS2 ($P < 0.05$), and the significant seasonal change were also found with taxonomic group, individual density, Shannon-wiener index (H') and Margalef index (D) in CK ($P < 0.05$). Season similarities between the different restoration stages, as shown by the Sorenson, indicated that seasonal changes had greater effect on taxonomic composition in RS1 than in RS2 and CK. All the results above suggested that soil meso- and micro arthropod community structure changed significantly, which trended to more complex and stable with the extend of recovery time of *Pinus massoniana* plantation in Karst ecosystem after fire, its sensitivity of seasonal variation also increased.

Key Words: Karst area; *Pinus massoniana* plantation; burned area; soil fauna

土壤动物作为生态系统的重要组成部分,具有驱动物质循环和能量流动,促进土壤形成、养分矿化及植被的演替等作用^[1-5],因其能反映生境的优越程度,故常被用作环境健康状况的指示生物^[6-8]。

贵州地处我国西南喀斯特地区的中心^[9],自实行退耕还林政策以来,大量的农业用地转变为森林。因马尾松(*Pinus massoniana*)生长速度快、适应能力强,所以常被用作喀斯特地区退耕还林的首要栽培树种而被大面积种植,并产生了巨大的经济效益和重要生态作用。然而,贵州是森林火灾发生较为频繁的地区之一^[10],火干扰通过改变区域生态系统格局与过程,进而影响其生态服务功能^[11]。国外对此开展了一系列相关研究,发现火干扰明显影响土壤动物的组成与分布^[12],火干扰对土壤动物的影响可以是直接的致死作用,也可以是通过破坏其生存环境而改变其分布格局,火干扰后土壤动物的恢复速度也因火烧强度和植被差异而存在不同^[13-17]。从目前来看,国内有关于火干扰与土壤动物相互关系的研究较少,在喀斯特地区更是鲜见报道。

本研究在贵州南部选取火烧后马尾松人工林不同恢复阶段中小型土壤节肢动物为研究对象,通过对火烧后中小型土壤节肢动物多样性的调查研究,探明中小型土壤节肢动物在火烧后的恢复动态,掌握中小型土壤节肢动物在不同恢复阶段的分布规律,研究结果可为森林火灾后森林生态系统的恢复重建提供土壤节肢动物方面的科学依据。

1 研究区概况

研究区位于贵州省黔南州惠水县境内的大龙乡排楼村与干昌村之间,地理位置 $106^{\circ}34' - 106^{\circ}38'E$, $26^{\circ}01' - 26^{\circ}03'N$, 平均海拔 1100m, 属亚热带季风气候, 年均气温 $13.6 - 19.6^{\circ}C$, 无霜期 240—320d, 年平均降雨量 1100—1400 mm, 年平均相对湿度 80%—83%^[18]; 区内地形复杂, 喀斯特地貌广泛分布, 植被主要有马尾松、茅栗(*Castanea seguinii*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)等, 其中马尾松人工林是该区最具代表性的森林类型之一^[19]。土壤类型主要有黄壤、石灰土和紫色土等。

2 样地选择与研究方法

2.1 样地选择

在研究区内选取火烧后 1.5 个月马尾松人工林迹地(RS1)和火烧后 1.5a 马尾松人工林迹地(RS2)作为实验样地,并在 RS1 附近选 1 个未被火烧的马尾松人工林作为对照(CK)。火烧迹地的恢复时间为第 1 次采样日期与森林火灾发生日期的时间间隔。所选择的 3 个样地均为退耕还林后的马尾松林,退耕还林时间为 10a。于 2011 年 10 月(秋季)和 2012 年 2 月(冬季)两次对所选样地进行中小型土壤节肢动物调查。各样地的自然概况见表 1。

2.2 样本采集与处理

每个样地随机选取 6 个采样点,每个采样点间隔 5 m 以上,取样面积分为 10 cm×10 cm,按 0—5 cm、5—10 cm 和 10—15 cm 自上而下分 3 层取土,每层取土样各 1 份,装入自封袋内,并做相应的标记,以备室内分离。同时在每个样点采集适量土壤样本,分析土壤理化性质。

表 1 不同恢复阶段自然概况(平均值±标准误, $n=12$)

Table 1 The natural conditions at different restoration stages (Mean±SE, $n=12$)

恢复阶段 Restoration stages	RS1	RS2	CK
火烧程度 The intensity of fire	中	重	无
优势植物种类 Dominant plant species	马尾松	马尾松、油桐(<i>Vernicia fordii</i>)、枫香、芒萁、茛草(<i>Arthraxon hispidus</i>)和少量苔藓(Bryophyta)等	马尾松、芒萁、茛草、青冈栎和苔藓等
植被盖度 Vegetation coverage/%	30	60	90
土壤类型 Soil type	黄壤	黄壤	黄壤
pH	4.68±0.05a	4.85±0.05b	4.90±0.05b
有机质 SOM/(g/kg)	36.38±4.68a	28.72±2.09ab	26.75±1.47b
全氮 TN/(g/kg)	1.32±0.13a	1.40±0.08a	1.24±0.04a
全磷 TP/(g/kg)	0.24±0.02a	0.39±0.02b	0.50±0.03c
全钾 TK/(g/kg)	2.63±0.14a	3.93±0.17b	3.48±0.17b
有效氮 AN/(mg/kg)	115.58±6.73a	138.67±5.96b	120.50±6.71ab
有效磷 AP/(mg/kg)	10.78±2.30a	11.12±1.51a	37.79±8.25b
有效钾 AK/(mg/kg)	59.75±6.53a	43.42±3.88b	36.58±3.75b

* 同一行中,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); RS1:火烧后 1.5 个月马尾松人工林迹地; RS2:火烧后 1.5a 马尾松人工林迹地

分离和鉴定 实验室内,用干漏斗法(Tullgren 法)分离中小型土壤节肢动物,温度控制在 35℃左右,分离时间为 24 h。收集到的中小型土壤节肢动物根据《中国土壤动物检索图鉴》^[20]、《蜚蠊学》^[21]和《幼虫分类学》^[22]在体式显微镜(SMZ-168)和光学显微镜(B1 series)下对其进行分类鉴定,一般鉴定到科或属,并统计个体数量。

土壤理化分析 pH 值采用电位法(水土比 2.5:1);有机质采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法;全氮采用凯氏定氮法;全磷采用钼锑抗比色法;全钾采用火焰分光光度法;有效氮采用 $\text{FeSO}_4\text{-Zn}$ 还原-碱解扩散法;有效磷采用钼锑抗比色法;有效钾采用火焰分光光度法^[23]。

2.3 数据分析处理

中小型土壤节肢动物群落多样性采用以下几个指数进行分析:

$$\text{Shannon-wiener 多样性指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad E = H' / \ln S$$

$$\text{Simpson 优势度指数} \quad C = \sum (P_i)^2$$

$$\text{Margalef 丰富度指数} \quad D = (S - 1) / \ln N$$

式中, S 为类群数, N 为中小型土壤节肢动物总个体数, P_i 为第 i 类群的百分比。

群落相似性

$$\text{Sorenson 指数} \quad C_s = 2j / (a + b)$$

式中, j 为两个群落共有的类群数, a 和 b 分别为样地 A 和样地 B 的类群数, $0 < C_s < 0.25$ 为极不相似, $0.25 \leq C_s < 0.5$ 为中等不相似, $0.5 \leq C_s < 0.75$ 为中等相似, $0.75 \leq C_s < 1.0$ 为极为相似。

对于服从正态分布的数据,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验群落间的差异,若差异显著则用 LSD 法(方差齐性)和 Tamhane 法(方差不齐)进行多重比较。若数据不服从正态分布,则利用 $\log(x + 1)$ 转

换,如果仍不服从正态分布,则用 Kruskal Wallis Test(H) 进行非参数检验。使用 Pearson 系数(双尾检验)进行相关性分析。数据的分析处理在 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 16.0 上进行,使用 Origin8.5 作图。

3 结果与分析

3.1 中小型土壤节肢动物的组成

两次调查共分离得到中小型土壤节肢动物 15704 只,隶属 7 纲 13 目 89 科 134 类(表 2)。其中小奥甲螨属(*Oppiella*)和双节行军蚁属(*Aenictus*)为优势类群,占总个体数的 35.93%;常见类群为符蜱属(*Folsomia*)、盖头甲螨属(*Tectocepheus*)和奇蜱属(*Xenylla*)等 13 类,占总个体数的 45.95%;其余 119 类为稀有类群,占总个体数的 18.12%。

不同样地间的中小型土壤节肢动物群落结构存在一定的差异。在 RS1 中,优势类群为摇蚊科(Chironomidae)、小奥甲螨属和双节行军蚁属等 4 类,占 RS1 总个体数的 80.07%;常见类群为拟上罗甲螨属(*Epilohmannoides*)、厚厉螨属(*Pachylaelaps*)和半懒甲螨属(*Heminothrus*)等 4 类,占 RS1 总个体数的 9.41%;其余为稀有类群共 40 类,占 RS1 总个体数的 10.51%。

在 RS2 中,双节行军蚁属和小奥甲螨属 2 类为优势类群,占 RS2 总个体数的 34.27%;常见类群为奇蜱属、爪甲螨属(*Unguizetes*)和符蜱属等 14 类,占 RS2 总个体数的 47.21%;其余为稀有类群共 80 类,占 RS2 总个体数的 18.52%。

在 CK 中,小奥甲螨属、双节行军蚁属和符蜱属 3 类为优势类群,占 CK 总个体数的 48.50%;常见类群为盖头甲螨属(*Tectocepheus*)、微离螨科(Microdispidae)和短甲螨属(*Brachychthonius*)等 12 类,占 CK 总个体数的 38.49%;其余为稀有类群共 88 类,占 CK 总个体数的 13.01%。

RS1 的螨类与弹尾类数量的比值(A/C 值)为 15.83,高于 RS2 和 CK 的 2.51 和 3.00。说明火烧干扰能在短时间内提高螨类相对数量,降低弹尾类相对数量。

表 2 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物组成与数量

Table 2 The richness and abundance of soil meso-and microarthropod at different restoration stages

	RS1		RS2		CK		合计 Total	
	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent
寄螨目 Parasiformes								
囊螨属 <i>Asca</i>			36	0.91	154	1.41	190	1.21
厚厉螨属 <i>Pachylaelaps</i>	24	2.93	72	1.81	67	0.61	163	1.04
美绥螨属 <i>Ameroseius</i>	6	0.73	19	0.48	100	0.92	125	0.80
土厉螨属 <i>Ololaelaps</i>	7	0.86	12	0.30	67	0.61	86	0.55
克螨属 <i>Kleenannia</i>			44	1.11	19	0.17	63	0.40
厉螨科 Laelapidae	1	0.12	16	0.40	23	0.21	40	0.25
肛厉螨属 <i>Proctolaelaps</i>			38	0.96			38	0.24
表刻螨科 Epicriidae					36	0.33	36	0.23
寄螨科 Parasitidae	2	0.24	7	0.18	18	0.16	27	0.17
厚螨属 <i>Pachyseius</i>	1	0.12	7	0.18	1	0.01	9	0.06
囊螨科 Ascidae	5	0.61	1	0.03	2	0.02	8	0.05
尾足螨科 Uropodidae	1	0.12	3	0.08	3	0.03	7	0.04
真伊螨科 Eviphididae			3	0.08	2	0.02	5	0.03
毛绥螨属 <i>Lasioseius</i>			4	0.10			4	0.03
植绥螨科 Phytoseiidae			1	0.03	1	0.01	2	0.01
雕盾螨属 <i>Glyptolaspis</i>					2	0.02	2	0.01
真螨目 Acariformes								
小奥甲螨属 <i>Oppiella</i>	151	18.46	668	16.81	2052	18.80	2871	18.28
盖头甲螨属 <i>Tectocepheus</i>	1	0.12	32	0.81	1024	9.38	1057	6.73
爪甲螨属 <i>Unguizetes</i>			260	6.54	389	3.56	649	4.13

续表

	RS1		RS2		CK		合计 Total	
	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent
短甲螨属 <i>Brachychthonius</i>			145	3.65	465	4.26	610	3.88
微离螨科 Microdispidae			6	0.15	548	5.02	554	3.53
小真古螨科 Eupalopsellidae			12	0.30	441	4.04	453	2.88
拉奥甲螨属 <i>Lauropia</i>	108	13.20	26	0.65	112	1.03	246	1.57
格甲螨属 <i>Ghiraovus</i>			194	4.88	32	0.29	226	1.44
叶螨科 Tetranychidae			10	0.25	125	1.15	135	0.86
三皱甲螨属 <i>Rhysotritia</i>	3	0.37	56	1.41	65	0.60	124	0.79
上罗甲螨属 <i>Epilohmannia</i>			102	2.57	11	0.10	113	0.72
盲甲螨属 <i>Malaconothrus</i>					110	1.01	110	0.70
角单翼甲螨属 <i>Rostrozetes</i>	5	0.61	79	1.99	20	0.18	104	0.66
真长须螨属 <i>Cheylostigmaeus</i>			101	2.54			101	0.64
全大翼甲螨属 <i>Pergalumna</i>			19	0.48	80	0.73	99	0.63
拟上罗甲螨属 <i>Epilohmannoides</i>	26	3.18	4	0.10	53	0.49	83	0.53
微奥甲螨属 <i>Micropia</i>			14	0.35	63	0.58	77	0.49
梨甲螨属 <i>Pyropia</i>					73	0.67	73	0.46
管吸螨属 <i>Cyta</i>			23	0.58	47	0.43	70	0.45
角甲螨属 <i>Ceratoppia</i>			1	0.03	62	0.57	63	0.40
奥甲螨属 <i>Oppia</i>	3	0.37			39	0.36	42	0.27
枝奥甲螨属 <i>Ramusella</i>			38	0.96	3	0.03	41	0.26
半懒甲螨属 <i>Heminothrus</i>	16	1.96	7	0.18	16	0.15	39	0.25
若甲螨属 <i>Oeibatula</i>					33	0.30	33	0.21
异盾珠甲螨属 <i>Allosuctobelba</i>			11	0.28	20	0.18	31	0.20
跗线螨科 Tarsonemidae			14	0.35	8	0.07	22	0.14
盾螨科 Scutacaridae			20	0.50	2	0.02	22	0.14
顶翼甲螨属 <i>Acrogalumna</i>			5	0.13	17	0.16	22	0.14
裂头甲螨属 <i>Fissicepheus</i>			19	0.48	1	0.01	20	0.13
混居甲螨属 <i>Mixacarus</i>			13	0.33	2	0.02	15	0.10
多奥甲螨属 <i>Multioppia</i>					13	0.12	13	0.08
罗甲螨属 <i>Lohmannia</i>			13	0.33			13	0.08
真足螨科 Eupodidae			9	0.23	3	0.03	12	0.08
小甲螨属 <i>Oribatella</i>	11	1.34					11	0.07
隐颚螨科 Cryptognathidae	2	0.24	1	0.03	3	0.03	6	0.04
长须螨科 Stigmaeidae	1	0.12	1	0.03	4	0.04	6	0.04
尖奥甲螨属 <i>Oxyoppia</i>	1	0.12			4	0.04	5	0.03
大奥甲螨属 <i>Lasiobelba</i>					4	0.04	4	0.03
懒甲螨属 <i>Nothrus</i>			4	0.10			4	0.03
刀肋甲螨属 <i>Cultroribula</i>			4	0.10			4	0.03
螯长须螨属 <i>Eustigmaeus</i>			3	0.08			3	0.02
枸奥甲螨属 <i>Goyoppia</i>	2	0.24	1	0.03			3	0.02
小盾珠甲螨属 <i>Suctobelbella</i>			2	0.05	1	0.01	3	0.02
卷甲螨属 <i>Phthiracarus</i>			3	0.08			3	0.02
赤螨科 Erythraeidae			1	0.03	1	0.01	2	0.01
小棱甲螨属 <i>Microzetes</i>			2	0.05			2	0.01
平脊甲螨属 <i>Autogneta</i>					2	0.02	2	0.01
异珠足甲螨属 <i>Heterpbelba</i>	1	0.12			1	0.01	2	0.01

续表

	RS1		RS2		CK		合计 Total	
	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent
表珠甲螨属 <i>Epidamaeus</i>					2	0.02	2	0.01
吸螨科 Bdelidae					1	0.01	1	0.01
巨须螨科 Cunaxidae					1	0.01	1	0.01
硬指螨属 <i>Dactyloscrius</i>	1	0.12					1	0.01
弓奥甲螨属 <i>Arcoppia</i>			1	0.03			1	0.01
足肋甲螨属 <i>Podoribates</i>					1	0.01	1	0.01
圆单翼甲螨属 <i>Peloribates</i>					1	0.01	1	0.01
鞭遁珠甲螨属 <i>Flagrosuctobelba</i>					1	0.01	1	0.01
南角甲螨属 <i>Austroceratoppia</i>					1	0.01	1	0.01
日本汗甲螨属 <i>Nippohermannia</i>					1	0.01	1	0.01
高壳甲螨属 <i>Liodes</i>	1	0.12					1	0.01
步甲螨属 <i>Carabodes</i>			1	0.03			1	0.01
弹尾目 Collembola								
符蛱属 <i>Folsomia</i>	2	0.24	241	6.06	1292	11.84	1535	9.77
奇蛱属 <i>Xenylla</i>	2	0.24	353	8.88	436	4.00	791	5.04
疣蛱科 Neanridae	1	0.12	43	1.08	205	1.88	249	1.59
裔符蛱属 <i>Folsomides</i>			113	2.84	1	0.01	114	0.73
球角蛱科 Hypogastruridae	1	0.12	29	0.73	58	0.53	88	0.56
圆蛱科 Sminthuridae	3	0.37	37	0.93	22	0.20	62	0.39
长蛱属 <i>Entomobrya</i>			28	0.70	17	0.16	45	0.29
近缺蛱属 <i>Paranurophorus</i>	1	0.12	4	0.10	29	0.27	34	0.22
库蛱属 <i>Coloburella</i>			12	0.30	18	0.16	30	0.19
球角蛱属 <i>Hypogastrura</i>	8	0.98	4	0.10	17	0.16	29	0.18
长角蛱科 Entomobryidae					22	0.20	22	0.14
棘蛱属 <i>Onychiurus</i>			1	0.03	17	0.16	18	0.11
等节蛱科 Isotomidae	1	0.12	5	0.13	7	0.06	13	0.08
棘蛱科 Onychiuridae	4	0.49	1	0.03	3	0.03	8	0.05
鳞蛱属 <i>Tomocerus</i>					2	0.02	2	0.01
裸长角蛱属 <i>Sinella</i>			2	0.05			2	0.01
奇刺蛱属 <i>Friesea</i>					2	0.02	2	0.01
土蛱属 <i>Tullbergia</i>	1	0.12					1	0.01
双翅目幼虫 Diptera larvae								
摇蚊科 Chironomidae	266	32.52	36	0.91	191	1.75	493	3.14
酩蝇科 Piophilidae	1	0.12	73	1.84	28	0.26	102	0.65
蚤蝇科 Phoridae					16	0.15	16	0.10
鹬虻科 Rhagionidae	2	0.24	5	0.13	6	0.05	13	0.08
蝇科 Muscidae	1	0.12	4	0.10	7	0.06	12	0.08
蚜蝇科 Syrphidae					6	0.05	6	0.04
舞虻科 Empididae			5	0.13			5	0.03
长足虻科 Dolichopodidae	1	0.12	3	0.08	1	0.01	5	0.03
麻蝇科 Sarcophagidae	1	0.12			2	0.02	3	0.02
尖眼蕈蚊科 Sciaridae	1	0.12	1	0.03	1	0.01	3	0.02
蕈蚊科 Mycetophilidae					2	0.02	2	0.01
鞘翅目 Coleoptera								

续表

	RS1		RS2		CK		合计 Total	
	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent	个体数/只 Individual	百分比/% Percent
金龟甲科成虫 Scarabaeidae adult	1	0.12	4	0.10	5	0.05	10	0.06
隐翅虫科幼虫 Staphylinidae larvae			1	0.03	6	0.05	7	0.04
蚁甲科成虫 Pselaphidae adult			1	0.03	4	0.04	5	0.03
步甲科幼虫 Carabidae larvae	1	0.12	4	0.10			5	0.03
露尾甲科成虫 Nitidulidae adult			4	0.10			4	0.03
拟步甲科幼虫 Tenebrionidae larvae			2	0.05			2	0.01
叶甲科成虫 Chrysomelidae adult					2	0.02	2	0.01
隐翅甲科成虫 Staphylinidae adult			1	0.03	1	0.01	2	0.01
步甲科成虫 Scarabidae adult			1	0.03	1	0.01	2	0.01
小蕈甲科成虫 Mycetophagidae adult					1	0.01	1	0.01
叩甲科幼虫 Elateridae larvae			1	0.03			1	0.01
膜翅目 Hymenoptera								
双节行军蚁属 <i>Aenictus</i>	130	15.89	694	17.46	1948	17.85	2772	17.65
其它 Others								
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	1	0.12					1	0.01
卷叶蛾科 Tortricidae			4	0.10	1	0.01	5	0.03
管蓟马科 Phlaothripidae					44	0.40	44	0.28
眼管蓟马属 <i>Ophthalmothrips</i>					2	0.02	2	0.01
虱啮属 <i>Liposcelis</i>	6	0.73	2	0.05			8	0.05
同翅目(蚜虫) Aphid			27	0.68	26	0.24	53	0.34
同翅目 Homoptera			20	0.50	2	0.02	22	0.14
拟平腹蛛科 Zodariidae			1	0.03			1	0.01
六眼幽灵蛛属 <i>Spermophora</i>			2	0.05			2	0.01
苦伪蝎科 Chernetidae			1	0.03			1	0.01
阿伪蝎科 Atenidae	1	0.12			5	0.05	6	0.04
手伪蝎科 Cheiridiidae					1	0.01	1	0.01
副铗蚋科 Parajapygidae	1	0.12			2	0.02	3	0.02
副铗蚋属 <i>Parajapyx</i>			7	0.18			7	0.04
蠋线属 <i>Pauropus</i>			4	0.10			4	0.03
原尾纲 Protura			2	0.05			2	0.01
螯蛸科 Scolopendrellidae			3	0.08			3	0.02
总个体数 Total number of individuals	818		3974		10912		15704	
总类群数 Total number of groups	48		96		103		134	

密度占总密度的 10% 以上为优势类群,密度占总密度的 1%—10% 为常见类群,密度占总密度的 1% 以下为稀有类群

3.2 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物垂直分布

中小型土壤节肢动物类群数和个体密度随土层深度增加而降低,但不同恢复阶段垂直分布情况有差异(图 1)。秋季 RS1 和 RS2 类群百分比和密度百分比各层无显著差异;CK 类群百分比($F=15.04$, $P<0.001$)和密度百分比($F=7.09$, $P<0.01$)垂直分布差异显著。冬季 RS1 类群百分比($F=10.16$, $P<0.01$)和密度百

分比($F=39.85$, $P<0.001$)垂直分布差异显著;RS2 类群百分比垂直分布差异显著($F=4.14$, $P<0.05$),但密度百分比垂直分布差异不显著;CK 类群百分比($F=283.25$, $P<0.001$)和密度百分比($F=886.87$, $P<0.001$)垂直分布差异显著。

很显然,在垂直分布表聚性上,RS1 和 RS2 中小型土壤节肢动物的表聚性低于 CK,而 RS1 和 RS2 垂直分布的差别不大,但季节波动较大。说明火烧干扰使中小型土壤节肢动物表聚性降低,垂直分布季节稳定性下降。

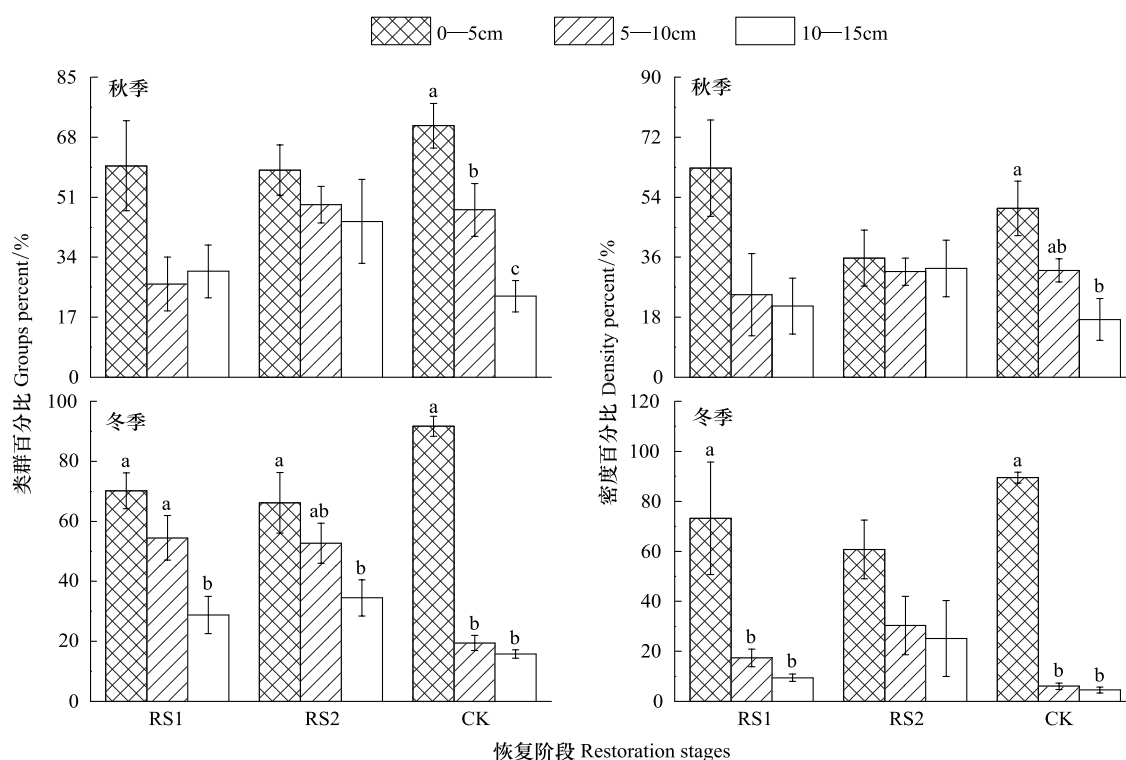


图1 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物垂直分布(平均值±标准误)

Fig.1 Vertical distribution of the group number and individual density of soil meso-and microarthropod at different restoration stages (Mean±SE)

不同字母表示空间差异显著($P<0.05$);RS1:火烧后1.5个月马尾松人工林迹地;RS2:火烧后1.5a马尾松人工林迹地

3.3 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物类群数和个体密度

不同恢复阶段中小型土壤节肢动物类群数和个体密度有所不同(图2)。秋、冬两季,CK 和 RS2 类群数均无显著差异,但二者显著高于 RS1 ($F_{秋}=17.85$, $F_{冬}=28.40$, $P<0.001$);个体密度分布与类群数不同,秋季 CK 和 RS2 密度显著高于 RS1 ($F=13.43$, $P<0.001$),冬季 CK 显著高于 RS1 和 RS2 ($F=23.04$, $P<0.001$)。表明火烧干扰降低了中小型土壤节肢动物的类群数和个体密度,随着恢复时间的增加,马尾松人工林迹地中小型土壤节肢动物类群数和个体密度随之提高。

除 RS1 类群数外,不同恢复阶段类群数和个体密度冬季均显著增加,其中 CK 类群数和个体密度增加幅度最高,冬季类群数和个体密度分别为秋季的 2.24 倍和 6.29 倍。表明火烧迹地中小型土壤节肢动物群落季节动态受恢复时间的影响。

3.4 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性

Shannon 多样性指数、Margalef 丰富度指数均表现为 RS2 最高,RS1 最低;Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数在不同季节有一定的差异(图3)。统计分析显示,秋季 Simpson 优势度指数($F=15.38$, $P<0.001$)和 Margalef 丰富度指数($F=12.61$, $P<0.01$)空间差异显著;冬季 Shannon 多样性指数($F=40.01$, $P<0.001$)、

Margalef 丰富度指数 ($F=27.06$, $P<0.001$) 和 Simpson 优势度指数 ($F=16.23$, $P<0.001$) 空间差异显著,其余无显著空间差异性。不同恢复阶段间的差异情况见多重比较(图3)。

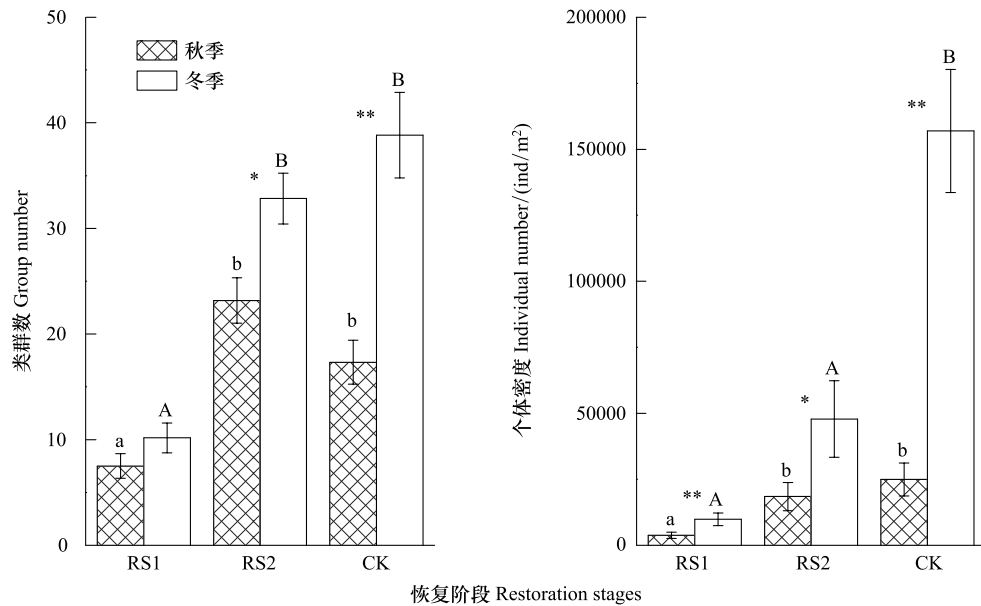


图2 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物的水平分布(平均值±标准误)

Fig.2 Horizontal distribution of soil meso-and microarthropod community at different restoration stages (Mean±SE)

** 表示季节差异的显著性水平为 $P<0.01$, * 为 $P<0.05$

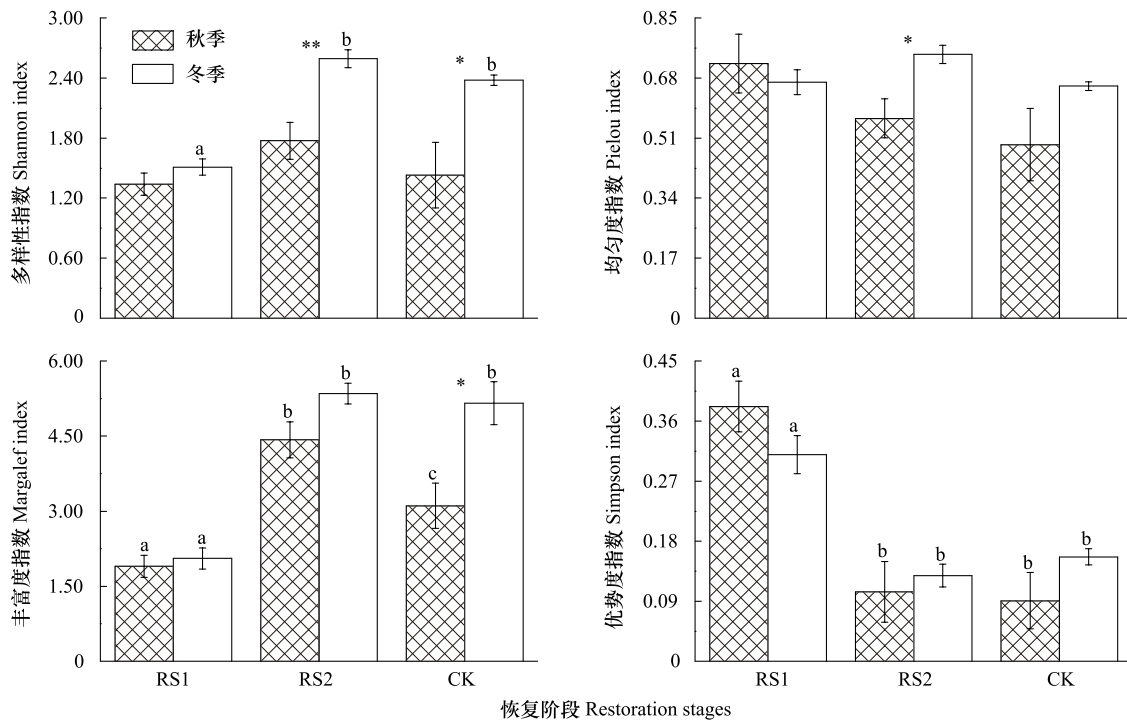


图3 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物群落多样性(平均值±标准误)

Fig.3 Diversities of soil meso-and micro arthropod community at different restoration stages (Mean±SE)

所有不符合正态分布的数据在使用 $\log(x+1)$ 进行转换后均符合正态分布,差异性检验方法均为方差分析

除 RS1 的 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数外,不同恢复阶段多样性指数均表现为冬季高于秋

季。其中,RS2 的 Shannon 多样性指数($t = -3.86, P < 0.001$)和 Pielou 均匀度指数($t = -2.92, P < 0.05$),CK 的 Shannon 多样性指数($t = -2.83, P < 0.05$)和 Margalef 丰富度指数($t = -3.02, P < 0.05$)季节差异显著。以上分析表明,不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性存在差异,但不同季节差异程度有所不同。

3.5 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物群落相似性

秋季和冬季不同恢复阶段中小型土壤节肢动物相似性一致(表 3),RS1 与 RS2 之间的相似性最低,为中等不相似,RS2 与 CK 之间的相似性最高,为中等相似。群落间相似性说明,随着恢复时间的增加,中小型土壤节肢动物群落间相似性增加。

在季节相似性上,RS2 和 CK 均为中等不相似,RS1 为极不相似。表明恢复时间短的群落结构稳定性最差,受季节变化的影响大,恢复时间长的群落结构稳定性较高,受季节变化的影响小。

3.6 土壤理化性质对不同恢复阶段中小型土壤节肢动物的影响

不同恢复阶段中小型土壤节肢动物与土壤理化性质的相关分析结果见表 4。中小型土壤节肢动物类群数和个体密度与全钾显著相关($P < 0.01$),与其余土壤因子无显著相关。说明中小型土壤节肢动物的分布受全钾的影响较大。

表 4 中小型土壤节肢动物群落多样性与土壤因子的相关系数($n = 36$)

Table 4 Correlations between soil meso-and microarthropod diversities and soil factors

	pH	有机质 SOM	全氮 TN	全磷 TP	全钾 TK	有效氮 AN	有效磷 AP	有效钾 AK
类群数 Group number	0.31	-0.30	0.07	0.28	0.76 **	0.29	-0.17	-0.16
个体密度 Individual density	0.18	-0.16	0.12	0.23	0.50 **	0.30	-0.18	-0.12

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$

4 结论与讨论

4.1 中小型土壤节肢动物群落结构

已有的研究表明,螨类与弹尾类的比值(A/C)具有地带性特征,寒带 <1 ,温带 ≈ 1 ,亚热带和热带 >1 ^[24]。本研究样地位于亚热带地区,马尾松人工林(CK)A/C 值为 3.00,符合普遍规律。与相近纬度的江西鹰潭地区的马尾松人工林(A/C = 1.85)^[25]相比,喀斯特马尾松人工林 A/C 值更高。从群落组成方面看,蚁类在东北大兴安岭火烧迹地为稀有类群^[26],在本研究中为优势类群(表 2),而在热带地区的火烧迹地中所占比例更大(29.56%)^[27],随着纬度的降低,蚁类在土壤动物群落中所占的比例呈增加趋势。上述结果说明喀斯特地区土壤动物群落有较强的区域性特征。

不同土壤动物类群在不同恢复阶段的分布差异,一方面受自身的生物学特性的影响,另一方面,与不同恢复阶段为其提供的生存环境有关^[28]。RS1、RS2 和 CK 共有类群为 34 个,特有类群分别为 5、21 和 27 个,群落间物种组成差异较大。随着恢复时间的增加,不同恢复阶段特有类群数增加,群落间的相似性也表现出了相同的变化趋势。说明火烧干扰后马尾松人工林的恢复是一个生态环境不断改善的过程,恢复时间越长,群落结构越复杂。

RS1 与 RS2 共有类群为 37 个,与 CK 共有类群为 40 个,群落间的共有类群数量并未与恢复时间、植被恢复状况表现出一致性,这可能与样地间的空间距离有关,RS1 和 CK 两个样地相邻,与 RS2 空间距离较远,相对而言,RS1 与 CK 之间物种的交流比与 RS2 更为频繁。因此,RS1 和 CK 的物种组成更为接近,即空间距离近的土壤动物群落结构更为相似^[29]。说明马尾松人工林迹地的生态恢复不仅与时间有关,周围生境的情况

表 3 不同恢复阶段中小型土壤节肢动物相似性

Table 3 Similarities of soil meso-and microarthropod between different restoration stages

	RS1	RS2	CK
RS1	0.22	0.36	0.44
RS2	0.39	0.47	0.59
CK	0.44	0.69	0.41

* 表格右上为秋季中小型土壤节肢动物相似性,左下为冬季相似性,对角线为季节相似性

也有影响。

4.2 火灾对中小型土壤节肢动物多样性的影响

从本研究的结果来看,火烧干扰对中小型土壤节肢动物的影响在短时间内是负面的,森林火灾降低了中小型土壤节肢动物的类群数、个体密度和多样性,而随着恢复时间的增加,马尾松人工林火烧迹地中小型土壤节肢动物类群数、个体密度和多样性随之提高,这与以往的研究结果一致^[26,30]。

植物是生态系统中的生产者,植被的类型、多样性和组成明显影响土壤动物的生存,植被类型越复杂土壤动物多样性程度越高^[31-32]。RS1 在火烧后林下植被和凋落物几乎完全消失,中小型土壤节肢动物的栖息环境和食物来源遭到严重破坏,一些以特定种类凋落物为食的中小型土壤节肢动物类群的生存和发展受到严重影响,多样性因此而下降。RS2 在火烧干扰后,植被由马尾松林演替为针阔混交林,植被多样性提高,生存环境逐步得到改善,中小型土壤节肢动物类群数、个体密度和多样性随之提高。虽然 RS2 植物多样性与 CK 较为接近,但其植被盖度、凋落物和苔藓层厚度明显低于 CK,这在一定程度上限制了中小型土壤节肢动物种类和数量的增长,然而植被状况差异并未使 RS2 多样性低于 CK,这可能与人为干扰有关^[33]。一般来说,人为干扰程度高的生境,土壤动物多样性较低^[34],但适度的干扰有利于降低群落内的竞争排斥而维持较高的土壤动物多样性^[35]。RS2 靠近路边,可能存在适度干扰,使 RS2 多样性维持在较高水平,甚至超过了 CK。

已有的研究显示土壤动物类群数和个体密度与 pH 值、有机质、全氮和全磷正相关,与全钾负相关^[36-37]。由表 1 知火灾可以在一定程度上影响土壤理化性质,在本研究中,中小型土壤节肢动物的类群数和个体密度与土壤全钾显著正相关($P<0.01$),与其它土壤因子相关性较低,说明在火烧迹地恢复过程中若能增加土壤全钾的输入可能会更有助于生态系统的恢复。

4.3 火灾对中小型土壤节肢动物季节动态的影响

RS1、RS2 和 CK 类群数在冬季分别提高了 35.56%、41.73% 和 124.04%,个体密度分别提高了 160.35%、159.31% 和 529.41%,火烧迹地中小型土壤节肢动物的季节增长速率接近,但远低于 CK 的增长速率,这可能与苔藓、凋落物有关。苔藓层通透性和保湿性好,具有独特的耐寒性,在冬季生长更为旺盛^[38],能为土壤节肢动物提供丰富的食物资源和栖息环境;凋落物现存量则与土壤节肢动物群落密度显著正相关^[39],秋冬季是凋落物增加的高峰期,由于不同生境植被盖度不同,凋落物的增加量也有不同。在苔藓植物和凋落物的影响下,火烧迹地土壤节肢动物在冬季的增长幅度也出现了差异。CK 苔藓层厚,植被盖度高,凋落物在冬季增加量也相对较多,为土壤节肢动物提供了理想的越冬场所,冬季其类群数和个体密度增长速度也相应的高于 RS1 和 RS2。RS2 虽有少量苔藓,但呈斑块状分布,厚度薄,植被盖度也较 CK 低,冬季凋落物的增加量较少,苔藓和凋落物对中小型土壤节肢动物影响力有限,故在冬季 RS2 和 RS1 类群数和个体密度增长速度更为接近。以上分析说明,火烧干扰可通过改变中小型土壤节肢动物的生存环境而降低其季节敏感性。

喀斯特马尾松林迹地中小型土壤节肢动物类群数和个体密度冬季(2 月)高于秋季(10 月),与武夷山^[40]和与鼎湖山类群数和个体密度季节变化规律相反(10 月>2 月)^[41],与百花山^[42]相似。气温和降水引起的土壤温湿度变化是导致土壤节肢动物产生季节差异的主要因素^[43]。有研究显示,地表温度在 14.3—24.3℃ 之间,是土壤动物生存最适宜的温度范围^[44]。2011 年夏秋两季贵州发生了严重的干旱,干燥炎热的气候条件可导致类群数和密度的下降。进入冬季后,降雨量增加,旱情缓解,中小型土壤节肢动物数量迅速增长,而一些昆虫进入土壤越冬也促进了冬季土壤节肢动物类群数和密度增加。

4.4 中小型土壤节肢动物垂直分布

拥有凋落物和(或)苔藓层的生境,土壤动物表聚性更为明显^[29,31]。火烧干扰后,RS1 林下植被已完全丧失,但部分未被烧死的中小型土壤节肢动物可在短时间内由土壤深层迁回地表^[45],而少量活动能力较强物种的侵入(如蚂蚁)也能在一定程度上提高 RS1 表层土壤节肢动物的类群数和个体密度;虽然 RS2 有一定量的凋落物存在,但并未使 RS2 表聚性高于 RS1,这可能与 RS2 存在人为活动干扰有关,人为活动干扰能降低土壤动物表聚性^[36,46];相比之下,CK 苔藓层厚,凋落物丰富,人为活动干扰小,中小型土壤节肢动物表聚性也

最高。

致谢:野外调查得到了本校植物保护专业 2008 级本科生刘健锋、彭炳富和范迟飞同学的帮助,室内土壤节肢动物的分离得到了研究生吕召云和师沛琼同学的帮助,土壤甲螨的分类鉴定得到了研究生黄荣和梁文琴同学的帮助,杨洪老师在统计分析方面给予了诸多指导,邹军锐老师对写作给予帮助,在此一并致谢。

References:

- [1] Deyn G B, Raaijmakers C E, Zoomer H R, Berg M P, Ruiter P C, Verhoef H A, Bezemer T M, van der Putten W H. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, 2003, 422: 711-713.
- [2] Lavellea P, Decaëns T, Aubert M, Barota S, Blouina M, Bureau F, Margerieb P, Mora P, Rossic J P. Soil invertebrates and ecosystem services. *Soil Invertebrates And Ecosystem Services*, 2006, 42: 3-15.
- [3] González G, Seastedt T R. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. *Ecology*, 2001, 82(4): 955-964.
- [4] Longcore T. Terrestrial Arthropods as Indicators of Ecological Restoration Success in Coastal Sage Scrub (California, U. S. A.). *Restoration Ecology*, 2003, 11(4): 397-409.
- [5] Höfer H, Werner H, Garcia M, Martius C, Franklin E, Römbke J, Beck L. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37(4): 229-235.
- [6] Barbercheck M E, Neher D A, Anas O, El-Allaf S M, Weicht T R. Response of soil invertebrates to disturbance across three resource regions in North Carolina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 152: 283-298.
- [7] Fiscus D A, Neher D A. Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecological Applications*, 2002, 12(2): 565-575.
- [8] Ruf A. A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 9: 290-299.
- [9] Wei Y, Zhang J C, Yu Y C, Yu L F. Effects of Degraded Karst Vegetation Restoration on Soil Microbial Amount and Functional Diversity. *Soils*, 2010, 42(2): 230-235.
- [10] Xu S J. Forecasting Forest Fire Occurrence from Satellite Monitoring in Guizhou Province. *Journal of West China Forestry Science*, 2011, 40(2): 98-100.
- [11] Zhang X, Zhu J, Cui Y C, Huo D, Wang L L, Wu P, Chen J, Pan D Q, Yang C H. Influence of fire on a Pinus massoniana soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5809-5817.
- [12] Dawes-Gromadzki Tracy Z. Short-term effects of low intensity fire on soil macroinvertebrate assemblages in different vegetation patch types in an Australian tropical savanna. *Austral Ecology*, 2007, 32: 663-668.
- [13] Malmström A. The importance of measuring fire severity—Evidence from microarthropod studies. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260: 62-70.
- [14] Callahan Jr M A, Blair J M, Todd T C, Kitchen D J, Whiles M R. Macroinvertebrates in North American tallgrass prairie soils effects of fire, mowing, and fertilization on density and biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 1079-1093.
- [15] Collett N. Short and long-term effects of prescribed fires in autumn and spring on surface-active arthropods in dry sclerophyll eucalypt forests of Victoria. *Forest Ecology and Management*, 2003, 182: 117-138.
- [16] Saint-Germain M, Larrivée M, Drapeau P, Fahrig L, Buddle C M. Short-term response of ground beetles (Coleoptera Carabidae) to fire and logging in a spruce-dominated boreal landscape. *Forest Ecology and Management*, 2005, 212: 118-126.
- [17] Wikars L O, Schimmel J. Schimmel Johnny. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, 141: 189-200.
- [18] Xiao Y D, Ju H D, Zhang X Q, Ji P. Relationship between Fire-Danger Weather and Forest Fire in Qiannan Area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(10): 128-133.
- [19] Tian X L, Xia J, Xia H B, Ni J. Forest biomass and its spatial pattern in Guizhou Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(2): 287-294.
- [20] Yin W Y. Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 1998.
- [21] Li L S, Li Y R. Acarology. Chongqing: Chongqing Press, 1988.
- [22] Zhong J M. Taxonomy of Insect Larva. Beijing: Agriculture Press, 1990.
- [23] Lu R K. Agricultural Chemical Analytical Methods for Soil. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [24] Yin W Y. Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 2000.

- [25] Liu M Q, Hu F, Li H X, Chen X Y, He Y Q. Soil Arthropod Communities Under Different Artificial Woodland Restored on Degraded Red Soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(1): 54-61.
- [26] Zhang X P, Zhang S H, Li J K. Eco-geographical analysis of soil animals in burned forest areas in Greater Hinggan Mountains. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 327-334.
- [27] Yang X D. Comparison of the communities structure and seasonal changes in diversity of soil arthropod in tropical secondary forest, dry-rice land and fired remains. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 883-891.
- [28] Yi L, You W H, Song Y C. Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 466-473.
- [29] Wu D H, Zhang B, Bu Z Y, Chen P. The characteristics of community structure of soil mites from different habitats in Changchun area. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 16-25.
- [30] Zhang S H, Zhang X P. Soil Animal Community Diversity in the Burned Areas of Great Xing'an Mountains, China. *Chinese Journal of Applied and Environment Biology*, 2009, 15(5): 672-676.
- [31] Huang X, Wen W Q, Zhang J, Yang W Q, Liu Y, Yan B G, Huang Y M. Soil Faunal Diversity Under typical alpine vegetations in West Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 181-190.
- [32] Lin Y H, Sun J B, Zhang F D. Characteristics of soil fauna community in forest floor at different climate zone. China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2938-2944.
- [33] Ke X, Liang W J, Yu W T, Xie R D, Weng C L, Yang Y M, Yin W Y. Community structure and seasonal change of soil microarthropodes in the Lower Reaches of Liaohe River Plain under different land utilization. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 600-604.
- [34] Wu Y H, Cai Q N, Lin C W, Huang J J, Cheng X. Effects of terrace hedgerows on soil macrofauna diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5320-5329.
- [35] Bedano J C, Cantú M P, Doucet M E. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology*, 2006, 32: 293-304.
- [36] 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.
- [37] Wang H X, Yin X Q, Zhou D W. Ecological study on small-middle size soil animals in a compound ecosystem of farmland, grassland and woodland in the grassland region of Songnen Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10): 1715-1718.
- [38] Zha G C, Liang L R, Zhou C Q. Community structure and diversity of arthropods in moss soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1057-1062.
- [39] Yang Z, Yang X D. Characteristics of floor litter and soil arthropod community in different types of subtropical forest in Ailao Mountain of Yunnan, Southwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(11): 3011-3020.
- [40] Wang S J, Ruan H H, Wang J S, Xu Z K, Wu Y Y. Composition structure of soil fauna community under the typical vegetations in the Wuyi Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5174-5184.
- [41] Lin Y H, Zhang F D, Zhang J Q, Ou Yang X J, Mo J M, Zhou G Y. Preliminary investigation on temporal and spatial variation of structure of soil fauna community in different natural vegetations of Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2616-2622.
- [42] Fu B Q, Chen W, Gao W, Zhang L R. The soil invertebrate community and in popular davidiana + betula platyphylla forest in baihua mountain. *Chinese Journal of Zoology*, 1997, 32(2): 10-15.
- [43] Yang X D, Tang J W. Soil arthropod communities in different successional tropical secondary forests in Xishuangbanna, SW China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 988-994.
- [44] Xu G L, Zhou G Y, Mo J M, Zhou X Y, Peng S J. The responses of soil fauna composition to forest restoration in Heshan. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1670-1677.
- [45] Yang X D, Tang Y, Tang J W. Change in structure and diversity of soil arthropod communities after slash-and-burn of secondary forest in Xishuangbanna, Yunnan Province. *Biodiversity Science*, 2001, 9(3): 222-227.
- [46] Yin X Q, Zhong W Y. Soil Animals in *Leymus chinensis* Grassland With Different Grazing Pressures. *Acta Prataculturae Sinica*, 1997, 6(4): 71-75.

参考文献:

- [9] 魏媛, 张金池, 俞元春, 喻理飞. 退化喀斯特植被恢复对土壤微生物数量及群落功能多样性的影响. *土壤*, 2010, 42(2): 230-235.
- [10] 徐盛基. 贵州林火发生时间卫星监测动态分析. *西部林业科学*, 2011, 40(2): 98-100.
- [11] 张喜, 朱军, 崔迎春, 霍达, 王莉莉, 吴鹏, 陈骏, 潘德权, 杨春华. 火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响. *生态学报*, 2011, 31(19): 5809-5817.

- [18] 肖云丹, 鞠洪波, 张雄清, 纪平. 黔南地区气象因子与森林火灾发生次数之间的关系. 林业科学, 2011, 47(10): 128-133.
- [19] 田秀玲, 夏婧, 夏焕柏, 倪健. 贵州省森林生物量及其空间格局. 应用生态学报, 2011, 22(2): 287-294.
- [20] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [21] 李隆术, 李云瑞. 蜚蠊学. 重庆: 重庆出版社, 1988.
- [22] 钟觉民. 幼虫分类学. 北京: 农业出版社, 1990.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [24] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000.
- [25] 刘满强, 胡锋, 李辉信, 陈小云, 何圆球. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. 生态学报, 2002, 22(1): 54-61.
- [26] 张雪萍, 张淑花, 李景科. 大兴安岭火烧迹地土壤动物生态地理分析. 地理研究, 2006, 25(2): 327-334.
- [27] 杨效东. 热带次生林、旱稻种植地和火烧迹地土壤节肢动物群落结构特征及季节变化. 生态学报, 2003, 23(5): 883-891.
- [28] 易兰, 由文辉, 宋永昌. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落. 生态学报, 2005, 25(3): 466-473.
- [29] 吴东辉, 张柏, 卜照义, 陈鹏. 长春市不同土地利用生境土壤螨类群落结构特征. 生态学报, 2006, 26(1): 16-25.
- [30] 张淑花, 张雪萍. 大兴安岭火烧迹地土壤动物的群落多样性. 应用与环境生物学报, 2009, 15(5): 672-676.
- [31] 黄旭, 文维全, 张健, 杨万勤, 刘洋, 闫帮国, 黄玉梅. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性. 应用生态学报, 2010, 21(1): 181-190.
- [32] 林英华, 孙家宝, 张夫道. 我国重要森林群落凋落物层土壤动物群落生态特征. 生态学报, 2009, 29(6): 2938-2944.
- [33] 柯欣, 梁文举, 宇万太, 谢荣栋, 翁朝联, 杨毅明, 尹文英. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤微节肢动物群落结构研究. 应用生态学报, 2004, 15(4): 600-604.
- [34] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 黄晶晶, 程序. 地埂植物篱对大型土壤动物多样性的影响. 生态学报, 2009, 29(10): 5320-5329.
- [36] 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.
- [37] 王海霞, 殷秀琴, 周道玮. 松嫩草原区农牧林复合系统中小型土壤动物群落生态研究. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1715-1718.
- [38] 查广才, 梁来荣, 周昌清. 苔藓土壤节肢动物群落及其多样性. 生态学报, 2003, 23(6): 1057-1062.
- [39] 杨赵, 杨效东. 哀牢山不同类型亚热带森林地表凋落物及土壤节肢动物群落特征. 应用生态学报, 2011, 22(11): 3011-3020.
- [40] 王邵军, 阮宏华, 汪家社, 徐自坤, 吴焰玉. 武夷山典型植被类型土壤动物群落的结构特征. 生态学报, 2010, 30(19): 5174-5184.
- [41] 林英华, 张夫道, 张俊清, 欧阳学军, 莫定生, 周国逸. 鼎湖山不同自然植被土壤动物群落结构时空变化. 生态学报, 2005, 25(10): 2616-2622.
- [42] 傅必谦, 陈卫, 高武, 张立荣. 百花山山杨桦木林土壤动物群落及其季节动态. 动物学杂志, 1997, 32(2): 10-15.
- [43] 杨效东, 唐建维. 西双版纳不同演替状态热带次生林土壤节肢动物群落特征. 应用生态学报, 2004, 15(6): 988-994.
- [44] 徐国良, 周国逸, 莫江明, 周小勇, 彭闪江. 鹤山丘陵退化生态系统植被恢复的土壤动物群落结构. 生态学报, 2005, 25(7): 1670-1677.
- [45] 杨效东, 唐勇, 唐建维. 热带次生林刀耕火种过程中土壤节肢动物群落结构及多样性的变化. 生物多样性, 2001, 9(3): 222-227.
- [46] 殷秀琴, 仲伟彦. 羊草草地不同放牧强度下土壤动物的研究. 草业学报, 1997, 6(4): 71-75.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso-and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《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,探索自然奥秘,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 吕永龙

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 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 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