

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 **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 5 期 2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制..... 王晶苑,张心昱,温学发,等 (1337)
- 工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展..... 梁淑敏,许艳萍,陈 裕,等 (1347)
- 最佳管理措施评估方法研究进展..... 孟凡德,耿润哲,欧 洋,等 (1357)
- 灌木年轮学研究进展..... 芦晓明,梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局..... 王艳兵,德永军,熊 伟,等 (1375)
- 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响..... 裴 斌,张光灿,张淑勇,等 (1386)
- 湖北石首麋鹿昼间活动时间分配..... 杨道德,李竹云,李鹏飞,等 (1397)
- 三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响..... 杨 桦,杨 伟,杨春平,等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征..... 徐佳奕,徐兆礼 (1413)
- 滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解..... 郭绪虎,肖德荣,田 昆,等 (1425)
- 安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌,刘 坤,周守标 (1433)
- 湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇,郭逍宇,赵 霏 (1443)
- 三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子..... 王兆国,王传宽 (1456)
- 不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应..... 周 洁,张志强,孙 阁,等 (1465)
- 不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛莘莘,高玉葆,何兴东 (1475)
- 藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英,胡 锋,罗大庆 (1482)
- 铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征..... 朱永恒,沈 非,余 健,等 (1495)
- 环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 ... 马 驿,彭金菊,王 芸,等 (1506)
- 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志,高 颖,朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案..... 苏泳娴,张虹鸥,陈修治,等 (1524)
- 不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴,何丙辉,湛 芸 (1535)
- 京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究..... 孟 丹,王明玉,李小娟,等 (1545)
- 窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素..... 雷泳南,张晓萍,张建军,等 (1559)
- 模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局..... 李明月,王 健,王振兴,等 (1569)
- 铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇,李鹏飞,曾从盛,等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响..... 闫 宁,王晓清,王志丹,等 (1584)

佛手低温胁迫相关基因的差异表达..... 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)

美洲棘蓟马对不同蔬菜寄主的偏好性..... 朱 亮,石宝才,官亚军,等 (1607)

茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)

造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响..... 王 焱,席本野,崔向东,等 (1626)

基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率..... 赵 晨,王 远,谷学明,等 (1636)

研究简报

太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征..... 周 彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)

基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)

薇甘菊萎蔫病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响..... 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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/stxb201204170549

薛会英, 胡锋, 罗大庆. 藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响. 生态学报, 2013, 33(5): 1482-1494.

Xue H Y, Hu F, Luo D Q. Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1482-1494.

藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫 群落功能结构的影响

薛会英^{1,2}, 胡 锋^{1,*}, 罗大庆²

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2. 西藏大学农牧学院, 林芝 860000)

摘要: 2011 年 5—11 月, 对西藏北部高寒草甸 3 种典型植物群落下 0—30 cm 范围内不同深度土层的土壤线虫群落进行调查, 采用浅盆法分离线虫, 土壤性质指标, 如 pH、含水量、电导率分别采用电位法、烘干法、电导率仪法进行测定, 应用营养类群组成、c-p 类群结构及营养结构特征指数, 以及营养类群、c-p 类群与土壤性质之间的关系等特征值分析高寒环境下土壤线虫群落的功能结构特征, 以了解高寒环境下植被对土壤线虫群落功能结构的影响。调查共分离得到 33038 条土壤线虫, 隶属于 2 纲 6 目 51 科 93 属; 线虫个体密度平均为 847 条/100 g 干土; 表聚性明显。研究结果表明, 高寒草甸不同植物群落的土壤线虫群落营养类群组成及分布特征均存在一定差异, 植食性线虫和食细菌性线虫是调查区域的主要营养类群, 不同植物群落间植食性线虫和杂食/捕食性线虫的相对多度差异明显。c-p 类群组成结构特征结果表明: 3 种植物群落的土壤线虫 cp2 类群均为优势类群, 生活策略以 r-对策为主; 高山嵩草植物群落土壤中的线虫食物资源在 3 种植物群落中最丰富; 藏北嵩草群落土壤线虫数量低的可能原因是线虫食物资源的减少限制了 cp1、cp2 类群的增殖。PPI 值表明: 委陵菜群落受扰动的影响程度大于其余两种植被类型, 而 MI、PPI/MI 值及 cp5 类群数量的结果则表明: 委陵菜群落的稳定性较高, 受到的干扰在 3 种植物群落中最少。F/B 及 NCR 值均说明了 3 种植物群落的土壤有机质分解均主要依靠细菌分解途径。相关性分析结果表明: 杂食/捕食性线虫在枯草期明显受到土壤含水量的影响; 食真菌性线虫与土壤 pH 之间的关系密切, 在盛长期则明显受到土壤电导率的影响; 食细菌性线虫仅在返青期与 pH 有相关性。不同植物群落下土壤线虫群落功能结构特征的分异显示出线虫指示环境因子影响土壤生态系统的潜力。

关键词: 土壤线虫; 群落结构; 生物多样性; 西藏

Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China

XUE Huiying^{1,2}, HU Feng^{1,*}, LUO Daqing²

1 College of Natural Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 College of Agriculture and Animal Husbandry, Tibet University, Linzhi 860000, China

Abstract: Northern Tibet lies within the remote regions of the Tibetan Plateau, features a dry and cold climate, and forms a broad strip of land sensitive to global warming. Meadows are the largest and most important ecosystems in northern Tibet. Alpine meadows are extensively distributed in the northern Tibetan Plateau and are typical features of the region. The alpine meadow soil type in the study area is seasonally frozen. We chose three representative plant communities as samples areas, which we identified as *Potentilla* spp., *Kobresia pygmaea*, and *Kobresia littledalei* based on the dominant species of each community to study soil nematode communities. The plots are situated at Dejixiangdaga village at N31°31'38"—31°32'02",

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目 (31260144); 西藏自治区科技厅自然科学基金项目 (2010-12)

收稿日期: 2012-04-17; **修订日期:** 2012-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fenghu@njau.edu.cn

E92°04'03"—92°04'16" in Naqu County in the Naqu region of the Tibet Autonomous Region, China.

Soil nematode communities in the upper 0—30 cm soil were investigated in three typical plant communities in alpine meadows of northern Tibet from May to November 2011. The soil nematodes were collected using the shallow basin method. The following soil chemical properties were tested: pH, potentiometry, soil water content (oven drying method), and electricity conductivity. The trophic composition, c-p group structure and functional structure index, as well as the characteristic values between trophic groups, c-p groups and soil properties, were analyzed to understand the effect of cold alpine conditions on soil nematode functional diversity. A total of 33038 nematodes, which were classified to nematode phylum, 2 classes, 6 orders, 51 families and 93 genera, were collected during the surveys. Average individual density was 847 nematodes per 100g dry soil. The results were mostly within the scope of previous reports, and nematodes obviously appeared to aggregate in the upper soil layers. The research indicated soil nematode trophic composition varied from one plant community to another in alpine meadows. Herbivorous and bacterivorous nematodes were the major nematode communities in the area. The relative abundance of herbivorous to omnivorous and/or predatory nematodes obviously varied in different plant communities. An analysis of the constitution of the c-p groups showed all cp2 groups were the predominant groups in all three plant communities, and all c-p groups were mainly *r*-strategists. *Kobresia pygmaea* was the most common food source for nematodes. *Kobresia littledalei* had the lowest nematode density, possibly because limited food availability limits the reproduction of cp1 and cp2 nematodes. The result of analysis of the plant parasite index indicated the *Potentilla* community was easier for nematodes to populate when compared to the other two vegetation types, whereas the data from the maturity index (*MI*), *PPI/MI* and cp5 demonstrated nematode stability in *Potentilla* was highest among three vegetation types. The fungal to bacterial feeder ratio and Nematode Channel Ratio showed bacterial decomposition was the major decomposition pathway in the soil organic substance decomposition system. Correlation of nutritional groups and environmental factors showed omnivorous/predatory nematodes were affected significantly by water content during dry periods, while a close relationship was found between soil pH and fungivorous nematodes, which was obviously affected by electrical conductivity (*EC*) during periods of rapid growth. The abundance of bacterivorous nematodes was only correlated to pH during the dry season. The presence of different plant communities leads to effects on water content, soil formation and the distribution of nutrients. The analysis related to water content, pH and *EC* reveals plant communities have important influences on the functional structure of nematode communities. Differences in nematode community structure in different meadows preliminarily indicate the potential for using nematodes as environmental indicator species.

Key Words: soil nematodes; community structure; biodiversity; Tibet

土壤线虫是土壤动物中的优势类群,在草地生态系统中往往被看作是主要的消费者,与草地生产力密切相关^[1]。土壤线虫有多种食性,其功能(营养)结构是土壤物质循环和能量流动的重要决定因素之一,同时也能够提供土壤腐屑食物网机能方面的信息^[2],因此,关于土壤线虫群落功能结构的研究受到重视^[3-12]。

藏北地区地处青藏高原腹地,气候干寒,是全球气候变化的敏感地带,其草地面积约 $34.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[13],是藏北地区面积最大、最重要的生态系统,其间广泛分布的高寒草甸类草地具有典型的区域代表性。

本文研究了藏北高寒草甸不同植物群落下不同植物群落下土壤线虫群落的营养类群组成、c-p 类群及功能结构特征,以及营养类群、c-p 类群与土壤性质之间的关系,目的是了解高寒环境下植被对土壤线虫群落营养结构的影响,有助于进一步理解植物如何通过影响土壤生物来调控土壤生态系统过程,同时也可高寒草甸生态系统管理提供一定的借鉴作用。

1 样地概况

藏北高寒草原呈高原水平地带性分布(海拔 4300—5200 m),高原大陆性气候特征极为明显,暖季短且温凉,冷季长且寒冷,年平均气温 $-2.8—1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,全年无绝对无霜期,最冷月(1月)、最热月(7月)平均气温分别

为 $-10\sim-12^{\circ}\text{C}$ 和 $7\sim12^{\circ}\text{C}$, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 $800\sim1100^{\circ}\text{C}$;年降水量 $100\sim300\text{ mm}$,年蒸发量 $1500\sim2300\text{ mm}$,干燥度 $6.7\sim20$ ^[14]。

研究样区设在那曲地区那曲县德吉乡达嘎村,地理位置 $31^{\circ}31'38''\sim31^{\circ}32'02''\text{N}$, $92^{\circ}04'03''\sim92^{\circ}04'16''\text{E}$,海拔 $4534\sim4567\text{ m}$ 。此区域年平均气温 -0.9°C 。年降水量 400 mm 以上,年蒸发量 1810.6 mm ,年相对湿度 51% ,8级以上大风日可达 92 d 。牧草生长期 170 d 以上。土壤类型为高山草甸土,季节性冻土。地被植物主要优势种及亚优势种有藏北嵩草(*Kobresia littledalei*)、高山嵩草(*K. pygmaea*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、乳白香青(*Anaphallis lactea*)、垫状蚤缀(*Arenaria polytrcnoides*)、钉柱委陵菜(*P. saundersiana*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)和紫羊茅(*Festuca rubra*)等。

按照植被主要建群种的不同,在研究区域选取有代表性的3种植物群落作为样区,分别是委陵菜(*Potentilla*)为主要建群种的高寒草甸样地(委陵菜群落样地)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)为主要建群种的高寒草甸样地(高山嵩草群落样地)及藏北嵩草(*Kobresia littledalei*)为主要建群种的高寒草甸样地(藏北嵩草群落样地),详情见表1。以高山嵩草为主要建群种的高寒草甸是西藏高寒草甸类草地中分布最广,面积最大,最是具有代表性的一类草地类型,草层高度一般 $3\sim5\text{ cm}$,盖度达 80% 以上。由于过牧、鼠害及气候变化等原因,高山嵩草高寒草甸植被退化为以委陵菜为优势种的高寒草甸。藏北嵩草为寒中生多年生草本植物,草甸草层高度 $20\sim30\text{ cm}$,盖度可达 90% 以上。

3个样地处于同一地理单元,地理、气候及地形条件相对一致,为研究植被与土壤线虫之间的关系提供了较好的平台。

表1 实验样地基本情况

Table 1 Basic conditions of the sample plots

样地 Plots	海拔/m Altitude	草地生物量/(g/m^2) Biomass	盖度/% Coverage	主要建群种 Constructive species	草地类型 Meadow type
委陵菜群落 <i>Potentilla</i> spp.	4560—4563	149.49	55—60	委陵菜	退化高寒草甸
高山嵩草群落 <i>Kobresia pygmaea</i>	4560—4567	118.24	80—85	高山嵩草	高寒草甸
藏北嵩草群落 <i>Kobresia littledalei</i>	4534—4550	522.72	90—95	藏北嵩草	高寒沼泽化草甸

2 研究方法

2.1 样品采集与处理

2011年5月(春季,草地返青期)、8月(夏季,草类盛长期)、2011年11月(秋冬季,枯草期),对研究样地按照随机布点方式进行采样,每个样地布设4个采样点;在每个样点去除地被物后,沿土壤剖面采集 $0\sim5$, $5\sim10$, $10\sim15$, $15\sim20$, $20\sim25$, $25\sim30\text{ cm}$ 土层原状土样,装入聚乙烯袋中贴上标签后带回实验室。

土壤化学性质测定:pH,电位法;土壤含水量,烘干法;电导率,电导率仪法^[15]。

草地生物量的测定方法:在每个样区选取3个面积为 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 有代表性的样方,采用目测法观察植物群落总盖度;在每个样方里随机选取3个 $0.25\text{ m}\times0.25\text{ m}$ 的小样方,齐地面剪下所有的植株地上部分,然后放入纸袋中封好,称取鲜重,带回实验室后在 85°C 烘箱内烘干至恒重,计算生物量(精确到 0.01 g)。测定时间选择在2011年8月初,植物旺盛生长期。

2.2 土壤线虫的分离与鉴定

每个土壤样品称取 30.0 g ,用浅盘法室温分离 48 h ^[16];用 0.045 mm 的两个套筛收集线虫,用自来水将留在网筛上的线虫冲洗入烧杯,按体积比 $1:1$ 加入 10% 甲醛溶液固定。解剖镜下计数,线虫个体数量转换成条/ 100 g 干土。制片。依据《DE NEMATODEN VAN NEDERLAND》^[17]、《Dorylaimida—Free-living, Predaceous and Plant-parasitic Nematodes》^[18]、《中国土壤动物检索图鉴》^[19]、《植物线虫分类学》^[20]和《中国淡水和土壤线虫的研究》^[21],利用体视显微镜按科、属对线虫进行分类;各类群数量优势度的划分:个体数占总捕获量 10% 以

上者为优势类群(+++),个体数占总捕获量 1%—10% 为常见类群(++),个体数占总捕获量 1% 以下为稀有类群(+)^[22-24]。

土壤线虫群落结构分析采用以下指标:

(1)成熟度指数(Maturity Index, MI ,不包括植物寄生类线虫)^[4] $MI = \sum c(i) \times p_i$

(2)植物寄生线虫指数(Plant Parasite Index, PPI)^[4] $PPI = \sum c(i) \times p_i$

(3) PPI/MI ^[4]

式中, $c(i)$ 为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第 i 类群 colonizer-persister 值; n 为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫类群数; P_i 为土壤线虫群落非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第 i 类群的个体数占群落总个体数的比例。

(4) F/B ^[25] $F/B = Fu/Ba$

(5)线虫通路比值(Nematode Chanel Ratio, NCR)^[26] $NCR = Ba/(Ba+Fu)$

式中, Ba 和 Fu 分别代表食细菌类线虫和食真菌类线虫的数量。

用 SPSS13.0 软件进行 ANOVA 分析和线性相关分析,用 Excel 进行绘图。

3 结果与分析

3.1 土壤线虫群落组成

于草地返青期、盛长期、枯草期 3 个时期共分离得到土壤线虫 33038 条,个体密度平均 847 条/100g 干土,分属于 2 纲 6 目 51 科 93 属(其中有 4 个属仅鉴定到科),基本情况见表 2 及图 1。

表 2 西藏北部高寒草甸不同植物群落下土壤线虫群落组成及营养类群 c-p 值

Table 2 Compositions of nematode communities composition and c-p values of trophic groups in the three alpine meadows different in plant community in North Tibet

属 Genus	丰度 Abundance									c-p
	2011-05			2011-08			2011-11			
	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	
食真菌性线虫 Fungivores										
<i>Aphelenchus</i>	++	++	+	++	++		++	++	+	Fu2
<i>Paraphelenchus</i>	+	+		+	+	++	+	+	++	Fu2
<i>Aphelenchoides</i>		+	+		+	++			++	Fu2
<i>Tylencholaimus</i>	++	+++	++	++	+++	++	++	++	++	Fu4
<i>Ditylenchus</i>	++	++	++	++	++	++	+	++	++	Fu2
<i>Diphtherophora</i>	+			+	+		+			Fu3
<i>Doryllium</i>	+		+							Fu4
<i>Leptonchus</i>		+								Fu4
植食性线虫 Plant-parasites										
<i>Criconrmoides</i>	+	+	++		+	+				Pp3
<i>Criconemella</i>						+	+	+	++	Pp3
<i>Criconema</i>							+			Pp3
<i>Hemicriconemoides</i>						+				Pp3
<i>Hemicycliophora</i>							+			Pp3
<i>Paratylenchus</i>	++			+++	+		++	+		Pp2
<i>Tylenchus</i>	+	++	+	++	++	++		+		Pp2
<i>Filenchus</i>	++	++	++	++	++	+++	++	++	+++	Pp2
<i>Miculenchus</i>		++			++	+		++		Pp2
<i>Coslenchus</i>					+	+		++	+	Pp2
<i>Rhabdotylenchus</i>						+				Pp2
<i>Aglenchus</i>	++		+	+	+	+				Pp2

续表

属 Genus	丰度 Abundance									c-p
	2011-05			2011-08			2011-11			
	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	
<i>Boleodorus</i>	++	+		++				+		Pp2
<i>Basiria</i>	+	++	++	+	++	+				Pp2
<i>Cephalenchus</i>	+	+	+	+	++	+			++	Pp2
<i>Tylenchorhynchus</i>	++	+++	++	+++	+++	++	+++	++	+	Pp2
<i>Tetylenchus</i>									+	Pp2
<i>Neotylenchus</i>					+					Pp2
<i>Heterodera</i>				+						Pp3
<i>Geocenamus</i>		+	+							Pp2
<i>Helicotylenchus</i>	+++	++	+	+++	+	+	++	++	+	Pp3
<i>Merlinius</i>		++	+	+	++			++	++	Pp2
<i>Pratylenchus</i>		+								Pp3
<i>Pratylenchoides</i>		++	+++	+		++			++	Pp3
<i>Malenchus</i>	+				+				+	Pp2
<i>Tichodorus</i>	+	+		+			+	+		Pp3
<i>longidorella</i>	+	+			+	+	+	+		Pp5
<i>Longidorus</i>	+	+		+			+	+		Pp5
Tylenchida 一属		+	+	++	+					
Tylenchidae 一属	+	+								
食细菌性线虫 Bacterivores										
<i>Acrobeloides</i>	+	++	++	+	++	+++	++	++	++	Ba2
<i>Cephalobus</i>	++	++	++	++	+++	++	+++	++	++	Ba2
<i>Acrobeles</i>	++	++	+	++	++	+	++	++	+	Ba2
<i>Cervidellus</i>	++	++	+++	+	++	+++	++	++	+++	Ba2
<i>Chiloplacus</i>	++	++	++	++	+	++	++	+	+	Ba2
<i>Rhabditis</i>	++			+	++	+	++			Ba1
<i>Mesorhabditis</i>			+			+	+	++		Ba1
<i>Eucephalobus</i>		+	++		+	++	+	+	+	Ba2
<i>Acrolobus</i>								+++		Ba2
<i>Alaimus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		Ba4
<i>Plectus</i>	+	+	+	++	+	++	++	++	+	Ba2
<i>Anaplectus</i>	+	+	+	+	+	+	+	++		Ba2
<i>Wilsonema</i>	+	+	+		+	++	+	++	+	Ba2
<i>Tylocephalus</i>							+	+		Ba2
<i>Bastiania</i>	+	+	+	+			+	+	+	Ba3
<i>Prismatolaimus</i>	+	+	++	+	+	++	++	+	++	Ba3
<i>Odontolaimus</i>	+			+		+				Ba3
<i>Rhabdolaimus</i>		++	++	+	+		+	++	+	Ba3
<i>Teratocephalus</i>			+			++			+	Ba3
<i>Achromadora</i>	++	+	+	+	+	+	++	+	++	Ba3
<i>Dichromadora</i>							+			Ba3
<i>Ethmolaimus</i>			+							Ba3
<i>Chronogaster</i>							+	+	+	Ba3
<i>Microaimus</i>		+	+							Ba3
<i>Dintheria</i>							+			Ba3
<i>Monhystera</i>			+							Ba1
<i>Eumonhystera</i>								+		Ba1
<i>Cylindrolaimus</i>							+			Ba3
<i>Chromadorita</i>									++	Ba3

续表

属 Genus	丰度 Abundance									c-p
	2011-05			2011-08			2011-11			
	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	委陵菜 群落	高山嵩草 群落	藏北嵩草 群落	
杂食-捕食性线虫 Omnivores-predators										
<i>Paractinolaimus</i>								+		Op5
<i>Mylodiscus</i>								+		Op5
<i>Discolaimus</i>	++	++	+	+	+		++	+		Op5
<i>Aporcelaimus</i>	+				+	+	+			Op5
<i>Aporcelaimellus</i>	+	+	+	++	++	++	++	++	++	Op5
<i>Dorylaimus</i>							+			Op4
<i>Mesodorylaimus</i>	+		+	+		++		+	+	Op4
<i>Enchodelus</i>	+	+	++	+	+	+	+	++	++	Op4
<i>Nygolaimus</i>	++	+	+	+	+	+	++	++	+	Op5
<i>Labronema</i>	++	++	++	++	+	+	++	++	+	Op4
<i>Allodorylaimus</i>	+	++	++	+	+		++	+		Op4
<i>Eudorylaimus</i>		+	+	+		+	+			Op4
<i>Epidorylaimus</i>			++			++	+		+	Op4
<i>Dorylaimellus</i>	++	++	+	++	+	+	++	++		Op5
<i>Axonchium</i>	+			++	+	+	++	++	+	Op5
<i>Aetholaimus</i>	+	+			+	+	+	++		Op5
<i>Dorylaimoides</i>	++	+	+					+	+	Op5
<i>Campydoro</i>		+					+			Op4
<i>Mylonchulidae</i>	+	+		+	+		+	+		Op4
<i>Clarkus</i>	+	+		++	+		+	+	+	Op4
<i>Mononchus</i>							+	+		Op4
<i>Coomansus</i>	+			++			+	+		Op4
<i>Miconchus</i>	+									Op4
<i>Tripyla</i>				+						Op3
Dorylaimda 一属	++		+				+			
Mononchina 一属	+									

* Ba 食细菌类线虫,Fu 食真菌类线虫,Pp 植物寄生类线虫,Op 杂食-捕食类线虫

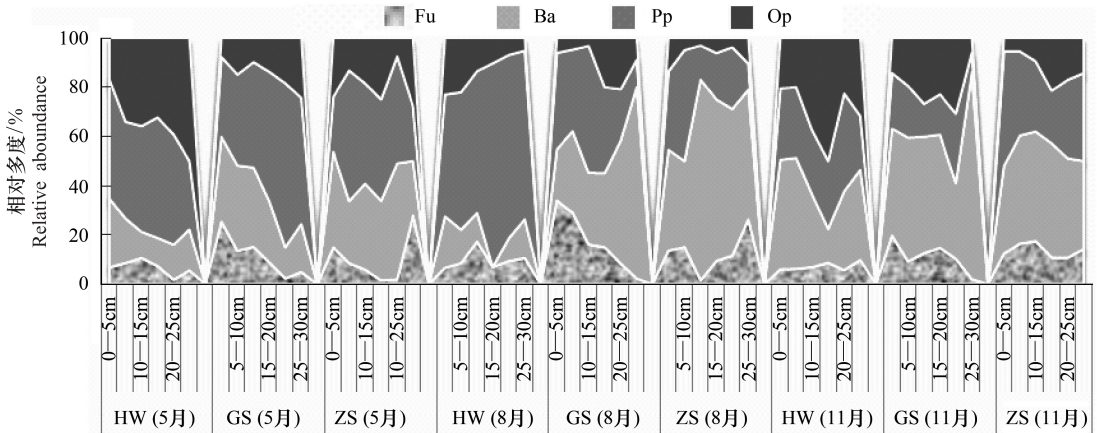


图1 高寒草甸不同植物群落下土壤线虫营养类群相对多度在土壤中的垂直分布和季节变化

Fig.1 Vertical distribution and seasonal change of relative abundance of soil nematode trophic groups in the three alpine meadows different in plant community

HW: *Potentilla* spp. ; GS: *Kobresia pygmaea*; ZS: *Kobresia littledalei*

委陵菜群落 3 个时期共分离得到土壤线虫 74 属 7800 条,个体密度平均 536 条/100g 干土,其中,植食性线虫数量最多,占个体总数的 41.91%;其次是杂食/捕食性线虫和食细菌性线虫,分别占个体总数的 25.29% 和 25.25%;食真菌性线虫最少,仅占到了 7.54%。*Tylenchorhynchus* 和 *Helicotylenchus* 为优势属,*Paratylenchus* 等 21 个属为常见属,*Clarkus* 等 51 属为稀有属。

高山嵩草群落 3 个时期共分离得到土壤线虫 72 属 18006 条,个体密度平均 1269 条/100g 干土,其中,食细菌性线虫数量最多,占个体总数的 36.17%;植食性线虫次之,占到了 32.60%;食真菌性线虫数量占个体总数的 17.84%;而杂食/捕食性线虫仅占 13.39%。*Tylencholaimus* 和 *Tylenchorhynchus* 为优势属,*Cephalobus* 等 20 个属为常见属,*Rhabdolaimus* 等 50 属为稀有属。

藏北嵩草群落 3 个时期共分离得到土壤线虫 65 属 7232 条,个体密度平均 735 条/100g 干土,其中,食细菌性线虫数量最多,占个体总数的 42.82%;植食性线虫次之,占到了 32.32%;杂食/捕食性线虫占 13.35%;食真菌性线虫仅占 11.51%。*Cervidellus*、*Filenchus* 为优势属,*Acrobeloides* 等 18 个属为常见属,*Teratocephalus* 等 48 属为稀有属。

不同植物群落下的土壤线虫数量:委陵菜群落<藏北嵩草群落<高山嵩草群落,群落间差异显著($P<0.05$)。植食性线虫和杂食/捕食性线虫的相对多度在不同植物群落间差异明显($P<0.05$)。

土壤线虫群落的个体数量、密度、种类组成及营养类群组成,在不同植物群落下均存在一定差异,表明藏北高寒草甸土壤线虫群落受到植被的影响。

3.3 土壤线虫群落功能结构

3.3.1 土壤线虫群落的 c-p 类群结构

图 2—图 4 表明,不同植物群落、不同生长时期的土壤线虫主要分布在 0—15cm 土层,尤以 0—5cm 层为最多。在获得的所有线虫中,cp1—cp5 类群个体数量分别占线虫总数的 1.2%,58.2%,15.0%,16.3% 及 9.7%。不同时期不同植物群落,线虫各 c-p 类群的分布情况随土壤深度增加而变化的趋势不同。

cp1 的个体数量很少,仅在委陵菜群落返青期的 10—30cm 土层、枯草期的 20—30cm 土层,及高山嵩草群落盛长期的 20—30cm 土层、枯草期 5—15cm、25—30cm 土层中有出现;藏北嵩草群落在返青期的 5—10cm 土层及盛长期的 0—5cm 土层偶有出现。个体数量以高山嵩草群落最多,委陵菜群落次之,藏北嵩草群落最少。

在各植物群落的不同生长时期,cp2 类群的个体数量均最高,其总体变化趋势是从地表往下随土壤深度增加个体数量减少。高山嵩草群落 cp2 类群线虫个体数量最多,委陵菜群落次之,藏北嵩草群落最少。

委陵菜群落 cp3 类群的个体数量最多,藏北嵩草群落次之,高山嵩草群落最少;委陵菜群落 cp3 类群线虫在返青期和盛长期主要出现在 5—10cm 土层,在枯草期则出现下移,主要出现在 20cm 以下;在高山嵩草群落的返青期和盛长期主要出现在 20—25cm 土层,在枯草期则主要出现在 0—10cm 土层;藏北嵩草群落于返青期主要出现在 5—20cm,盛长期主要出现在 15—25cm 土层,而枯草期则主要出现在 10—15cm 土层。

几乎在所有的调查时期和植物群落土样中 cp4 类群均有出现;总体变化趋势与 cp2 相似,也是从地表往下随土壤深度增加个体数量减少;此类群线虫个体数量以高山嵩草群落为最多,委陵菜群落次之,藏北嵩草群落最少。

cp5 类群线虫的个体数量在委陵菜群落土样中最多,高山嵩草群落次之,藏北嵩草群落最少;委陵菜群落在返青期和枯草期的 cp5 类群均主要出现在 10—20cm 土层,而在盛长期则主要出现在 5—10cm 土层;高山嵩草群落 cp5 类群在返青期主要出现在 20—30cm 土层,枯草期则主要出现在 10—25cm 土层;藏北嵩草群落 cp5 类群总体来说是地表往下随土壤深度增加个体数量减少,25—30cm 土层未出现此类群线虫。

不同植物群落下,土壤线虫各 c-p 类群的数量、组成及垂直分布趋势发生一定分异,表明藏北高寒草甸土壤线虫群落的 c-p 类群组成受到了植被的影响。

3.3.2 不同植物群落下土壤线虫功能结构特征

线虫功能结构特征指数见表 3。总体来看,3 种植物群落在不同生长季的 *MI* 均值大小排序:委陵菜群落

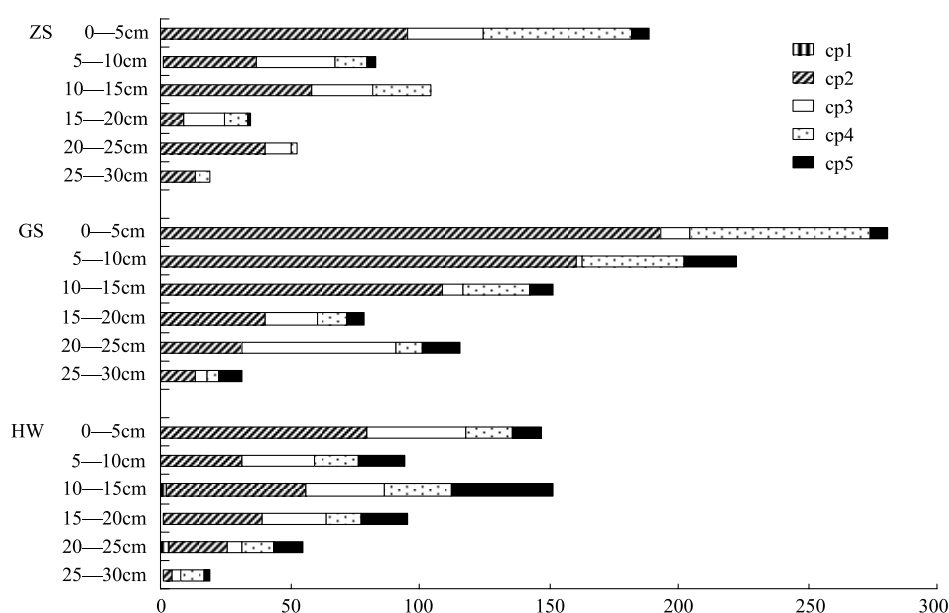


图2 返青期高寒草甸3种植物群落下土壤线虫c-p类群的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of c-p groups in different plant communities of alpine meadows in reviving period

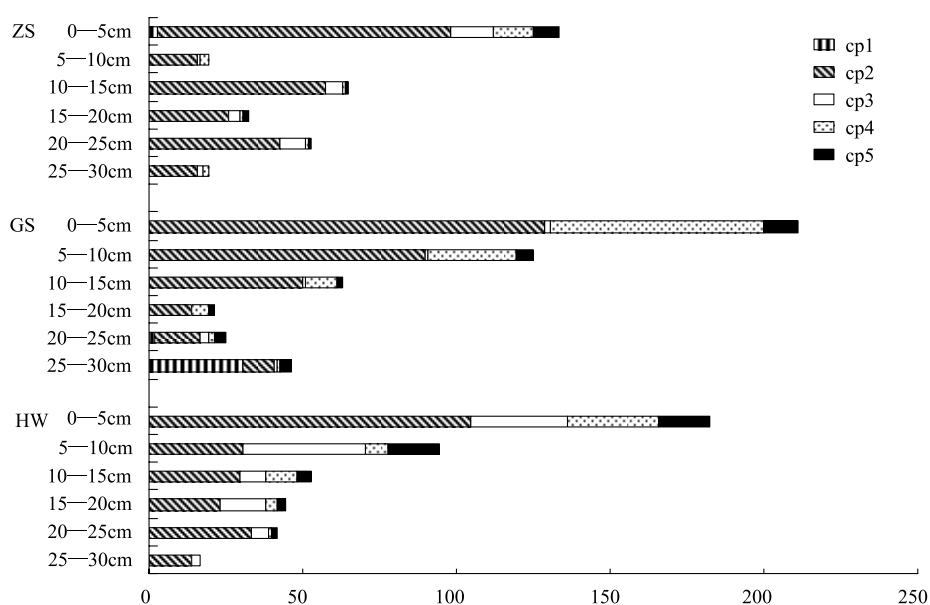


图3 盛长期高寒草甸3种植物群落下土壤线虫c-p类群的分布情况

Fig. 3 Vertical distribution of c-p groups in different plant communities of alpine meadows in flourishing period

>高山嵩草群落>藏北嵩草群落,方差分析结果显示,委陵菜群落的 MI 均值明显高于其它两种植物群落 ($P < 0.01$),高山嵩草群落和藏北嵩草群落间则表现出显著性差异 ($P < 0.05$);3种植物群落的不同土层间, MI 值均未表现出明显差异 ($P > 0.05$)。

PPI 的3个生长季均值大小顺序为:委陵菜群落>高山嵩草群落>藏北嵩草群落,与 MI 值的顺序一致,方差分析结果显示,委陵菜群落的 PPI 值显著大于其它两种植被类型 ($P < 0.05$),与藏北嵩草群落更是达到了极显著差异水平 ($P < 0.01$),高山嵩草群落与藏北嵩草群落间差异明显 ($P < 0.05$);对同种植物群落下不同土层间的 PPI 值进行比较,3种植物群落均无明显差异 ($P > 0.05$)

PPI/MI 的不同时期均值大小顺序为:藏北嵩草群落>高山嵩草群落>委陵菜群落,方差分析结果显示,不

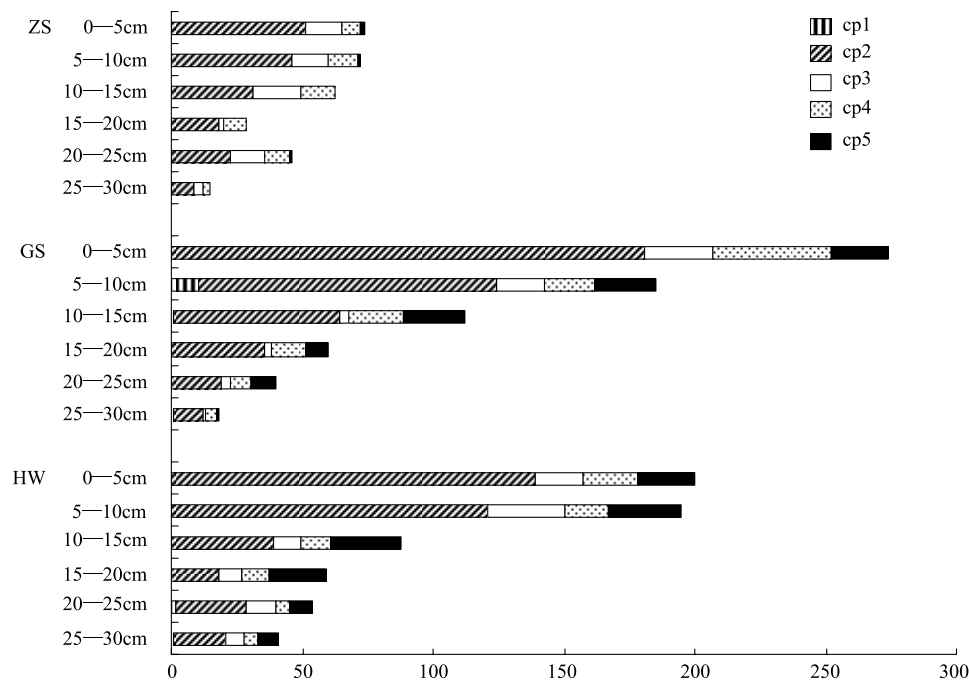


图4 枯草期高寒草甸3种植物群落下土壤线虫c-p类群的分布情况

Fig. 4 Vertical distribution of c-p groups in different plant communities of alpine meadows in Withering period

同植物群落间及同种植物群落的不同土层间无显著性差异($P>0.05$)。

在采集的所有样本中, NCR 值介于0.37—0.98,3个时期的均值大小顺序为:藏北嵩草群落>高山嵩草群落>委陵菜群落,与 MI 、 PPI 的顺序相反。总体来说,尽管3种植被类型的 NCR 值随土壤深度加大而变化的趋势不同,但基本都大于0.5,仅有委陵菜群落15—20cm土层小于0.5。

表3 高寒草甸不同植物群落下土壤线虫群落的营养结构特征指数

Table 3 Indexes of soil nematode community nutrition structure in different plant communities of alpine meadows						
土层 Soil/cm		<i>MI</i>	<i>PPI</i>	<i>PPI/MI</i>	<i>F/B</i>	<i>NCR</i>
委陵菜群落	0—5	3.03±0.19a	2.26±0.13a	0.75±0.06a	0.20	0.84±0.09b
	5—10	3.38±0.39a	2.47±0.12a	0.74±0.08a	0.24	0.73±0.14ab
	10—15	3.63±0.32a	2.40±0.27a	0.66±0.09a	0.65	0.65±0.12ab
	15—20	3.88±0.14a	2.54±0.17a	0.66±0.06a	0.74	0.42±0.37a
	20—25	3.30±0.51a	2.34±0.22a	0.71±0.09a	0.28	0.65±0.24ab
	25—30	3.12±0.63a	2.48±0.34a	0.81±0.08a	0.33	0.67±0.12ab
高山嵩草群落	0—5	3.02±0.29b	2.19±0.16b	0.73±0.11a	0.76	0.55±0.18a
	5—10	2.90±0.13b	2.08±0.14b	0.72±0.07a	0.39	0.73±0.09ab
	10—15	2.88±0.09b	2.16±0.21b	0.75±0.06a	0.39	0.71±0.09ab
	15—20	2.97±0.11b	2.31±0.27b	0.78±0.10a	0.35	0.66±0.04ab
	20—25	3.09±0.38b	2.30±0.11b	0.75±0.06a	0.23	0.81±0.09b
	25—30	2.91±0.66b	2.50±0.41b	0.87±0.06a	0.05	0.83±0.13b
藏北嵩草群落	0—5	2.66±0.23c	2.08±0.03c	0.79±0.06a	0.36	0.73±0.03ab
	5—10	2.61±0.44c	2.05±0.03c	0.80±0.14a	0.37	0.75±0.03ab
	10—15	2.67±0.46c	2.13±0.08c	0.81±0.14a	0.15	0.84±0.08ab
	15—20	2.99±0.28c	2.06±0.05c	0.69±0.06a	0.13	0.90±0.02b
	20—25	2.62±0.40c	2.04±0.03c	0.79±0.13a	0.16	0.87±0.07b
	25—30	2.66±0.37c	2.03±0.05c	0.77±0.08a	0.63	0.66±0.12a

表中数值代表平均值±标准差;一列中的字母相同表示差异不显著,不同字母差异显著($P<0.05$,邓肯法)

3.3.3 土壤线虫营养类群及 c-p 类群与土壤性质的关系

对线虫个体数量与环境因子之间进行相关分析,结果表明:土壤线虫数量在盛长期与土壤含水量极显著正相关($r=0.349^{**}$),与 pH 极显著负相关($r=-0.528^{**}$),线虫数量生长时期均值与土壤 pH、电导率显著相关($r=-0.485^{*}$, $r=0.472^{*}$)。由于不同营养类群及各 c-p 类群对环境因子的响应不同,仅对线虫总数量进行分析难免存在局限性,因此,将 3 个生长时期不同营养类群及 c-p 类群线虫个体数量与土壤性质之间进行相关分析,结果如表 4 所示,以进一步探讨线虫与环境因子之间的关系。

返青期:4 个营养类群及 cp1—cp5 类群与电导率之间均无显著相关性;植食性线虫个体数量与 pH 极显著负相关($P=0.001$),pH 与食细菌性线虫个体数量显著负相关($P=0.015$),与食真菌性线虫个体数量极显著负相关($P=0.003$);4 个营养类群及 cp1—cp4 类群与含水量之间均无显著相关性,cp5 类群个体数量与土壤含水量显著负相关($P=0.011$);cp4 类群个体数量与 pH 显著负相关($P=0.023$),cp2 类群与 pH 极显著负相关($P=0.001$)。

盛长期:食真菌性线虫个体数量与土壤 pH 呈极显著负相关($P=0.006$),土壤 pH 与食细菌性线虫和杂食/捕食性线虫的个体数量无显著相关性,与植食性线虫显著负相关($P=0.012$);食真菌性线虫个体数量与电导率极显著相关($P=0.008$),其它 3 个类群与电导率无显著相关;4 个营养类群及 cp1—cp5 类群与含水量之间均无显著相关性。cp1—cp4 类群与土壤电导率间均无显著相关性;cp5 与 pH 间极显著负相关($P=0.005$)。

枯草期:4 个营养类群及 cp1—cp5 类群与电导率之间均无显著相关性;食真菌性线虫个体数量与土壤 pH 间显著负相关($P=0.047$),其它 3 个类群及 cp1—cp5 类群与 pH 间无显著相关性;杂食/捕食性线虫个体数量与土壤含水量显著负相关($P=0.015$),其它 3 个类群与土壤含水量之间无显著相关性。cp5 类群个体数量与土壤含水量极显著负相关($P=0.003$)。

对 3 个生长时期的均值进行相关分析,结果显示:土壤线虫数量与土壤含水量之间无显著相关性,土壤线虫数量与土壤 pH、电导率显著相关($r=-0.485^{*}$, $r=0.472^{*}$)。土壤线虫数量在盛长期与土壤含水量极显著正相关($r=0.349^{**}$),与 pH 极显著负相关($r=-0.528^{**}$)。

表 4 土壤性质与土壤线虫营养类群及 c-p 类群个体数量间的关系

Table 4 Correlation coefficients between nematode number of soil nematodes nutrition groups and c-p groups and major soil properties

类群 Species	返青期 Reviving period			盛长期 Flourishing period			枯草期 Withering period		
	电导率 /($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	土壤含 水量/%	电导率 /($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	土壤含 水量/%	电导率 /($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	土壤含 水量/%
Fu	—	-0.659 ^{**}	—	0.607 ^{**}	-0.617 ^{**}	—	—	-0.473 [*]	—
Ba	—	-0.561 [*]	—	—	—	—	—	—	—
Pp	—	-0.746 ^{**}	—	—	-0.578 [*]	—	—	—	—
Op	—	—	—	—	—	—	—	—	-0.564 [*]
cp1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
cp2	—	-0.706 ^{**}	—	—	—	—	—	—	—
cp3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
cp4	—	-0.532 [*]	—	—	—	—	—	—	—
cp5	—	—	-0.586 [*]	—	-0.626 ^{**}	—	—	—	-0.654 ^{**}

* 显著性相关($P<0.05$); ** 极显著相关($P<0.01$)

4 讨论

研究区域地处青藏高原冻土带,其草地植被的植物区系、形态、生理生化都具有典型的高原特点。冻土能敏感地反映气候变化,季节性冻土则因周期性的冻融交替,显著地影响着土壤生物的种群和群落特征。

本研究鉴定到的藏北高寒草甸土壤线虫类群属数高于青海省海北高寒草甸草原 2 纲 6 目 47 属的报道结果^[27],也高于内蒙古中东部大针茅草原 50 属的报道结果^[28]。土壤线虫数量 23—4109 条/100g 干土,低于欧

洲草地土壤线虫的数量(1630—7400 条/100g 干土)^[29],但仍处于多数报道的范围。3 种植物群落下,土壤线虫类群属数的排序为:委陵菜群落>高山嵩草群落>藏北嵩草群落。

在不同植物群落下,土壤线虫的营养类群结构出现分异:委陵菜群落为植食性线虫>杂食/捕食性线虫>食细菌性线虫>食真菌性线虫;高山嵩草群落则为食细菌性线虫>植食性线虫>食真菌性线虫>杂食/捕食性线虫;藏北嵩草群落为食细菌性线虫>植食性线虫>杂食/捕食性线虫>食真菌性线虫。总体来说,植食性线虫和食细菌性线虫是调查区域的主要营养类群,分别占到了线虫个体总数的 35.59% 和 34.20%,杂食/捕食性线虫和食真菌性线虫的比例较低,分别占线虫个体总数的 17.64% 和 12.58%。土壤线虫营养结构的分异表明:植物群落对土壤线虫营养类群的结构产生了影响。

一般认为,委陵菜群落是高山嵩草为主要建群种的高寒草甸发生严重退化后的形式,可以推测,高山嵩草型高寒草甸发生退化会导致植食性线虫多度升高,比正常高寒草甸更易受到植食性生物的伤害^[30]。尽管如此,跟前人的研究结果进行对比,本调查区域高寒草甸的植食性线虫比例还是偏低的,例如,在内蒙古大针茅草原土壤中,植食性线虫所占的比例高达 69%—81%^[28];罗马尼亚草原的植食性线虫所占比例为 46%—69%^[31];在玉米农田土壤中,植食性线虫比例为 60%^[32]。

杂食/捕食性线虫是决定土壤食物网复杂性的关键生物类群^[33],委陵菜群落的杂食/捕食性线虫在营养类群中的比例远高于属于非退化形式的高山嵩草植被类型,这说明草甸退化增加了土壤食物网的复杂性。

3 种植物群落间的食细菌性线虫相对多度差异不显著。Yeates 对 13 个新西兰草原土壤线虫群落进行调查时发现,食细菌性线虫相对多度高达 19.8%—49.9%^[34],本调查区域 3 种植物群落高寒草甸的食细菌性线虫相对多度为 25.25%—42.82%,与 Yeates 的调查结果相一致。食细菌性线虫相对多度高可能反映了土壤中细菌数量及土壤有机质的增加^[35]。

食真菌性线虫与食细菌性线虫的比值(F/B)为 0.05—0.76,平均 0.37,处于 Ruess 所报道的草原土壤线虫群落中二者比值 0.1—1.0 的变化范围内^[36]。3 种植物群落间 F/B 值无明显差异,均值均小于 0.5,说明不同植物群落下,土壤中食细菌性线虫数量在大多数样本里均多于食真菌性线虫,土壤有机质分解系统中主要依靠细菌分解途径,这和本研究的 NCR 结果相一致。

以高山嵩草群落作为参照,委陵菜植物群落的 cp3、cp5 类群个体数量和相对多度在 3 个生长时期均高于高山嵩草群落,cp1、cp2 及 cp4 类群则在 3 个时期均低于高山嵩草群落;藏北嵩草群落 cp3 类群的个体数量及相对多度均高于高山嵩草群落,而其它 c-p 类群则低于高山嵩草群落。cp3—cp5 类群为定居者,也就是 k-策略者,它们生活周期长,增殖能力低,对干扰敏感,在生境中稳定而持续地生活的时间较长,当土壤被扰动时,有可能导致数量的下降及缺失,而作为土壤线虫典型机会主义者的 cp1 类群和机会主义者 cp2 类群,生命周期短,增殖能力强,耐受干扰、富营养化和厌氧条件,在有利条件下数量会迅速增加^[5]。因此,根据调查结果得出结论:高山嵩草群落土壤中的线虫食物资源在 3 种植被类型种最丰富,这可能是导致 cp1、cp2 类群数量多的主要原因之一;委陵菜群落的 cp5 类群在三者中最高,可能是因为该草地类型受到的放牧、鼠害等干扰最少;藏北嵩草群落由于沼泽化,其生境和委陵菜群落以及高山嵩草群落差异较大,尽管其植被覆盖度很高,地上生物量、土壤含水量、电导率均明显高于其它两种高寒草甸,但线虫数量却低于另外两种植物群落的可能原因是:归还到土壤中的有机残体纤维质含量较高,在湿冷条件下分解速度慢,线虫食物资源的减少限制了 cp1、cp2 类群的增殖。cp1—cp5 类群在 3 种植物群落下的变化情况说明线虫群落的稳定状况受到了植物群落的影响。

3 种植物群落不同生长时期的 MI 、 PPI 均值大小顺序一致。委陵菜群落的 MI 、 PPI 均值显著大于其它两种植被类型,3 种植物群落间的 MI 值差异显著。 MI 、 PPI 及 PPI/MI 值常被用来反映生态系统的稳定性及受干扰的影响程度,Bongers 曾指出, MI 指数越高,生态系统成熟度越高,反之则生态系统受到干扰发生退化^[4], PPI 值则与扰动的频率呈正相关^[37], PPI/MI 值在受扰动的时候会升高^[38]。按照以上结论,委陵菜群落 PPI 值最高,受扰动的影响程度大于其余两种植被类型,这点基本符合实际情况。委陵菜群落属严重退化草

地,植被稀疏,土壤受阳光辐射、大风等所导致的土壤湿度、温度的变化幅度,冻融交替的频率,以及地表风蚀等影响均高于其它两种植物群落。但是,委陵菜群落的 MI 、 PPI/MI 值却指示出:委陵菜群落的稳定性较高,受到的干扰在 3 种植物群落中最少,这个结果和前述委陵菜植物群落的 cp5 类群在三者中最高受扰动最少的结论一致。造成不同的指数所得到的结论相左的可能的原因是:cp5 类群对来自于放牧、鼠害等的干扰更敏感,而对生境中一定程度内的土壤湿、温度变化以及冻融交替的频率可能具有一定的适应性; MI 、 PPI 、 PPI/MI 3 个指数指示高寒草甸所受干扰的灵敏度不同, MI 值指示土壤重金属污染产生的干扰会更有效^[39]。具体原因还需进一步研究确证。

通过相关性分析,土壤线虫个体数量在盛长期与土壤含水量极显著相关,但在进一步对不同营养类群及各 c-p 类群与土壤含水量进行相关性分析时则发现:4 个营养类群及 cp1—cp5 与土壤含水量之间均无明显相关性,显示了线虫与环境因子之间的复杂关系。关于线虫数量与土壤含水量之间的密切关系是如何建立起来的,这还需进一步研究。

不同营养类群与环境因子之间的相关性分析结果表明:杂食/捕食性线虫在枯草期明显受到土壤含水量的影响;食真菌性线虫与土壤 pH 之间的关系密切,在盛长期则明显受到土壤电导率的影响;食细菌性线虫仅在返青期与 pH 有相关性。

cp1—cp5 类群与环境因子间的相关性分析结果表明,土壤含水量对返青期和枯草期的 cp5 类群影响较大,而土壤 pH 则对返青期的 cp2 及 cp4 类群,以及盛长期的 cp5 类群产生明显影响,这一结果说明,各 c-p 类群在不同时期对环境因子的响应不同,cp5 类群对环境因子的变化在 5 个 c-p 类群中最为敏感。未发现土壤电导率与各 c-p 类群数量间有显著相关性。

由于植被所影响的土壤湿度、温度、养分、冻融过程等因素均直接或间接地影响和限制着土壤线虫的分布和群落结构,植物群落深刻地影响着土壤线虫群落的组成及分布特征,并由此反映着土壤生态系统的动态过程和演变,从这一点来看,研究土壤线虫群落与植被之间的关系有着重要意义。

References:

- [1] Cook R, Yeates G W. Nematode pests of grassland and forage crops. In: Evans K, eds. Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture. Wallingford: CAB International. 1993: 305-350.
- [2] Moore J C, de Ruiter P C. Temporal and spatial heterogeneity of trophic interactions within belowground food webs. Agriculture, Ecosystems and Environment, 199, 34: 371-397.
- [3] Yeates G W, Bongers T, de Goede R G M, Freckman D W, Georgieva S S. Feeding habits in soil nematode families and genera—An outline for soil ecologists. Journal of Nematology, 1993, 25: 315-331.
- [4] Bongers T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia, 1990, 83: 14-19.
- [5] Bongers T, Bongers M. Functional diversity of nematodes. Applied Soil Ecology, 1998, 10: 239-251.
- [6] Ferris H, Bongers T, de Goede R G M. A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. Applied Soil Ecology, 2001, 18: 13-29.
- [7] Yeates G W. Nematodes as soil indicators: Functional and biodiversity aspects. Biol Fert Soils, 2003, 37(4): 199-210.
- [8] Parmelee R W, Alston D G. Nematode trophic structure in conventional and no-tillage agroecosystems. Journal of Nematology, 1986, 18: 403-407.
- [9] Wardle D A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practice. Advances in Ecological Research, 1995a, 26: 105-185.
- [10] Fu S L, Coleman D C, Hendrix P F, Crossley Jr D A. Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 1731-1741.
- [11] Rahman L, Chan K Y, Heenan D P. Impact of tillage, stubble management and crop rotation on nematode populations in a long-term field experiment. Soil & Tillage Research, 2007, 95: 110-119.
- [12] Hua J F, Liang Y, Liang W J. Effects of vegetation coverage on spatial distribution of soil nematode trophic groups. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 295-299.
- [13] Wei X H, Yang P, Xie Z K, Wang Y J. Distribution and utilization of *Kobresia pygmaea* type pastures in Naqu Prefecture of Tibet. Acta Agrestia Sinica, 2003, 11(1): 67-74.
- [14] Liu X S, Ma Y C, Laba, Yu Z S. Climatic regionalization of the animal husbandry of Naqu Region. Beijing: Meteorological Press, 2003.
- [15] Lu R K. Analytical methods for soil and agrochemistry. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.

- [16] Mao X F, Li H X, Chen X Y, H F. Extraction efficiency of soil nematodes by different methods. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(3): 149-151.
- [17] Bongers T. *De Nematoden Van Nederland*. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1988.
- [18] Mohammad Shamim Jairajpuri, Wasim Ahmad. *Dorylaimida-Freeliving, Predaceous and Plant-parasitic Nematodes*. New Delhi: Printed in India at Pauls Press, 1992.
- [19] Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [20] Xie H. *Taxonomy of plant nematodes*, 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2005.
- [21] Wu J H. *Studies of freshwater and soil nematodes of China*. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy Sciences, 1999.
- [22] Liang W J, Zhang W M, Li W G, Duan Y X. Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the black soil region. *Biodiversity Science*, 2001, 9(3): 237-240.
- [23] Wu D H, Yin W Y, Yan R Q. Effects of vegetation recovery practices on the characteristics of soil nematode communities on seriously degraded grasslands in Songnen Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2783-2790.
- [24] Wu D H, Yin W Y, Bu Z Y. Changes among soil nematode community characteristics in relation to different vegetation restoration practices in the moderate degraded grasslands of Songnen. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 1-12.
- [25] Freckman D W, Ettema C H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1993, 45: 239-261.
- [26] Bongers T, Bongers M. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10(3): 239-251.
- [27] Yin W Y. *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000, 57-63.
- [28] Ruan W B, Wu J B, Zhang X, Li J, Xu H, Zhao N X, Chen L, Duan Y X, Chen L J, Gao Y B. Soil nematode diversity in *Stipa grandis* community in the mid-east of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2007, 13(3): 333-337.
- [29] Ekschmitt K, Bakonyi G, Bongers M, Bongers T, Boström S, Dogan H, Harrison A, Kallimanis A, Nagy P, O'Donnell A G, Sohlenius B, Stamou G P, Wolters V. Effects of the nematofauna on microbial energy and matter transformation rates in European grassland soils. *Plant and soil*, 1999, 212(1): 45-61.
- [30] Bergeson G B, Ferris J M. Influence of tillage methods on *pratylenchus* spp. in 2 soil types. *Plant Disease*, 1986, 70: 326-328.
- [31] Popovici I, Ciobanu M. Diversity and distribution of nematode communities in grassland from Romania in relation to vegetation and soil characteristics. *Applied Soil Ecology*, 2000, 12: 27-36.
- [32] Zhou J H, Tao J, Chen X Y, Hu F, Li H X. Soil nematode density inside and outside a pesticide factory in Anhui. *Biodiversity Science*, 2008, 16(6): 613-617.
- [33] Polis G A, Strong D R. Food web complexity and community dynamics. *American Naturalist*, 1996, 147: 813-846.
- [34] Yeates G W. Variation in soil nematode diversity under pasture with soil and year. *Soil Biology & Biochemistry*, 1984, 16: 95-102.
- [35] Griffiths B S, Ritz K, Wheatley R E. Nematodes as indicators of enhanced microbiological activity in a Scottish organic farming. *Soil Use & Management*, 1994, 10: 20-24.
- [36] Ruess L. Nematode soil faunal analysis of decomposition pathways in different ecosystems. *Nematology*, 2003, 5: 179-181.
- [37] Liu Y J. *Characteristics of soil nematode community structure in greenhouse*. Harbin: Heilongjiang university press, 2010.
- [38] Bongers T, van der Meulen H, Korthals G. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, 1997, 6: 195-199.
- [39] Bongers T, Ferris H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 1999, 14: 224-228.

参考文献:

- [12] 华建峰, 梁勇, 梁文举. 植被覆盖对土壤线虫营养类群空间分布的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 295-299.
- [13] 魏兴琥, 杨萍, 谢忠奎, 王亚军. 西藏那曲地区高山嵩草草地的分布与利用. *草地学报*, 2003, 11(1): 67-74.
- [14] 刘雪松, 马玉才, 拉巴, 余忠水. 那曲地区牧业气候区划. 北京: 气象出版社, 2003.
- [15] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [16] 毛小芳, 李辉信, 陈小云, 胡锋. 土壤线虫三种分离方法效率比较. *生态学杂志*, 2004, 23(3): 149-151.
- [19] 尹文英. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [20] 谢辉. *植物线虫分类学(第二版)*. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [21] 吴纪华. *中国淡水和土壤线虫的研究*[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1999.
- [22] 梁文举, 张万民, 李维光, 段玉玺. 施用化肥对黑土地地区线虫群落组成及多样性产生的影响. *生物多样性*, 2001, 9(3): 237-240.
- [23] 吴东辉, 尹文英, 阎日青. 植被恢复方式对松嫩草原重度退化草地土壤线虫群落特征的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2783-2790.
- [24] 吴东辉, 尹文英, 卜照义. 松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤线虫的群落特征. *生态学报*, 2008, 28(1): 1-12.
- [27] 尹文英. *中国土壤动物*. 北京: 科学出版社, 2000, 57-63.
- [28] 阮维斌, 吴建波, 张欣, 李晶, 许华, 赵念席, 陈磊, 段玉玺, 陈立洁, 高玉葆. 内蒙古中东部大针茅群落土壤线虫多样性研究. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(3): 333-337.
- [32] 周际海, 陶军, 陈小云, 胡锋, 李辉信. 安徽农药厂厂区及周边农田土壤线虫数量特征. *生物多样性*, 2008, 16(6): 613-617.
- [37] 刘艳军. *温室土壤线虫群落结构特征*. 哈尔滨: 黑龙江大学出版社, 2010.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
- Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
- A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
- Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
- Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
- Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
- Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethytidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
- Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
- The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
- Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
- Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
- Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
- An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
- Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
- Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
- Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
- Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
- Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade	MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment	LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C,N and P distribution of <i>Schima superba</i> seedlings in response to simulated nitrogen deposition	LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields	WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)

Resource and Industrial Ecology

Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of <i>Zizania latifolia</i> Turcz. plants are affected by <i>Ustilago esculenta</i> infection	YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron(<i>Citrus medica</i> L. var. <i>sarcodactylis</i> Swingle)	CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
Hosts preference of <i>Echinothrips americanus</i> Morgan for different vegetables ...	ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants	YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of <i>Populus tomentosa</i> seedlings	WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach	ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)

Research Notes

Characteristics of precipitation distribution in <i>Pinus tabulaeformis</i> plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain	ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing	JIA Baoqun (1654)
Effects of <i>Mikania micrantha</i> wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	WANG Ruilong, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《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

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 5 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 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