

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **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 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栢群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	 羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	 邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

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

肖能文, 谢德燕, 王学霞, 闫春红, 胡理乐, 李俊生. 大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响. 生态学报, 2011, 31(13): 3736-3744.

Xiao N W, Xie D Y, Wang X X, Yan C H, Hu L L, Li J S. Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3736-3744.

大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响

肖能文, 谢德燕, 王学霞, 闫春红, 胡理乐, 李俊生*

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 选择大庆油田环境一致的 6 口油井, 研究石油开采干扰对土壤线虫的影响。共鉴定出土壤线虫 18 科 30 属。其中食细菌线虫最多, 共 15 属占总数的 49.2%, 其次为植物寄生线虫共 9 属, 占 30.6%, 食真菌线虫 4 属, 占 17.6%, 杂食/捕食线虫 2 属, 占 2.6%。其中优势类群为丝尾垫刃属 *Filenchus* 和头叶属 *Cephalobus*, 占总数的 42.5%。土壤的线虫生活史策略以 c-p 2 所占比例最大, 其次是 c-p 3 和 c-p 1 类群, 受油井开采作业等影响, 线虫通过大量繁殖来应对环境的干扰与压力。所有油井线虫总数比对照明显减少 ($P < 0.001$), 但不同油井线虫总数和群落结构差异不显著 ($P > 0.05$)。各油井线虫富集指数和结构指数均小于 50, 表明所有油井线虫受干扰程度较高, 土壤食物网趋于退化。随着距油井口采样距离增加, 线虫总量差异不显著, 但线虫群落的物种数量增加, 优势度指数和多样性指数逐渐增加。结果表明油井开采对土壤线虫群落有一定的影响, 开采距离对线虫群落结构影响较大。

关键词: 大庆油田; 石油开采; 土壤线虫; 群落结构

Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield

XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, YAN Chunhong, HU Lile, LI Junsheng*

Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: The aim of this study was to evaluate the impact of oil exploitation on soil nematode communities. Six oil wells ($N46^{\circ}39'30''$ — $46^{\circ}41'0''$; $E124^{\circ}53'30''$ — $124^{\circ}58'30''$) were selected in the Daqing Oilfield, away from villages and in a homogeneous environment. The main vegetation is reeds and low grass with coverage of 75%—90%. Soil samples were collected in triplicate at distances of 0, 3, 6, 10 and 30 m from the wellhead and in three directions of radiation. The nematodes in each soil sample were isolated and identified to genus level under an optical microscope.

Thirty genera from 18 families of soil nematodes were identified, which included 15 genera of bacterivores, 9 genera of herbivores, 4 genera of fungivores, and 2 genera of omnivore-predator nematodes. Dominant groups were *Filenchus* and *Cephalobus* which were 42.5% of the total. Common groups included 13 genera, representing 51.7% of the total. Rare groups included 15 genera, representing 6.34% of the total. The largest proportion of nematodes (71.8% of the total) belonged to the life history strategy c-p 2 guild with lesser proportions of c-p 3 and c-p 1 guilds. The smallest proportion of nematodes was of the c-p 4 guild, representing only about 4% of the total, and c-p 5 guild was not present. Nematodes around the oil well were mostly of the r-strategists, which indicate their relative resistance to environmental stress. Thus, nematodes adapted to the interference and stress of oil exploitation by increased reproduction.

Total numbers of nematodes in the soils around the different wells were not significantly different ($P > 0.05$) but were significantly lower than the control ($P < 0.001$). Numbers of herbivores and fungivores between the different wells were not significantly different ($P > 0.05$). Significantly larger ($P > 0.05$) numbers of bacterivores were found in oil well II. The

基金项目: 国家科技支撑项目 (2008BAC43B01, 2008BAC43B02); 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助 (2009ZX07207-002)

收稿日期: 2010-12-02; **修订日期:** 2011-03-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijsh@craes.org.cn

enrichment and structure indexes of nematode communities in all oil wells were less than 50, showing that the degree of interference of each well was high and the soil food-web in the soil tended to be degraded. The community structure of nematodes between the different wells was not significantly different ($P>0.05$).

Total numbers of nematodes at increasing distance from the well were not significantly different, but were significantly lower than in the control ($P<0.05$). Numbers of bacterivore, herbivore and fungivore nematodes showed no significant differences ($P>0.05$) at different distances from the well. Numbers of omnivore-predator nematodes were significantly greater ($p>0.05$) at 30 m from the well than at other distances. However, with increasing distance from the oil well, abundance, the Simpson Index and the Shannon-Wiener diversity index of nematodes gradually increased. The results of this study establish a theoretical foundation for remediation of soils contaminated by oil exploitation.

Key Words: Daqing Oilfield; oil exploitation; soil nematodes; community structure

大庆市位于黑龙江省西部,松嫩平原中部,地理位置在北纬 $45^{\circ}46'$ — $46^{\circ}55'$,东经 $124^{\circ}19'$ — $125^{\circ}12'$,总面积 $2.12\times 10^4\text{ km}^2$,属中温带大陆性季风气候,具有大陆性强、温差大、季风性明显、降水量少的特点。自然植被为草甸草原,土壤为碳酸盐黑钙土^[1]。

大庆市有我国最大的油田大庆油田。伴随着石油开发,落地原油中含有高毒性、脂溶性、难降解、易生物富集放大等特点的各种有机污染物滞留、富集在土壤或地层中,再通过天然降雨或其他水源将其带入包气带,并可能不断地向下迁移,从而造成二次污染^[2]。

线虫是土壤中最丰富的后生动物,广泛存在于各种生境,营养类群多样,在土壤生态系统腐屑食物网中占有重要地位。线虫不仅在维持土壤生态系统稳定,促进物质循环和能量流动等方面发挥着重要作用,同时,由于其具有生存和适应能力强、对环境变化敏感、提取与鉴定比较简单、实验周期短等诸多优点,目前已被广泛用来揭示土壤污染状况和评价土壤环境质量的模式生物^[3-5]。ASTM (American Society for Testing and Materials)颁布了秀丽隐杆线虫(*Caenorhabditis elegans*)土壤毒性评价的标准化指南^[6]。

线虫常被用于监测土壤各种重金属和有机物对土壤的污染,铜、砷等各种重金属对土壤线虫群落结构的影响已被深入探讨^[7-8],而对于石油及多环芳烃等有机物的污染指示性研究则相对较少^[9-10]。

为了研究石油开采对土壤动物群落的影响,在大庆油田选择环境一致的油井,按距油井井口不同距离采集土壤线虫,分析石油开采过程中油井周围的石油污染与线虫群落结构的关系,揭示石油开采对土壤线虫群落的影响,其结果并将为石油开采污染土壤的修复奠定理论基础。

1 研究区概况与研究方法

1.1 样地的选择

在大庆油田选择的六口样井($N46^{\circ}39'30''$ — $46^{\circ}41'0''$; $E124^{\circ}53'30''$ — $124^{\circ}58'30''$)研究,该区域海拔为 140 m,油井远离村镇,生态环境较为一致,主要植被为芦苇。油井开采时间相对一致,分别标为 I (北-1-J3-421), II (北 1-330-25), III (北 1-3-E39), IV (北 1-41-P242), V (北 1-321-P15), VI (北 1-2-P26),土质为粘土和沙土,井场周边以芦苇和低矮草为主,植被盖度为 75%—90%。在附近周围 500 m 没有油井的地方,选择与油井周围环境一致的 3 个点作为对照。

1.2 调查采样方法

2010 年 7 月在大庆油田样井周围进行取样。以油井为中心向 3 个方向辐射布点,在距离采油井口分别为 0、3、6、10、30 m 采样。采样深度为表土 0—15 cm,每个采样点设 2 m×1 m 样方,在样方内选择 3 个点取土,将其均匀混合后制成混合土样带回实验室分离线虫。

1.3 线虫分离、鉴定

每个土样取土 100 cm³,3 d 内用浅盘法分离线虫 48 h,收集线虫悬浮液并浓缩至 2ml,用 4% 福尔马林溶液固定^[11]。光学显微镜下参照 Goodey 的分类系统和《中国土壤动物检索图鉴》以及《植物线虫志》^[12-14],将

线虫鉴定到属,并统计各属线虫数量。

1.4 土壤线虫群落多样性分析

土壤线虫依据 Yeates 等^[3]分为 4 个营养类型,分别为食细菌类(Bacterivores, B)、食真菌类(Fungivores, F)、植物寄生类(Herbivores, H)和杂食捕食类(Omnivores-predators, O)。研究采用的生态学指数如下:

Shannon-Wiener 多样性指数^[15]

$$H' = - \sum P_i \cdot \ln P_i ; P_i = n_i / N \quad (1)$$

Pielou 均匀性指数^[16]

$$j = H' / \ln s \quad (2)$$

Simpson 优势度指数^[17]

$$C = \sum (n_i / N)^2 ; C = \sum H'^2 \quad (3)$$

线虫成熟指数(Maturity Index, MI)^[4]

$$MI = \sum v(i) \cdot f(i) \quad (4)$$

植物寄生线虫成熟度指数(Plant Parasites Index, PPI)^[3]

$$PPI = \sum v(i) \cdot f'(i) \quad (5)$$

富集指数(Enrichment Index, EI)^[9]

$$EI = 100 \times (e / (e + b)) \quad (6)$$

$$b = \sum kb \times nb ; e = \sum ke \times ne$$

结构指数(Structure Index, SI)^[9]

$$SI = 100 \times (s / (s + b)) ; \quad (7)$$

$$b = \sum kb \times nb ; s = \sum ks \times ns$$

(8) 线虫通路比值(Nematoda Channel Ratio, NCR)^[18]

$$NCR = N_{Ba} / (N_{Ba} + N_{Fu}) \quad (8)$$

式中, n_i 为第*i*类群的个体数, N 为所有类群的个体总数, S 为类群数, $v(i)$ 是第*i*种线虫的 c-p 值, $f(i)$ 第*i*种线虫的个体数占总个体数的比例, $f'(i)$ 是植物寄生性线虫科/属在线虫种群中所占的比例, N_{Ba} 为食细菌线虫数量, N_{Fu} 为食真菌线虫数量, N_p 为食植物类线虫数量。根据线虫不同的生活史策略,将线虫划分为 5 个类群,即不同的 colonizer persister (c-p) 类群:c-p 1,世代时间短,产卵量很大,在食物富集的条件下能够快速增长,代谢快,耐环境压力;c-p 2,世代时间短,产卵量大,较耐环境压力;c-p 3,世代时间较长,对环境压力较为敏感;c-p 4,世代时间长,对环境压力敏感;c-p 5,世代时间很长,产卵量小,对环境压力特别敏感^[19]。各属线虫功能类群及 c-p 值详见表 1。 b (basal) 代表食物网中的基础成分,主要指 Ba_2 和 Fu_2 这两个类群; e (enrichment) 代表食物网中的富集成分,主要指 Ba_1 和 Fu_2 这两个类群; s (structure) 代表食物网中的结构成分,包括 Ba_3 - Ba_5 、 Fu_3 - Fu_5 、 O_3 - O_5 、 H_2 - H_5 类群。式中 kb 、 ke 和 ks 为各类群所对应的加权数, nb 、 ne 和 ns 则为各类群的丰度。

1.5 数据分析

数据采用 SPSS 软件(13.0 版, SPSS Inc.)分析。相关分析采用 Bivariate 分析,各处理间土壤线虫的差异用 ANOVA 分析。线虫群落结构的分析采用基于 VBA 的《线虫生态学指数计算软件 V1.0》模板。统计分析概率为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 线虫科属及营养类群

共鉴定出土壤线虫 18 科 30 属。食细菌线虫共 15 属,所占比例最大,占总数的 49.2%;其次为植物寄生线虫共 9 属,占总数 30.6%,食真菌线虫共 4 属,占总数 17.6%;杂食/捕食线虫最少,仅 2 属,占总数 2.6%。其中优势类群为丝尾垫刃属 *Filenchus* 和头叶属 *Cephalobus* 分别占总数的 10.7% 和 31.8%。常见类群包括 13 个属,占总数的 51.7%。数量少于 1% 的稀有类群有 15 个属,个体数占总数的 6.34%,其中数量少于总数的 0.2% 的属有异皮属 *Heterodera*、三唇属 *Trilabiatius*、畸头属 *Teratocephalus*、棱咽属 *Prismatolaimus* 和无咽属 *Alaimus*。各属线虫丰富度、功能类群及 c-p 值详见表 1。

油井井口周围土壤的线虫生活史策略主要是 c-p 1、c-p 2 和 c-p 3 类群,c-p 4 类群所占比例最小,仅为总数的 4% 左右,而 c-p 5 类群缺乏。按照 De Goede 建议的方法,省略 c-p 4 类群,用 c-p 1、c-p 2 和 c-p 3 类群的比例作三角图^[21](图 1)。线虫不同生活史策略中以 c-p 2 所占比例最大,占线虫总数的 71.8%。其中 c-p 2 类群最大的油井 I 达到 90.1%,而对照点 c-p 2 所占比例为 64.3%,仅高于油井 IV。其次是 c-p 3 类群,占总数的 18.4%。油井 IV 最高达 36.4%,其次为对照点,而油井 II 仅为 0.38%。c-p 1 类群占总数的 7.88%,其中对照点最低仅 2.78%,而油井 II 最高达 18.6%。图中油井 IV 与对照点相隔较近,说明线虫组成差异较小。而油井受开采作业等影响,主要为 c-p 1 和 c-p 2 类群,这些类群是 r-策略者,比较耐受环境压力,c-p 5 类群缺乏,不存在 k-策略者,说明这些油井受到干扰较大,线虫通过大量繁殖来应对环境的干扰与压力。

2.2 不同油井线虫数量和群落结构比较

不同油井线虫总数差异不显著,油井 II 线虫数量最多,而油井 V 线虫数量最少,但所有油井线虫总数比对照明显减少(表 2),方差分析表明油井与对照差异极显著($F=6.033, P<0.001$),但不同油井间线虫总数差异不显著($P>0.05$)。

对各油井不同营养类型的线虫数量进行进一步的比较,结果(表 2)表明,各营养类型的线虫数量都以对照点最高,并且对照与各油井线虫数量差异均显著($P<0.05$)。对照点与油井 IV 土壤食植物类线虫数量最多,而其他油井食细菌类线虫数量最多。方差分析表明其中食植物类和食真菌类线虫各个油井之间差异不显著($P>0.05$),但油井 II 食细菌类线虫数量最多,与其他油井差异显著($P<0.05$)。

不同油井线虫数量群落多样性分析如表 3,丰富度和 Shannon-Wiener 多样性指数、均匀度和优势度都以油井 IV 最高,对照点丰富度最低,多样性指数和优势度指数也比较低,仅高于油井 V,结果表明对照点虽然线虫数量较多,但是种类较少,多样性指数较低,优势度也不突出。

富集指数(*EI*)和结构指数(*SI*)常表示土壤食物网结构。不同油井和对照点富集指数(*EI*)和结构指数(*SI*)作图(图 2),所有的点都在 D 区,Ferris 等认为 D 区线虫干扰程度最高,土壤食物网趋于退化^[22],结果说明所有油井以及对对照点土壤线虫都受到较大的环境压力。

2.3 油井开采不同距离对土壤线虫的影响

距油井口不同距离土壤线虫数量如表 4,线虫总数在 0 m 处最多,而 10 m 处线虫数量最少,方差分析表明各个距离线虫总数没有显著差异($P>0.05$),但与对照差异显著($P<0.05$)。

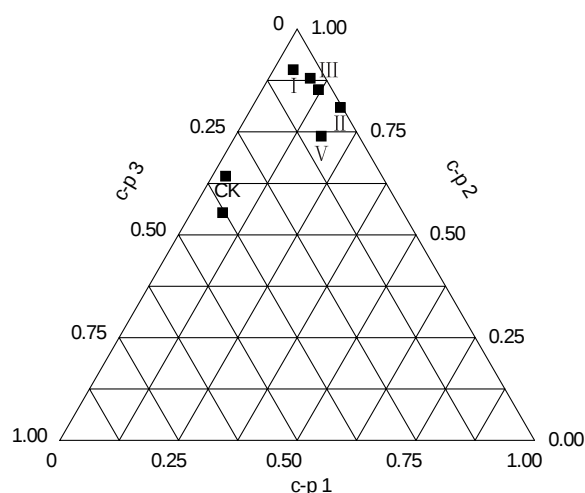


图 1 各油井不同 c-p 值(c-p 1, c-p 2 和 c-p 3, c-p 4 和 c-p 5 省略)线虫相对丰富度

Fig. 1 Relative abundances of nematode taxa classified as c-p 1, c-p 2 and c-p 3 (c-p 4 and c-p 5 taxa were omitted from calculations)

数据点代表样点平均值, I, II, III, IV, V 和 VI 代表不同油井

表 1 不同油井线虫数量、科属组成、营养类型及 c-p 值
Table 1 thecomposed of families and genera of nematodes, nutrient type and c-p values at different oil wells

线虫科 Families	线虫属 Genera	营养类型* Feeding type (FT)	c-p 值** c-p value		不同油井 Oil well/(个/cm ³)					
			Clk	I	II	III	IV	V	VI	
盆咽线虫科 Panagrolaimidae	盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	Ba	14.2	0.3	5.7	0.0	0.8	0.0	1.4	
	三唇属 <i>Trilabiatius</i>	Ba	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	
	小杆线虫科 Rhabdiidae	Ba	5.4	0.3	35.6	1.5	3.9	25.5	7.7	
小杆线虫科 Rhabdiidae	同杆属 <i>Rhabditella</i>	Ba	0.0	0.6	0.0	2.7	0.6	0.0	0.0	
	钩唇属 <i>Diploscapter</i>	Ba	0.0	0.0	0.3	0.3	1.2	0.0	8.4	
	三等齿属 <i>Pelodera</i>	Ba	0.0	0.8	2.2	10.5	6.1	0.0	3.3	
头叶线虫科 Cephalobidae	头叶属 <i>Cephalobus</i>	Ba	243.4	47.3	102.8	86.7	41.7	71.9	59.8	
	真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	Ba	33.0	6.2	21.5	17.8	1.1	9.0	7.5	
	拟丽突属 <i>Acroboloides</i>	Ba	0.0	1.5	12.3	6.8	7.6	6.0	15.8	
假丽突属 Nothacrobeles	假丽突属 <i>Nothacrobeles</i>	Ba	42.7	2.2	6.4	0.0	10.1	0.0	1.7	
	丽突属 <i>Acrobeles</i>	Ba	0.0	0.0	10.6	0.7	1.5	0.0	0.3	
	单宫属 <i>Monhystera</i>	Ba	4.0	4.1	7.8	4.5	0.0	0.0	4.4	
单宫线虫科 Monhysteridae	棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	Ba	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	0.2	0.0	
	畸头属 <i>Teratocephalus</i>	Ba	2.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
	无咽属 <i>Alaimus</i>	Ba	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	
拟滑刃线虫科 Aphelenchoididae	拟滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	Fu	77.0	28.6	26.4	16.8	11.9	8.6	25.3	
	滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	Fu	44.8	21.8	26.1	14.7	6.0	8.0	27.3	
	伪垫刃科 Nothotylenchinae	Fu	0.0	0.0	0.3	4.1	0.3	0.0	0.0	
垫咽 Tylencholaimidae	垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	Fu	0.0	8.5	7.5	5.0	3.8	0.0	2.6	
	垫刃属 <i>Tylenchus</i>	H	12.7	0.0	0.5	1.8	2.9	0.3	7.2	
	丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	H	89.5	26.2	19.3	45.6	11.4	0.4	30.8	
异皮科 Heteroderidae	异皮属 <i>Heterodera</i>	H	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	2.7	
	头垫刃属 <i>Tetylechus</i>	H	2.0	0.0	0.6	2.1	4.4	0.3	6.9	
	针属 <i>Paratylenchus</i>	H	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	
矮化线虫科 Tylenchorhynchidae	矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	H	0.0	2.3	0.2	0.0	7.6	4.8	0.4	
	短体属 <i>Pratylenchus</i>	H	5.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	1.5	
	盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	H	0.0	1.0	0.0	1.2	31.0	4.5	0.2	
矛线线虫科 Dorylaimidae	螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	H	272.4	5.3	0.0	5.8	30.2	1.7	1.3	
	矛线属 <i>Dorylaimus</i>	O	19.9	6.0	3.4	8.7	10.5	2.2	2.0	
	圣城线虫科 Discolaimidae	O	0.0	1.0	0.6	0.3	1.9	0.0	0.0	

* 线虫营养类型参考 Yeates & Bongers 的研究成果^[3], 其中 Ba 表示食细菌线虫, Fu 表示食真菌线虫, H 表示植物寄生线虫; * c-p 值参考 Bongers (1999)^[9], Neher 等^[20]; I, II, III, IV, V 和 VI 代表不同油井

表 2 不同油井线虫各营养类型数量比较

Table 2 The number of different feeding types of nematode at different oil wells

处理 Treatments	线虫总数 Total number	食植物类 Herbivores	食细菌类 Bacterivores	食真菌类 Fungivores	杂食捕食类 Omnivores-predators
CK	868.1±14.8 b	381.7 ±18.0 b	344.7±15.0 c	121.8 ±10.0 b	19.9 ±3.8 c
I	164.1±11.8 a	34.8 ±7.7 a	63.3 ±6.1 a	59.0 ±7.2 ab	6.9 ±3.2 abc
II	291.4±13.9 a	20.5 ±5.9 a	206.6 ±14.0 bc	60.3 ±8.8 ab	3.9 ±2.7 a
III	237.6±16.2 a	56.6 ±9.5 a	131.5 ±12.1 ab	40.5 ±5.5 a	8.9 ±3.8 abc
IV	204.3±12.4 a	94.6 ±10.8 a	75.3 ±7.6 a	22.0 ±5.2 a	12.4 ±4.0 bc
V	143.4±13.0 a	12.0 ±4.3 a	112.7 ±13.4 ab	16.6 ±4.9 a	2.2 ±2.3 a
VI	221.3±13.8 a	51.1 ±7.8 a	113.0 ±10.4 ab	55.3 ±8.8 ab	2.0 ±1.9 a

图中数据为平均值±标准误,字母相同表示组间无显著性差异,α=0.05; CK 为对照点, I, II, III, IV, V 和 VI 代表不同油井

表 3 不同油井土壤线虫群落多样性分析

Table 3 The diversity of soil nematode communities at different oil wells

处理 Treatments	丰富度 Abundance	多样性指数(<i>H'</i>) Shannon-Wiener Index	均匀度指数(<i>E'</i>) Pielou Index	优势度指数(<i>C'</i>) Simpson Index
CK	15	2.777	0.711	0.798
I	18	3.053	0.732	0.840
II	23	3.187	0.705	0.832
III	21	3.091	0.704	0.813
IV	25	3.766	0.811	0.900
V	14	2.424	0.637	0.707
VI	24	3.474	0.758	0.871

不同营养类型线虫比较结果如表 4,不同距离样点均以食细菌类线虫数量最高,而对照点植食类线虫数量最多。不同距离样点食植物类、食细菌类和食真菌类线虫数量均无显著差异($P>0.05$),但与对照点差异显著($P<0.05$)。杂食捕食类线虫数量在 30 m 处最多,方差分析表明与其他距离差异显著($P<0.05$)。

距油井不同距离土壤线虫群落多样性分析表明(表 5),线虫丰富度、优势度指数和多样性指数都是在最远距离 30 m 处最高。随开采距离增加,物种数量增加,优势度指数和多样性指数逐渐增加,表明距离越远,土壤线虫多样性越高,优势度也越高。

距油井不同距离土壤线虫群落生态学指数分析表明(表 5),成熟度指数以 0m 处最大,但各个距离间差异不大,说明在油井的各个距离,线虫群落都处于演替阶段的早期,土壤环境受到干扰值较高。植物寄生线虫成熟度指数(*PPI*)指示植物寄生线虫 *r*-选择和 *k*-选择的比例,在 6 m 处 *PPI* 指数最高,而 0 m 处 *PPI* 指数最低。*PPI/MI* 比值反映土壤生态系统对外界干扰恢复程度,*PPI/MI* 在 30 m 处最大,表明 30 m 处土壤生态系统对外界干扰恢复程度最高。线虫通路比值(*NCR*)以 0 m 处最大,各个距离的 *NCR* 值均大于 0.5,说明在井场周围土壤有机质分解途径主要为细菌分解途径。

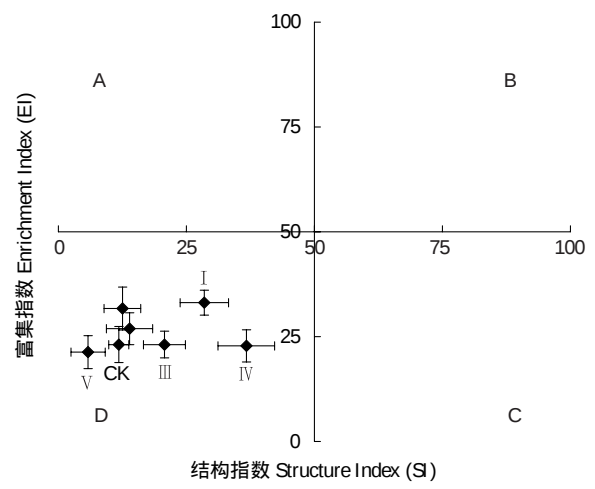


图 2 不同油井线虫结构指数与富集指数

Fig. 2 The structure Index and Structure Index of different oil wells

I—VI 代表不同油井,CK 为对照点

表 4 距油井不同距离线虫各营养类型数量比较

Table 4 The number of different feeding types of nematode at different distances from oil wells					
距离/m Distance	线虫总数 Total number	食植物类 Herbivores	食细菌类 Bacterivores	食真菌类 Fungivores	杂食捕食类 Omnivore-predators
CK	868.1±14.8 b	381.7±18.0 b	344.7±15.0 b	121.8±10.0 b	19.9±3.8 c
0	261.4±14.3 a	5.7±2.4 a	230.3±14.2 b	25.1±4.9a	0.3±1.0 a
3	209.6±16.4 a	50.1±9.5 a	123.0±12.3 ab	29.5±6.0a	7.0±3.9 abc
6	201.6±13.4 a	66.0±10.3 a	72.8±7.5 a	55.2±8.5 ab	7.6±3.2 abc
10	139.5±9.7 a	32.3±4.8 a	66.6±6.3 a	37.2±6.6 a	3.4±2.5 ab
30	245.2±13.1 a	60.6±8.8 a	116.5±12.0 a	57.7±8.2 ab	10.4±3.8 b

字母相同表示组间无显著性差异,字母不同表示有显著性差异,α=0.05

表 5 距油井不同距离土壤线虫群落生态学指数

Table 5 The community ecology index of soil nematode communities at different distances from oil wells								
距离/m Distance	丰富度 Abundance	优势度指数(C) Simpson Index	多样性 指数(H') Shannon-Wiener Index	均匀度 指数(E) Pielou Index	成熟度指数 Maturity index (MI)	植物寄生线虫 成熟度指数 PPI	PPI/MI	线虫通路比值 Nematode Channel Ratio (NCR)
0	18	0.643	2.195	0.526	1.821	0.045	0.024	0.899
3	21	0.809	3.087	0.703	1.521	0.514	0.338	0.804
6	21	0.874	3.371	0.768	1.424	0.782	0.549	0.570
10	23	0.872	3.429	0.758	1.648	0.547	0.332	0.644
30	26	0.915	3.909	0.832	1.474	0.632	0.429	0.671

3 讨论

大庆油田经过 40 余年的勘探和开发及油田、城市建设,原生的生态地质环境遭到较严重破坏,产生了许多环境地质问题,包括土地沙化、盐渍化、(盐碱化)沼泽化及土壤、地表水体污染,导致耕地、草原退化,大部分地区盐碱化与沼泽化伴生。对油井周围土壤采样,用土壤线虫群落评价土壤的环境压力。在大庆油田选择的 6 口油井共鉴定出土壤线虫 18 科 15 属。食细菌线虫涉及 15 属,所占比例最大,占总数的 49.2%;其次为植物寄生线虫 9 属,占 30.6%;食真菌线虫 4 属,占 17.6%;杂食/捕食线虫 2 属,占 2.6%。各油井除油井Ⅳ外均以食细菌线虫数量最多,而对照点以植物寄生线虫数量最多,该处植被较茂密,故植物寄生线虫较多,而井场(20 m×20 m)范围内植被少,线虫以取食土壤微生物为主。刘五星等研究表明石油污染使土壤有机质含量增加刺激了土壤中微生物的生长,使土壤中微生物多样性增加^[23],因此井场周围土壤微生物数量增加,故食细菌线虫最多。

根据线虫不同的生活史策略,将线虫划分为不同 colonizer persister (c-p)类群,k 策略者因为体型较大,能适应稳定的环境,而 r 策略者能够快速增长而适用多变的环境^[3-4,18]。不同油井线虫主要为 c-p 1 和 c-p 2 类群,这些类群为 r-策略者,说明这些油井土壤受到环境压力较大。对照点主要为 c-p 3 类群,说明对照受到的环境压力小于井场周围。Shao 等认为线虫 c-p 类群能反映环境压力,c-p 较高类群能很好指示重金属污染^[24]。结果还表明油井周围环境压力较大,高 c-p 类群线虫很少。

线虫群落结构分析结果表明群落多样性指数和丰富度与线虫数量没有很好的相关性。对照点线虫数量多,但是丰富度低,多样性指数也较低;而油井井场虽然线虫数量较少,但是丰富度和多样性指数都较高,这可能与井场周围线虫以 r 策略者较多,繁殖较快有关。所有油井线虫富集指数和结构指数都小于 50,表明不同油井线虫受干扰程度较高,土壤食物网趋于退化。对照点富集指数和结构指数都小于 50,说明该点也受到较强的干扰。

不同距离之间线虫总数差异不大,但是丰富度、多样性指数和优势度能很好的反应不同距离线虫的差异,

随着采样距离增加,线虫群落的物种数量增加,优势度指数和多样性指数逐渐增加。Yeates 和 Bongers 认为线虫群落 Shannon-Wiener 指数能反映环境的差异^[25]。Han 等研究了高速公路两侧不同距离土壤线虫群落结构,不同距离土壤线虫数量差异较大,而线虫主要是受土壤重金属含量影响^[8]。结果表明 Shannon-Wiener 能很好反映采样距离对线虫群落的影响。 PPI/MI 指数在 30 m 处最大,井场外土壤生态系统对外界干扰恢复程度最高,开采距离对线虫群落结构影响较大。

研究结果表明不同油井之间线虫数量和群落结构差异不大,各油井食细菌线虫数量最多,而杂食捕食类线虫数量最少。不同油井线虫主要为 c-p 1 和 c-p 2 类群,这些类群为 r-策略者,说明这些油井土壤受到环境压力较大。各油井线虫富集指数和结构指数都小于 50,表明不同油井线虫受干扰程度较高,土壤食物网趋于退化。随着采样距离增加,线虫总量差异不显著,但线虫群落的物种数量增加,优势度指数和多样性指数逐渐增加,开采距离对线虫群落结构影响较大。

References:

- [1] Wang D N, Zang S Y. Research on the dynamic change of wetland landscape of Daqing City based on RS and GIS. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2007, 30(5): 28-32.
- [2] Liu X Y, Shi P F, Sun D Z, Dai C L, Wang P L, Li Y L. Transferring simulation of petroleum pollutants in soils of Daqing area. *Journal of China University of Petroleum (Natural Science)*, 2006, 30(2): 120-124.
- [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. *Nematol*, 1993, 25(3): 315-331.
- [4] Bongers T. Thematurity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83(1): 14-19.
- [5] Ling B, Xiao Q M, Ge F, Xiao N W, Liu X H. Composition and diversity of soil nematode community in Gaoligong mountains in Yunnan province. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2008, 34(3): 341-346.
- [6] ASTM E2172-01. Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity Tests with the Nematode *Caenorhabditis elegans*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2008: 1-12.
- [7] Sun Q, Lu X J, Liang C H. Progress on contamination of soils by petroleum. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2002, 33(5): 390-393.
- [8] Han D C, Zhang X K, Tomar V V S, Li Q, Wen D Z, Liang W J. Effects of heavy metal pollution of highway origin on soil nematode guilds in North Shenyang, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21(2): 193-198.
- [9] Blakely J K, Neher D A, Sponberg A L. Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Applied Soil Ecology*, 2002, 21(1): 71-88.
- [10] Osuji L C, Adesiyun S O, Obute G C. Post-impact assessment of oil pollution in Agbada west plain of Niger Delta, Nigeria: Field reconnaissance and total extractable hydrocarbon content. *Chemistry and Biodiversity*, 2004, 1: 1569-1578.
- [11] Li D Q, Zhang Y G. The Technical Regulations of Resource Investigation and Specimen Collection, Inventory and Sharing in Nature Reserve. Beijing: China Land Press, 2009: 129-136.
- [12] Goodey T, Goodey J B. Soil and Fresh Water Nematodes. London: Methuen & Co Ltd; New York: John Wiley & Sons, Inc, 1963.
- [13] Yin W Y. Group of Soil Animals and Directions for Use of the Keys. Beijing: Science Press, 1998: 1-756.
- [14] Liu W Z. Plant Nematode Sinica. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [15] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, Illinois: University of Illinois, 1949: 117-117.
- [16] Pielou E C. Mathematical Ecology. New York: John Wiley & Sons Inc, 1975.
- [17] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, 163(4148): 688-688.
- [18] Bongers T, Bongers M. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10(3): 239-251.
- [19] Bongers T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil*, 1999, 212: 13-22.
- [20] Neher D A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 2001, 33(4): 161-168.
- [21] de Goede R G M, Bongers T, Ettema C H. Graphical presentation and interpretation of nematode community structure: c-p triangles. *Medical Faculty Landbouww University of Gent*, 1993, 58: 743-750.
- [22] 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(1): 13-29

- [23] Liu W X, Luo Y M, Tong Y, Li Z G, Wu L H. Eco-risk assessment and bioremediation of petroleum contaminated soil II. changes in physico-chemical properties and microbial ecology of petroleum contaminated soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(5): 848-853.
- [24] Shao Y H, Zhang W X, Shen J C, Zhou L X, Xia H P, Shu W S, Ferris H, Fu S L. Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(8): 2040-2046
- [25] Yeates G W, Bongers T. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74(1/3): 113-135.

参考文献:

- [1] 王迪楠, 臧淑英. 基于 RS 和 GIS 的大庆市湿地景观动态研究. *测绘与空间地理信息*, 2007, 30(5): 28-32.
- [2] 刘晓艳, 史鹏飞, 孙德智, 戴春雷, 王平利, 李英丽. 大庆土壤中石油类污染物迁移模拟. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2006, 30(2): 120-124.
- [5] 凌斌, 肖启明, 戈峰, 肖能文, 刘向辉. 云南省高黎贡山土壤线虫群落结构及多样性. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2008, 34(3): 341-346.
- [11] 李迪强, 张于光主编. 自然保护区资源调查与标本采集整理共享技术规程. 北京: 中国大地出版社, 2009: 129-136.
- [13] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [14] 刘维志. 植物线虫志. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [23] 刘五星, 骆永明, 滕应, 李振高, 吴龙华. 石油污染土壤的生态风险评价和生物修复 II. 石油污染土壤的理化性质和微生物生态变化研究. *土壤学报*, 2007, 44(5): 848-853.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG Qihong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabiri</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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	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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元