

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

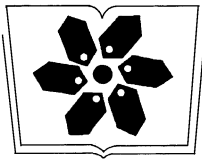
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **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 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 鄧军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 纪金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许 妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李 晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许 超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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/stxb201202050145

刘艳梅, 李新荣, 赵昕, 张鹏, 回嵘. 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响. 生态学报, 2013, 33(9): 2816-2824.

Liu Y M, Li X R, Zhao X, Zhang P, Hui R. Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2816-2824.

生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响

刘艳梅^{1,2,*}, 李新荣², 赵 昕², 张 鹏², 回 嵘²

(1. 天水师范学院生命科学与化学学院, 天水 741001;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠试验研究站, 兰州 730000)

摘要:在干旱的沙漠生态系统中,生物土壤结皮对于沙丘的固定和土壤生物的维持起着相当重要的作用。土壤线虫能敏感的指示土壤的恢复程度,是衡量沙区生态恢复与健康的重要生物学属性,而目前关于生物土壤结皮与土壤线虫的关系研究很少。为探明生物土壤结皮对土壤线虫的影响,以腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区藻结皮和藓类结皮覆盖的沙丘土壤为研究对象,根据固沙年限的不同将样地分为 4 个不同的区进行采样(1956、1964、1981 和 1991 年固沙区),以流沙区作为对照;同时,在不同季度(4、7、9 和 12 月)分别采集腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区藻结皮和藓类结皮覆盖下不同土层(0—10、10—20 和 20—30 cm)的沙丘土壤,以沙坡头地区的红卫天然植被区为对照,分析生物土壤结皮下土壤线虫的时空变化。采用改良的 Baermann 漏斗法进行分离线虫,用光学显微镜鉴定并统计。研究表明:1956、1964、1981 和 1991 年人工植被固沙区的藻结皮和藓类结皮均可显著提高其下土壤线虫多度、属的丰富度、Shannon-Weaver 多样性指数、富集指数和结构指数($P < 0.05$),这可能是因为生物土壤结皮的存在为土壤线虫提供了重要的食物来源和适宜的生存环境;固沙年限与结皮下土壤线虫多度、属的丰富度、Shannon-Weaver 多样性指数、富集指数和结构指数存在显著的正相关关系($P < 0.05$),这说明固沙年限越久,越有利于土壤线虫的生存和繁衍;结皮类型显著影响土壤线虫群落,相对于藻结皮而言,藓类结皮下土壤线虫多度与属的丰富度更高($P < 0.05$),这说明演替后期的藓类结皮比演替早期的藻结皮更有利于土壤线虫的生存和繁衍。此外,藻结皮和藓类结皮均可显著增加其下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫多度和属的丰富度($P < 0.05$),但随着土壤深度的增加,这种影响逐渐减弱,表明生物土壤结皮更有利于表层土壤线虫的生存;而且,随着季节的变化,藻结皮和藓类结皮下土壤线虫多度基本表现为秋季>夏季>春季>冬季,这些反映了生物土壤结皮的生物量、盖度和种类组成随着季节变化而变化。因此,腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区生物土壤结皮的存在与演替有利于土壤线虫的生存和繁衍,增加了线虫数量、种类和多样性,这指示了生物土壤结皮有利于该区土壤及其相应生态系统的恢复。

关键词:生物土壤结皮;土壤线虫;结皮类型;土壤深度;季节变化

Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities

LIU Yanmei^{1,2,*}, LI Xinrong², ZHAO Xin², ZHANG Peng², HUI Rong²

1 Life Science and Chemistry Institute, Tianshui Normal University, Tianshui 741001, China

2 Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Biological soil crusts (BSCs) play an important role in dune fixation and maintaining soil biota in arid desert ecosystems. Soil nematodes can be used as significant bio-indicators to reflect soil recovery regimes and important biological properties in studies of the restoration and health of sandy ecological areas. However, the relationship between BSCs and nematodes is currently poorly understood. To understand how BSCs affect soil nematodes, sand dune soils under algal and

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-301);中国科学院西部之光博士资助项目(Y229D61001);国家自然科学基金(41261014,41001025)

收稿日期:2012-02-05; 修订日期:2012-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lym-781118@163.com

moss crusts were investigated in an artificially revegetated desert area at the southeastern edge of the Tengger Desert, China. Sample plots were selected in four areas that had undergone different periods of sand-fixing (the sand dunes were stabilized in 1956, 1964, 1981 and 1991, respectively). Mobile sand dunes were used as the control. Soil samples from different soil layers (0—10, 10—20 and 20—30 cm, respectively) under algal and moss crusts were collected in different months (4, 7, 9 and 12, respectively) to analyze the temporal and spatial variation of soil nematodes in the artificially revegetated desert areas at the southeastern edge of the Tengger Desert. Natural vegetation areas at Hongwei in the Shapotou area were used as the control. Soil nematodes were separated using the improved Baermann funnel method and were identified and counted by an optical microscope. Our results showed that algal and moss crusts could significantly enhance nematode abundances, generic richness, Shannon-Weaver index, enrichment index and structure index in the sand dunes, artificially stabilized in 1956, 1964, 1981 and 1991, respectively ($P < 0.05$). This can be attributed to the presence of BSCs providing an essential food source and the creation of suitable habitats for soil nematodes. The time of sand dune fixation was positively correlated with soil nematode abundances, generic richness, Shannon-Weaver index, enrichment index and structure index under crusts ($P < 0.05$). This result suggested that long periods of sand dune fixation were more beneficial to the survival and reproduction of soil nematodes than short periods of sand dune fixation. Crust type significantly affected soil nematode communities, with moss crusts having higher nematode abundances and generic richness than those of algal crusts. This result suggested that the late-successional moss crusts were more beneficial to the survival and reproduction of soil nematodes than the early-successional algal crusts. In addition, algal and moss crusts significantly increased soil nematode abundances and generic richness in the 0—10, 10—20 and 20—30 cm soil layers. However, the effect gradually decreased with increasing soil depth, which demonstrated that BSCs were more beneficial to the survival of soil nematodes in topsoil than in subsoil. There were also seasonal changes of nematode abundances under algal and moss crusts, in the following order: autumn > summer > spring > winter. Seasonal changes could reflect changes in the biomass, cover and species composition of BSCs with season changes. Therefore, the presence and succession of BSCs were beneficial to the survival and reproduction of soil nematodes, which increased their amount, species and diversity. The results indicate that BSCs could improve the recovery of soil and corresponding ecological systems in the artificially revegetated desert areas at the southeastern edge of the Tengger Desert.

Key Words: biological soil crust; soil nematode; crust type; soil depth; seasonal change

生物土壤结皮(Biological Soil Crusts, BSCs)是由隐花植物如蓝藻、地衣、苔藓和土壤微生物,以及相关的其它生物体通过菌丝体、假根和分泌物等与土壤表层颗粒胶结形成的十分复杂的复合体,是干旱半干旱荒漠地表景观的重要组成部分之一^[1-2]。在全世界范围内,干旱的荒漠地区约占整个陆地面积的40%^[3]。在这些地区由于各种自然因素的限制,高等植物分布稀疏且单调,呈现斑块状分布格局,而这些植物群落斑块状的分布为生物土壤结皮的拓殖和覆盖提供了空间和适宜的生态位,使生物土壤结皮广泛分布于干旱的荒漠地区。已有的研究表明,生物土壤结皮不仅能够有效地固定沙面,减少风蚀和地面风沙活动,而且还可促进土壤发育和植被恢复,促进沙地的物质循环和能量流动,对固定流沙及土壤改良等均具有重要意义^[4]。

线虫是土壤中最丰富的后生动物,广泛存在于各种生境,在土壤生态系统腐屑食物网中占有重要地位^[5]。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,由于线虫具有生存和适应能力强,营养类群多样,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。目前已被广泛用作揭示土壤污染状况和评价土壤环境质量的模式生物^[6-7]。Belnap 等报道了生物土壤结皮为土壤线虫的生存提供食物来源和适宜的居住场所^[2]。Darby 等研究表明:生物土壤结皮的发育阶段影响土壤线虫的群落,即相对于早期阶段的结皮,发育晚期的结皮下土壤线虫群落更成熟、更复杂^[8]。近年来,关于生物土壤结皮与土壤生物之间的研究已引起了人们广泛的关注,但在结皮广泛分布的荒漠生态系统中关于生

物土壤结皮与线虫之间的研究仅见少量报道。因此,在腾格里沙漠东南缘的植被固沙区研究生物土壤结皮对土壤线虫的影响来指示生物土壤结皮对土壤质量的影响,从而揭示生物土壤结皮在生态系统重建中的作用,为退化生态系统的恢复和管理提供一些参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

中国科学院沙坡头沙漠研究试验站地处宁夏中卫市境内,位于腾格里沙漠东南缘(37°32'N,105°02'E),是荒漠化草原向草原化荒漠的过渡地带,也是沙漠与绿洲的过渡区。该区海拔高度约为 1339 m,格状新月形沙丘由西北向东南倾斜,呈阶梯状分布。受蒙古高压的影响,寒冷、干燥、多西北风,年平均风速 2.9 m/s,夏秋降雨集中,兼有大陆性气候和季风降雨的特点;该区平均气温为 10.6 °C,全年日照时数为 3264 h,年均降水量仅为 186 mm,年潜在蒸发量高达 3000 mm。地下水埋深达 80 m,不能为植物直接利用,降雨成为该区植物生长主要的水分来源。

为了确保包兰铁路沙坡头沙漠地段的畅通无阻,我国沙漠科学工作者于 1956 年相继建立了“以固为主,固阻结合”的植被固沙防护体系;首先在流动沙丘上垂直于主风的方向扎设阻沙栅栏,然后在阻沙栅栏扎设 1 m² 的麦草方格作为固沙屏障,在无灌溉条件下栽植柠条(*Caragana korshinskii*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、沙拐枣(*Calligonum arborescens*)和沙木蓼(*Atraphaxis bracteata*)等为主的旱生灌木,其株距与行距分别为 1 m×2 m 与 2 m×3 m。逐年实施,50 多年来在铁路北侧和南侧建立了宽度分别为 500 m 与 200 m 的人工植被固沙带,该带全长约 16 km。本研究所选样地位于铁路北侧 1956、1964、1981 和 1991 年的人工植被固沙区,该区样地 and 对照区土壤理化性状的详细描述见表 1^[9]。

表 1 人工植被固沙区、天然植被区和流沙区表层土壤理化性状详细描述

Table 1 The description of physic-chemical properties of topsoil (depth 0—20 cm) in artificially stabilized sand dune areas, natural vegetation areas and mobile sand dune areas

固沙年份 Years after revegetation	粒径分布 Soil particle size distribution/%			土壤容重 Bulk Density /(g/cm ³)	土壤有机质 Soil organic matter/(g/kg)	全 N Total Nitrogen /(g/kg)	pH	结皮层及亚 土层厚度 Soil crust and subsoil thickness/cm
	沙粒 Sand (1— 0.05 mm)	粉粒 Silt (0.05— 0.002 mm)	粘粒 Clay (<0.002 mm)					
1956	66.40	22.60	11	1.44	3.99	0.25	7.99	5.01
1964	66.28	24.79	6.93	1.47	2.43	0.21	7.95	4.41
1981	71.54	23.59	4.87	1.50	1.66	0.17	7.90	3.92
1991	88.92	9.59	1.50	1.52	1.46	0.14	7.87	2.08
0a(流动沙丘)	99.67	0.12	0.21	1.53	0.24	0.01	7.99	0
天然植被区	13.54	72	14.45	1.13	20.54	2.07	8.28	4.87

1.2 试验方法

在 2010 年 7 月上旬,以 1956、1964、1981 和 1991 年建立的人工植被固沙区生物土壤结皮覆盖的沙丘土壤为研究对象,采集藻结皮和藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 的土壤样品,共采集结皮下土样 72 个和 9 个流沙对照,分别统计土样中线虫的种类与数量;在 2011 年 4、7、9、12 月分别采集人工植被固沙区藻结皮和藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 的土壤样品,以沙坡头地区的红卫天然植被区为参照,4 次共采集土样 114 个,分析结皮下土壤线虫群落的变化。具体采样方法:每一植被区选择 3 个具有代表性的地段,面积为 10 m×10 m,在每块样地内随机选取 5 个点,去除地表的凋落物层,然后用直径为 4 cm 土钻进行采样,同种结皮下相同土层的土壤组成一个混合土样,去掉土壤中可见植物根系和残体。将混合的土样用封口袋装好,带回实验室处理,每个处理 3 个重复。

将采集的每个土壤样品分别称取 100 g,采用改良的 Baermann 漏斗法进行分离^[10];每个样品在光学显微

镜下进行线虫鉴定和统计,分类检索参见《中国土壤动物检索图鉴》^[11]及《植物线虫志》^[12]。依据土壤湿度,将土壤线虫数量折算成每 100 g 干土含有土壤线虫的条数。根据土壤线虫的头部形态学特征和取食生境,将土壤线虫分成 4 个营养类群:即食细菌线虫(Bacteriovores)、食真菌线虫(Fungivores)、植物寄生线虫(Plant-parasites)及捕食-杂食性线虫(Omnivore-predators)^[13-14]。

1.3 分析方法

线虫生态指数按以下公式进行计算:

(1) 土壤线虫属的丰富度,指土壤线虫的属数。

(2) 多样性指数 Shannon-Weaver Index (H') $[H' = - \sum p_i (\ln p_i)]$

式中, p_i 为第 i 个分类单元中个体所占的比例^[15];

(3) 富集指数 $EI = 100 \times [e/(e + b)]$

式中, $b = \sum k_b \times n_b$, b 为食物网中的基础成分,主要指 Ba_2 和 Fu_2 这两个类群; $e = \sum k_e \times n_e$, e 为食物网中的富集成分,主要指 Ba_1 和 Fu_2 这两个类群; k_b 和 k_e 为各类群所对应的加权数; n_b 和 n_e 则为各类群的丰度^[16]。

(4) 结构指数 $SI = 100 \times [a/(a + b)]$

式中, $a = \sum k_a \times n_a$, a 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 和 H_2 - H_5 类群(其中 Ba , Fu , O 和 H 各自代表食细菌、食真菌、杂食性和捕食性线虫); k_a 为各类群所对应的加权数; n_a 为各类群的丰度。 $b = \sum k_b \times n_b$, b 为食物网中的基础成分,主要指 Ba_2 和 Fu_2 这两个类群^[16]。

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS 16.0 软件进行 Duncan 多重比较,显著性水平为 0.05。方差分析用于分析生物土壤结皮、结皮类型和季节变化对土壤线虫群落的影响, Spearman 相关性分析用于分析土壤线虫群落和固沙年限的相关关系。

2 结果与分析

2.1 生物土壤结皮对土壤线虫群落的影响

本研究对腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区藻结皮和藓类结皮下土壤线虫进行调查,共鉴定出 28 属,隶属 2 纲 7 目 19 科,包括食细菌线虫 9 属,其次为食真菌线虫共 7 属,再次为捕食-杂食性线虫和植物寄生线虫均为 6 属。藻结皮下土壤线虫共鉴定出 20 属,隶属 2 纲 6 目 14 科,包括食细菌线虫 7 属,其所占比例最大,占总数的 53.46%;其次为食真菌线虫共 4 属,占总数 27.08%,再次为捕食-杂食性线虫共 6 属,占总数 18.44%;植物寄生线虫仅 3 属,其所占比例最小,占总数 0.09%。藓类结皮下土壤线虫鉴定出 24 属,隶属 2 纲 7 目 15 科,包括食细菌线虫 9 属,所占比例最大,占总数的 61.56%;其次为食真菌线虫共 6 属,占总数 17.92%,再次为捕食-杂食性线虫共 5 属,占总数 20.08%;植物寄生线虫仅 4 属,其所占比例最小,占总数 0.43%。藻结皮和藓类结皮下土壤线虫的优势类群为丽突属(*Acrobeles*),拟丽突属(*Acrobeloides*),鹿角唇属(*Cervidellus*),滑刃属(*Aphelenchoides*)和穿咽属(*Nygolaimus*)。

由图 1 可以看出,藻结皮和藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫多度的变化规律为,1956 和 1964 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫多度最大,1981 和 1991 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫多度次之,它们均与流沙对照差异显著($P < 0.05$)。因此,藻结皮和藓类结皮均对土壤线虫多度有显著影响,即结皮覆盖的土壤线虫多度显著高于流沙对照($P < 0.05$)。固沙年限与结皮下土壤线虫多度存在显著的正相关关系,其相关系数为 $r = 0.963$ ($P < 0.05$);而且,藻结皮和藓类结皮均可显著影响 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫多度,但随着土层的增加,土壤线虫的多度逐渐降低。

由图 2 可以看出,藻结皮和藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫属的丰富度的变化规律为:1956 和 1964 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫属的丰富度最大,1981 和 1991 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫属的丰富度次之,它们均与流沙对照差异显著($P < 0.05$)。因此,藻结皮和藓类结皮均对土壤线虫

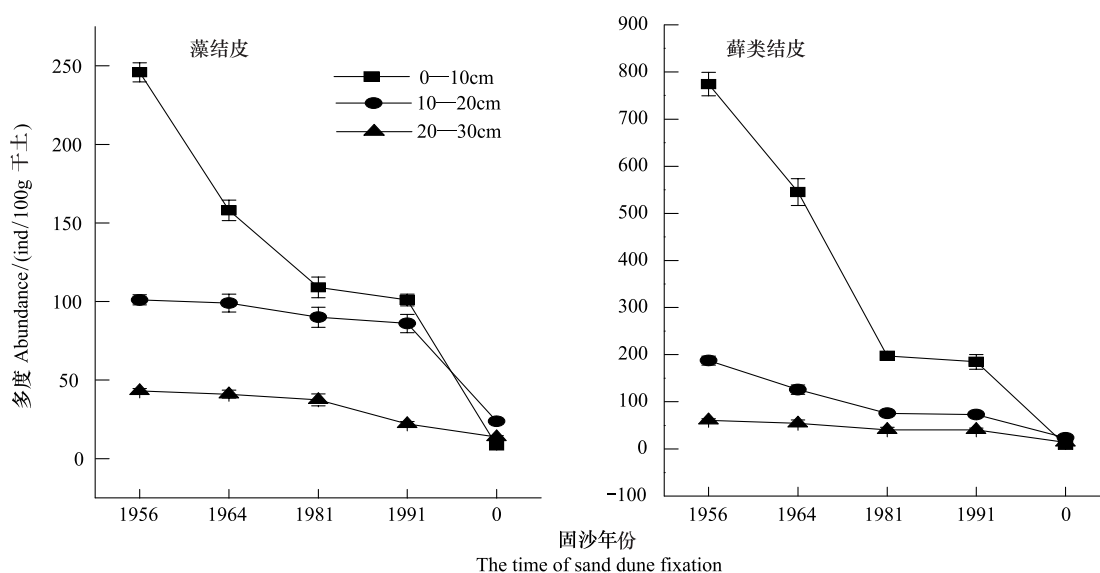


图1 两种结皮对土壤线虫多度(平均值±标准误)的影响

Fig. 1 Impact of two crusts on soil nematode abundances (mean±S. E.)

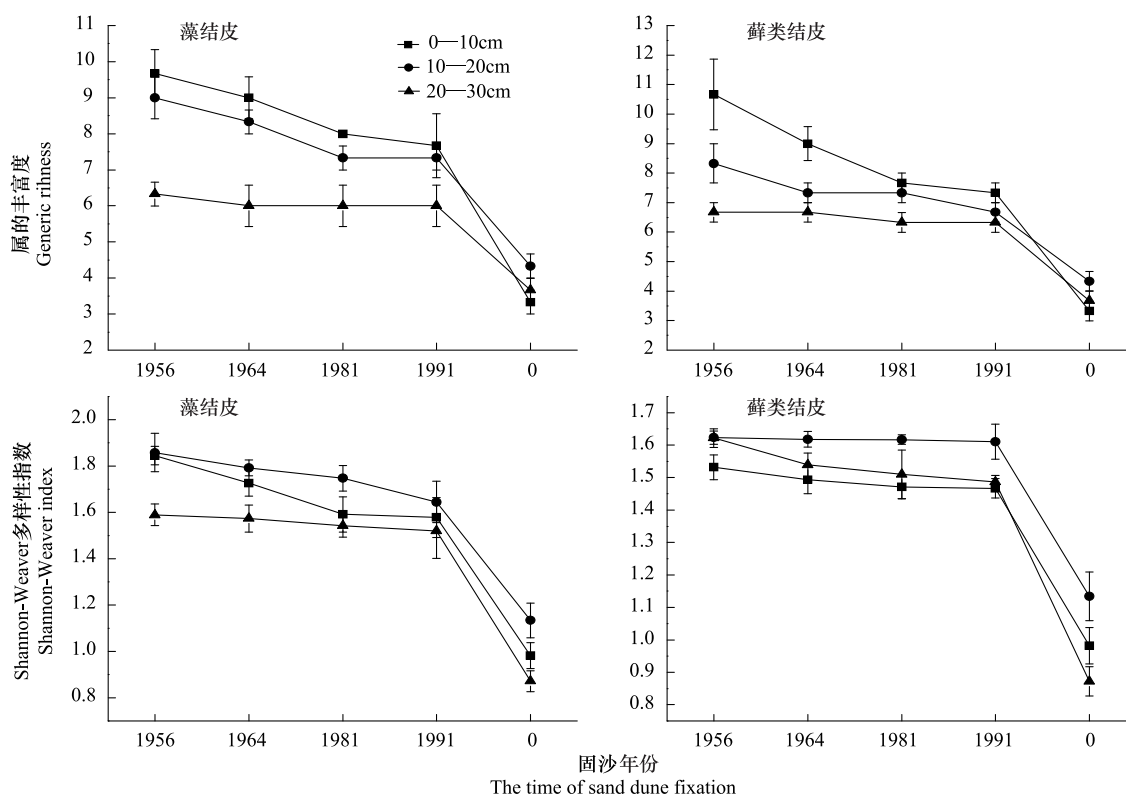


图2 两种结皮对土壤线虫属的丰富度和 Shannon-Weaver 多样性指数(平均值±标准误)的影响

Fig. 2 Impact of two crusts on generic richness and Shannon-Weaver index (H') of soil nematodes (mean±S. E.)

属的丰富度有显著影响,即结皮覆盖的土壤线虫属的丰富度显著高于流沙对照($P<0.05$)。固沙年限与结皮下土壤线虫属的丰富度存在显著的正相关关系,其相关系数为 $r=0.936$ ($P<0.05$);而且,藻结皮和藓类结皮均可显著影响 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫属的丰富度,但随着土层的增加,土壤线虫属的丰富度逐渐降低。

由图 2 可以看出,藻结皮和藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫 Shannon-Weaver 多样性指数的变化规律为:1956 和 1964 年人工固沙区的两种结皮下土壤 Shannon-Weaver 多样性指数最大,1981 和 1991 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫 Shannon-Weaver 多样性指数次之,它们均与流沙对照差异显著 ($P<0.05$)。因此,藻结皮和藓类结皮均对土壤线虫 Shannon-Weaver 多样性有显著影响,即结皮覆盖的土壤线虫 Shannon-Weaver 多样性显著高于流沙对照 ($P<0.05$)。固沙年限与结皮下土壤线虫 Shannon-Weaver 多样性存在显著的正相关关系,其相关系数为 $r=0.864$ ($P<0.05$)。

由表 2 可以看出,藻结皮和藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层线虫富集指数和结构指数的变化规律为:1956 和 1964 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫富集指数和结构指数最大,1981 和 1991 年人工固沙区的两种结皮下土壤线虫富集指数和结构指数次之,它们均大于流沙对照。无论是藻结皮还是藓类结皮均对土壤线虫富集指数和结构指数有明显影响,即结皮覆盖可提高土壤线虫富集指数和结构指数,它们均大于流沙对照,这说明人工植被固沙区生物土壤结皮的存在可提高土壤的健康状态。由图 3 可以看出,人工植被固沙区藻结皮和藓类结皮下土壤线虫的富集指数和结构指数虽高于流沙对照,但它们的值均小于 50,位于 IV 区,表明目前该人工植被固沙区的土壤线虫受干扰程度高,土壤处于营养相对低的状况,土壤的恢复还需要更长的时间。固沙年限与结皮下土壤线虫的富集指数和结构指数存在显著的正相关关系,其相关系数分别是 $r=0.964$ 和 $r=0.929$ ($P<0.05$)。

表 2 两种结皮对土壤线虫结构指数 (SI) 与富集指数 (EI) 的影响

Table 2 Impact of two crusts on structure index (SI) and enrichment index (EI) of soil nematodes (mean±S. E.)

		藻结皮 Algal crusts				
		1956	1964	1981	1991	0a *
富集指数	0—10cm	33.5±1.864 a	31.71±2.481ab	29.54±3.201ab	23.75±2.45b	16.39±2.17bc
Enrichment Index	10—20cm	31.32±4.106a	27.25±0.633a	27.14±1.806a	22.97±4.81ab	16.41±0.743b
	20—30cm	27.27±1.469a	27.22±0.662a	26.81±1.532a	22.61±2.686ab	15.41±1.12b
结构指数	0—10cm	25.62±3.726a	21.18±1.047a	18.2±3.399a	17.21±0.736a	3.03±1.03a
Structure Index	10—20cm	27.33±4.335a	22.45±1.777a	19.26±0.552a	19.15±3.312a	6.96±1.211a
	20—30cm	18.56±0.597a	16.85±3.192a	15.87±2.082ab	14.58±2.887ab	6.984±1.127a
		藓类结皮 Moss crusts				
		1956	1964	1981	1991	0a *
富集指数	0—10cm	22.68±0.99a	22.02±3.052a	21.02±3.402a	16.84±1.235a	16.39±2.17a
Enrichment Index	10—20cm	21.3±0.192a	18.5±1.708a	18.05±1.882a	17.01±1.794a	16.41±0.743a
	20—30cm	17.97±1.358a	17.81±1.223a	16.77±2.924a	16.08±3.323a	15.41±1.12a
结构指数	0—10cm	22.26±2.921a	21.08±3.362a	20.13±0.827a	17.05±2.99a	3.03±1.03b
Structure Index	10—20cm	27.08±4.672a	21.47±2.548a	20.41±3.12a	17.58±3.05ab	6.96±1.211b
	20—30cm	19.59±2.352a	19.45±3.365a	19.46±1.645a	17.07±3.133ab	6.984±1.127b

不同字母表示均值在 $P<0.05$ 水平上差异显著; * 流动沙丘

2.2 生物土壤结皮下土壤线虫群落季节动态的影响

由图 4 可以看出,天然植被区和人工植被固沙区藻结皮下 0—10 cm 土层线虫多度的季节变化规律为:秋季土壤线虫多度最高,分别为 238.67 个/100g 和 277.67 个/100g,与冬季差异显著 ($P<0.05$);夏季土壤线虫多度次之,分别为 179.67 个/100g 和 246.00 个/100g,春季土壤线虫多度再次之,但它们之间差异不显著 ($P>0.05$);冬季土壤线虫多度最低。同样,藻结皮下 10—20 和 20—30 cm 土层线虫多度的季节变化规律也基本类似,秋季土壤线虫多度最高,夏季次之,春季和冬季最低。因此,天然植被区和人工植被固沙区藻结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层,土壤线虫多度存在明显的季节变化,基本表现为秋季>夏季>春季>冬季,冬季土壤线虫多度低于其它季节。

由图 4 可见,天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮下 0—10 cm 土层线虫多度的季节变化规律为:秋季

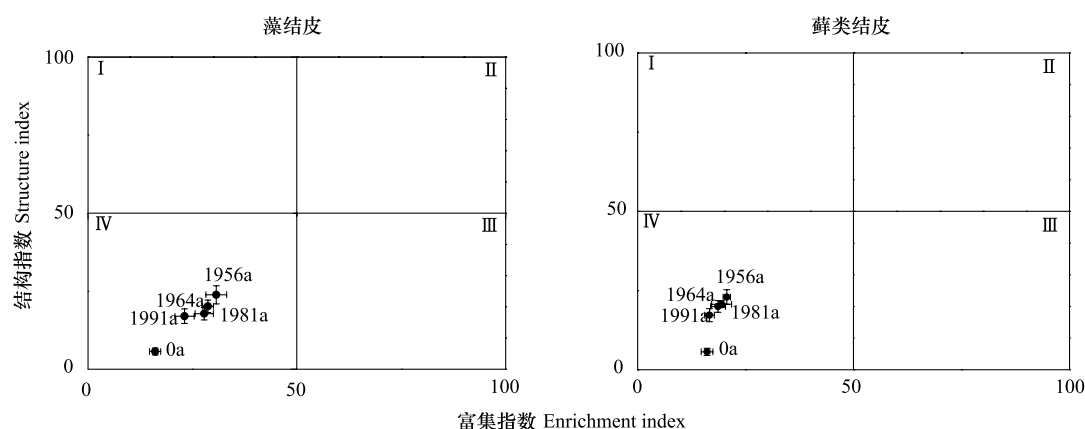


图3 人工植被固沙区两种结皮下土壤线虫的结构指数与富集指数

Fig. 3 The structure index (SI) and enrichment index (EI) of soil nematodes under two crusts in the artificially revegetated desert areas

土壤线虫多度最高,分别为 341.67 个/100g 和 1040.33 个/100g,与春季和冬季差异显著 ($P < 0.05$);夏季土壤线虫多度次之,分别为 298.67 个/100g 和 774.33 个/100g,与冬季差异显著 ($P < 0.05$);春季土壤线虫多度再次之,冬季土壤线虫多度最低。同样,藓类结皮下 10—20 和 20—30 cm 土层线虫多度变化规律也基本类似,秋季土壤线虫多度最高,与春季和冬季差异显著 ($P < 0.05$);夏季次之,春季再次之,冬季最低,但它们之间差异变小。因此,天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮下 0—10、10—20 和 20—30 cm 土层,土壤线虫多度均存在季节变化,表现为秋季>夏季>春季>冬季,冬季的土壤线虫多度低于其它季节。

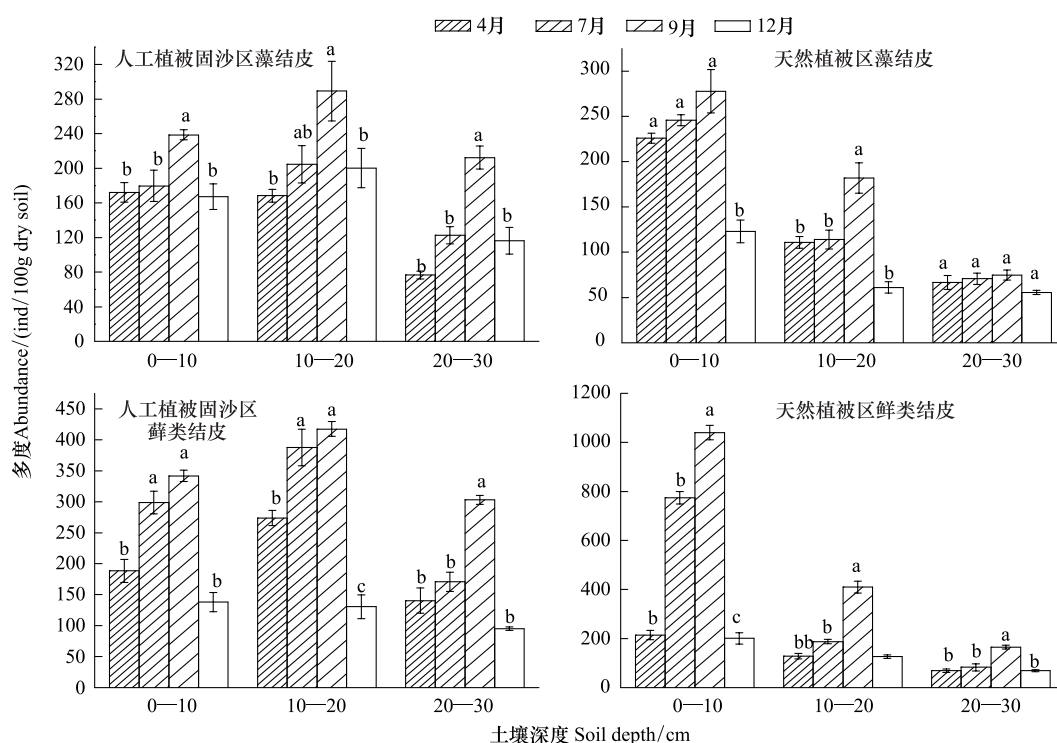


图4 两种结皮下土壤线虫多度(平均值±标准误)的季节变化

Fig. 4 Seasonal changes of soil nematode abundances (mean ± S.E.) under two crusts

不同字母表示均值在 $P < 0.05$ 水平上差异显著

可见,天然植被区和人工植被固沙区藓类结皮和藻结皮下土壤线虫多度均存在明显的季节变化,基本表现为秋季>夏季>春季>冬季。而且,土壤线虫多度的季节变化也受土壤深度的影响,表层土壤线虫多度季节

变化明显,随着土层的加深这种季节变化趋势明显变弱。

3 讨论

大量的研究表明,土壤线虫可以指示重金属^[14]、有机污染物^[17]、农业措施及环境因子^[18-19]等对土壤质量和土壤肥力及相应生态系统的影响。本研究表明,藻结皮和藓类结皮均对土壤线虫多度和属的丰富度有显著影响($P<0.05$),指示沙区生物土壤结皮的存在可提高土壤质量,从而促进沙区生态系统的恢复。其主要的原因是生物土壤结皮的存在为线虫提供了重要的食物来源和适宜的生存环境。相对于藻结皮而言,藓类结皮下土壤线虫多度与属的丰富度更高,说明藓类结皮更有利于土壤线虫的生存,这个结论与 Darby 等的报道相一致^[8]。主要的原因可能是,相对于演替早期的藻结皮,演替晚期的藓类结皮由于生长慢、结皮层较厚,能为土壤线虫提供更多、更丰富的食物来源、更适宜的土壤温度、更高的土壤湿度和有机质含量和更稳定的食物网结构。

相关分析结果显示,固沙年限与结皮下土壤线虫多度、属的丰富度、Shannon-Weaver 多样性指数、富集指数和结构指数存在显著的正相关关系,也就是说,固沙年限越长,其上结皮形成的越早,结皮层越厚,其下土壤线虫数量越多、多样性程度越高、食物网越复杂,这表明,随着人工植被栽植年代的增加,线虫数量和多样性增加,食物网趋于复杂化发展,土壤趋于健康化发展。

研究表明,藻结皮和藓类结皮可显著增加土壤线虫多度、属的丰富度和多样性指数,但随着土层的加深,其影响逐渐减弱;这表明:随着土层的增加,线虫的数量、种类和多样性减少,食物网趋于简单化发展。其主要原因是,表层土壤线虫可从生物土壤结皮获得充足营养的同时,结皮的存在还改善了表层土壤的理化性质,这包括有机质含量的增加^[2]、土壤养分含量和有效性^[20]、土壤持水量的增加^[21]、土壤稳定性的增加^[22]、土壤 pH 值的改变^[20]等等,这些都为线虫的生存提供了适宜的条件。

土壤线虫对季节变化的响应主要是由植被下形成的微环境中的温度、湿度、食物供应、种群内竞争以及捕食等综合作用所决定的^[23]。水热不均是抑制线虫多度的重要因素。本研究表明:该植被固沙区藓类结皮和藻结皮下土壤线虫多度存在明显的季节变化,基本表现为秋季>夏季>春季>冬季,可能与该地区秋季温度和土壤含水量的特征相关联。外界环境因素影响结皮下土壤线虫是通过影响结皮性质而实现的。该地区,秋季降雨量丰富,温度适中,一方面促进了结皮的生长,其生物量、盖度、种类组成等相应的增加,为线虫的繁衍提供了充足的食物来源。另一方面,旺盛生长的结皮能很好的调控土壤温湿度等环境因子,改善土壤环境,为线虫的繁衍创造适宜的生存条件。夏季降雨量比较丰富,但温度偏高,结皮生长减缓,其生物量、盖度、种类组成等相对较低,结皮对土壤温湿度等环境因子的调节能力也有所降低,导致结皮下线虫多度减少。春季和冬季干旱少雨,温度低,对结皮的生长形成了双重抑制,导致结皮生物量、盖度、种类组成等急剧下降,降低了结皮对土壤环境因子的调节能力,最终导致线虫多度在春冬季的陡降。

4 结论

本研究对腾格里沙漠东南缘的人工植被固沙区藻结皮和藓类结皮下的土壤线虫进行调查,共鉴定出 28 属,隶属 2 纲 7 目 19 科。该区生物土壤结皮明显改善了土壤线虫群落,即增加了线虫多度和属的丰富度。而且,生物土壤结皮的存在也增加了土壤线虫 Shannon-Weaver 多样性指数(H')、富集指数(EI)和结构指数(SI)。相对于藻结皮而言,藓类结皮下土壤线虫多度与属的丰富度更高,这说明演替后期的藓类结皮比演替早期的藻结皮更有利于土壤线虫的生存。两种结皮下土壤线虫多度和属的丰富度均随着土层的增加而降低,其间接地说明了生物土壤结皮存在有益于浅层土壤线虫多样性的维持。此外,藻结皮和藓类结皮下土壤线虫多度也存在明显的季节变化,表现为秋季>夏季>春季>冬季,这种季节变化反映了生物土壤结皮的生物量、盖度和种类组成随季节变化而变化。因此,生物土壤结皮明显影响线虫群落,其主要的原因是生物土壤结皮的存在为土壤线虫创造了适宜的居住场所和重要的食物来源。

References:

- [1] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Advances in ecological Research*,

1990, 20: 179-223.

- [2] Belnap J, Lange O L. Biological Soil Crust: Structure, Function and Management. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [3] Bowker M A, Belnap J, Davidson D W, Phillips S L. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: importance to arid-lands restoration. *Ecological Applications*, 2005, 15(6): 1941-1951.
- [4] Zhao H L, Guo Y R, Zhou R L, Zhao X Y. Effects of vegetation cover on physical and chemical properties of bio-crust and under-layer soil in Horqin Sand Land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(7): 1657-1663.
- [5] 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.
- [6] 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(3): 315-331.
- [7] 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.
- [8] Darby B J, Neher D A, Belnap J. Soil nematode communities are ecologically more mature beneath late- than early-successional stage biological soil crusts. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(1): 203-212.
- [9] Li X R, He M Z, Duan Z H, Xiao H L, Jia X H. Recovery of topsoil physicochemical properties in revegetated sites in the sand-burial ecosystems of the Tengger Desert, northern China. *Geomorphology*, 2007, 88(3/4): 254-265.
- [10] Carins E J. Methods in nematology // Sasser J N, Jenkins W R, eds. *Nematology, Fundamentals and Recent Advances with Emphasis on Plant Parasitic and Soil Forms*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1960: 33-84.
- [11] Yi W Y. Identification Manual for Soil Animal in China. Beijing: Science Press, 1998.
- [12] Liu W Z. Plant Nematode Sinica. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
- [13] Yeates G W, King K L. Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tablelands (NSW): Comparison of native and improved grasslands. *Pedobiologia*, 1997, 41: 526-536.
- [14] Shukurov N, Pen-Mouratov S, Steinberger Y. The influence of soil pollution on soil microbial biomass and nematode community structure in Navoiy Industrial Park, Uzbekistan. *Environment International*, 2006, 32(1): 1-11.
- [15] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 144-144.
- [16] 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.
- [17] Wang K H, McSorley R, Kokalis-Burelle N. Effects of cover cropping, solarization, and soil fumigation on nematode communities. *Plant and Soil*, 2006, 286(1/2): 229-243.
- [18] Bakonyi G, Nagy P, Kovács-Láng E, Kovács E, Barabás S, Répási V, Seres A. Soil nematode community structure as affected by temperature and moisture in a temperate semiarid shrubland. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37(1/2): 31-40.
- [19] Liang W J, Lou Y L, Li Q, Zhong S, Zhang X K, Wang J K. Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 883-890.
- [20] Li X R, Zhang Y M, Zhao Y G. A study of biological soil crusts: recent development, trend and prospect. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(1): 11-24.
- [21] Jia R L, Li X R, Liu L C, Gao Y H, Zhang X T. Responses of biological soil crusts to sand burial in a revegetated area of the Tengger Desert, northern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(11): 2827-2834.
- [22] Patrick E. Researching crusting soils: themes, trends, recent developments and implications for managing soil and water resources in dry areas. *Progress in Physical Geography*, 2002, 26(3): 442-461.
- [23] Freckman D W, Baldwin J G. Nematode // Dindal D L, ed. *Soil Biology Guide*. New York: John Wiley and Sons Inc, 1990: 155-200.

参考文献:

- [4] 赵哈林, 郭铁瑞, 周瑞莲, 赵学勇. 植被覆盖对科尔沁沙地土壤生物结皮及其下层土壤理化特性的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(7): 1657-1663.
- [5] 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.
- [7] 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] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 刘维志. 植物线虫志. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [20] 李新荣, 张元明, 赵允格. 生物土壤结皮研究: 进展、前沿与展望. *地球科学进展*, 2009, 24(1): 11-24.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《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 欧阳志云

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 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 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