

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

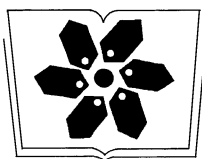
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



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 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林林地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征

——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例

王晓霞^{1,2}, 张 涛², 孙 建², 张雪兵^{2,3}, 李忠勤⁴, 娄 恺^{2,*}

(1. 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆农业科学院微生物应用研究所, 乌鲁木齐 830091;

3. 新疆农业大学食品科学学院, 乌鲁木齐 830052; 4. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 为了解冰川前缘土壤微生物在原生演替过程中的生态特征及其影响因素, 用空间距离代替时间序列, 以乌鲁木齐河源 1 号冰川终碛堤为起点, 沿 6 个不同演替时期(0, 4, 15, 31, 43a 和对照)的样带采集土样, 以冰川附近发育良好的土壤为对照, 测定土壤酶活性、微生物氮矿化与脱氮作用以及微生物生物量。结果表明, 土壤脲酶、蛋白酶、酸性磷酸酶、芳基硫酸酯酶、蔗糖酶活性、微生物氮矿化及脱氮作用随演替时间而增加, 微生物生物量碳和氮变化呈波动状, 趋势不明显。相关分析表明, 土壤有机质与酶活、微生物生物量存在极显著正相关($P < 0.01$)。1 号冰川前缘微生物多样性指数随着演替时间持续增加, 但目前仍未达稳定状态。

关键词: 冰川前缘; 原生演替; 1 号冰川; 生态特征

Ecological characterization of soil microflora in primary succession across glacier forefield: a case study of Glacier No. 1 at the Headwaters of Urumqi River

WANG Xiaoxia^{1,2}, ZHANG Tao², SUN Jian², ZHANG Xuebing^{2,3}, LI Zhongqin⁴, LOU Kai^{2,*}

1 College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Institute of Microbiology, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830091, China

3 College of Food Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China

4 State Key Laboratory of Cryospheric Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: In order to understand ecological characterization and effect factors of soil microflora in primary succession across glacier forefield, using the space-for-time substitution approach, soil samples along six different succession ages (0, 4, 15, 31, 43-year-old and reference) were collected, beginning at the terminal moraine levee of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, a site with well-developed soils immediately outside the glacier forefield served as reference, soil enzyme activities, microbial nitrogen mineralization, deamination and microbial biomass were measured. The results suggested that soil urease, protease, acid phosphatase, arylsulphatase, sucrosease activity, microbial nitrogen mineralization and deamination increased along time gradients, microbial biomass carbon and nitrogen were variable, with no clear pattern over the chronosequence. Correlation analysis showed soil enzyme activities and microbial biomass had a significant positive correlation with soil organic matter($P < 0.01$). Soil microflora diversity index of Glacier NO. 1 foreland increased along succession ages, but do not reach stability at present.

Key Words: glacier forefield; primary succession; Glacier No. 1; ecological characterization

自“小冰期”后^[1], 全球气温持续性变暖。冰川作为气候变化最敏感的区域之一, 在全球范围内发生了

基金项目: 国家 973 计划前期研究专项(2008CB417214); 新疆特殊环境微生物实验室开放课题(XJYS0203-2008-04)

收稿日期: 2009-11-24; **修订日期:** 2010-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: loukai02@mail.tsinghua.edu.cn

大面积退缩,形成了称为冰川前缘的原生裸地,它们代表了土壤物理、化学和生物梯度的时间序列^[2]。原生演替指开始于原生裸地或原生荒原(完全没有植被并且也没有任何植物繁殖体存在的裸露地段)的群落演替^[3]。因此可用冰川末端退缩距离代表演替时间,沿着空间梯度研究生物群落演替的过程^[4],冰川前缘是研究原生演替的天然实验室。

通常,冰川前缘生物原生演替的一般模式为微生物→藻类→地衣→苔藓→高山草甸→亚高山草甸^[5]。虽然微生物在原生演替过程中发挥了重要的生态学功能,如,作为先锋生物推动原始土壤的发育和形成,参与生物地球化学循环,为后续生物的定居和生长提供物质基础,但是有关冰川前缘微生物原生演替的生态特征知之甚少^[6]。

现有研究主要集中在利用非培养方法揭示冰川前缘微生物物种多样性。Graeme 等人^[7]采用变性梯度凝胶电泳(denaturing gradient gel electrophoresis, DGGE),发现奥地利 Rotmoosferner 冰川前缘土壤古菌在大约 150a 的演替过程中,早期优势种群为非嗜热泉古菌(Crenarchaeota),中期为常温泉古菌;Deiglmayr 等人^[8]提取阿尔卑斯中部冰川前缘早熟禾的根际土壤总 DNA,对其中的硝酸盐还原酶基因进行限制性片段长度多态性(restriction fragment length polymorphism, RFLP)分析,发现硝酸盐还原细菌的多样性在演替中、后期逐渐降低。虽然利用分子生物学手段评价微生物群落结构很有效,但却难以反映其活性及功能。

土壤酶主要来源于微生物、土壤动物、植物根系以及植物残体^[9]。但是土壤中的酶很大一部分是由土壤中的微生物分泌的,所以土壤酶活性经常作为土壤微生物生长和活性的指标^[10]。有研究表明,土壤酶活性与土壤微生物参数之间有一定的相关性^[11]。土壤酶活能直接反映土壤微生物群落的代谢需求和营养供给^[12],微生物生物量的大小可以间接表征具有调控土壤质量及有机物质转化功能的种群数量^[13-14],采用这些指标,Tscherko 等人^[15]发现,在阿尔卑斯中部冰川前缘土壤微生物的原生演替过程中,其酶活性的 Shannon 多样性指数持续增长,于演替中期(50a)达到稳定状态。乌鲁木齐河源 1 号冰川地处亚洲中心,作为亚洲干旱及半干旱区冰川的代表,其冰川前缘微生物生态特征是否遵循相似变化规律,国内外未有报道。为此,本研究拟通过测定土壤酶活(脲酶,蛋白酶,磷酸酶,芳基硫酸酯酶,蔗糖酶)、微生物生物量(微生物生物量碳和氮)以及微生物氮矿化与脱氮作用,具体回答这一科学问题。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

乌鲁木齐河源 1 号冰川(86°49'E,43°06'N)位于天山东段,距乌鲁木齐市区约 120km,为世界冰川监测服务处(WGMS)选定的全球十条代表性冰川之一,是亚洲干旱及半干旱区冰川的代表,中国科学院天山冰川观测试验站长期对之观测。该地区年平均气温 5.2℃,负温月长达 7—8 个月,最冷月(1 月份)平均气温 -15.6℃,最热月(7 月份)为 4.9℃,年平均降水量 441.1mm^[16]。自 1959 年有观测记录以来,1 号冰川一直处于退缩状态,东、西两支冰舌在 1993 年完全分离,成为独立的两支冰川^[17]。周围分布着大量冰碛沉积物,不稳定矿物以普通角闪石为主,较稳定矿物以绿帘石为主;轻矿物主要为石英,碱性长石和斜长石等^[18]。

1.2 土壤样品的采集

2008 年 8 月,以 1 号冰川东支终碛堤为起点,建立了 5 个与其平行的样带,分别距离冰川 0、18、60、120、180m。采集距冰川外约 500m 处发育良好的土壤作为对照。0m 样带几乎是裸露的地面,无植被覆盖,18m 至 180m 样带均有植物分布,但植物种类稀少,主要植物为高山早熟禾(*Poa alpina*)和小甘菊(*Canerinia discoiden*),但只占地表面积的 1%—2%,对照为高山或亚高山草甸。在各样带上每隔 15—20m 处表面 0—10cm 非植物根际土样 3 份,装入无菌塑料袋。4℃ 运回实验室并保存。去除石块,风干、研磨、过筛后的土样用于土壤酶活、微生物作用和土壤化学性质的测定,微生物生物量的测定采用新鲜土样。

根据中国科学院天山冰川观测试验站多年观测的冰川退缩数据,定 0m 样带为 0a,距离冰川越远,演替时间越长,推断各样带的演替时间。0m 到 180m 样带对应的时间分别为:0,4,15,31,43a。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤部分化学性质分析

按照土壤分析方法标准(DB/6500 B11)测定 1 号冰川前缘土壤化学性质。pH 采用玻璃电极法;有机质测定用重铬酸钾氧化法;有效氮采用碱解法测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;有效钾测定采用醋酸铵-火焰光度法。总磷采用高氯酸-硫酸酸溶法测定,总盐采用烘干法。

1.3.2 土壤酶活的测定

脲酶活性用苯酚-次氯酸钠比色法测定^[19],蛋白酶的活性用改良的茆三酮比色法^[20],芳基硫酸酯酶的活性用 Tabatabai 的方法^[21]测定,酸性磷酸酶的测定是采用对硝基苯磷酸盐法^[22]。蔗糖酶的活性用 3,5-二硝基水杨酸法^[19]测定。

1.3.3 微生物氮矿化及脱氨作用的测定

脱氨作用通过测定精氨酸脱氨酶活性来确定^[23]。氮的矿化作用淹水培养法^[24]测定。

1.3.4 微生物量碳和氮的测定

微生物生物量碳用氯仿熏蒸浸提法测定^[25],氯仿熏蒸和未熏蒸土壤用 0.5mol/L K₂SO₄溶液浸提,浸提液中有机碳含量采用 TOC-V_{CPH}总有机碳自动分析仪(日本岛津)测定。微生物量氮参照 Brookes 等人^[26]的方法测定。

1.3.5 酶活性的多样性分析

酶活的多样性指数^[15]由 Shannon 多样性指数确定:

$$H = - \sum_{i=1}^k p_i \ln p_i$$

式中, p_i 为第 i 种酶活与对照酶活的比值; K 为试验中测定的酶的种类;Shannon's 均匀度 E_H , $E_H = H/\ln S$, S 为各样带检测的酶总数。

1.3.6 数据统计分析

用 Excel2003 和 SPSS16.0 软件进行方差分析和多重比较。土壤化学性质与酶活和生物量的关系用复相关分析;以有机质作为控制变量对酶活和生物量的影响进行偏相关分析。根据各演替时间的酶活性和微生物氮矿化及脱氨作用的变化,应用层次聚类的方法进行分析。

2 结果

2.1 土壤化学性质随演替时间的变化

对照土壤的有机质、有效磷、有效钾和有效氮含量均高于其余演替时间(表 1),pH 值低于演替阶段的土壤。随着演替进行,土壤有机质含量从 8.03 g/kg 增加到 75.59g/kg,在演替 31a 最小(4.75g/kg),总盐含量在 0.34mg/g 至 2.05mg/g 之间波动,总磷含量在演替 43a 时达到最大(1.08 mg/g)。

表 1 不同演替时间土壤的部分化学性质

Table 1 Some chemical properties in soils of varying ages along the chronosequence

演替时间 Succession age/a	有机质 OM /(g/kg)	总磷 P _t /(g/kg)	有效磷 P _{al} /(mg/kg)	有效钾 K _{al} /(mg/kg)	有效氮 N _{al} /(mg/kg)	总盐 Sat /(g/kg)	pH
0	8.03 ± 0.19c	0.67 ± 0.10b	4.30 ± 0.26d	56.92 ± 2.24b	23.32 ± 0.62c	2.05 ± 0.17a	7.57 ± 0.18a
4	8.33 ± 0.18c	0.92 ± 0.12a	4.80 ± 0.11d	78.24 ± 12.66b	25.60 ± 0.72b	0.34 ± 0.04f	7.68 ± 0.12a
15	8.47 ± 0.09c	0.73 ± 0.04b	3.90 ± 0.12d	56.90 ± 1.48b	14.05 ± 0.28d	1.62 ± 0.08c	7.58 ± 0.15a
31	4.75 ± 0.06d	0.73 ± 0.08b	13.04 ± 1.15b	39.03 ± 4.11c	23.34 ± 0.57c	1.83 ± 0.06b	7.73 ± 0.09a
43	13.48 ± 1.15b	1.08 ± 0.10a	10.21 ± 1.00c	31.90 ± 1.03c	23.30 ± 1.05c	1.31 ± 0.06d	7.88 ± 0.09a
对照 CK	75.59 ± 1.69a	0.99 ± 0.09a	16.63 ± 0.85a	324.01 ± 15.00a	77.02 ± 1.22a	1.06 ± 0.09e	7.30 ± 0.08b

OM: organic matter; P_t: total phosphorus; P_{al}: available phosphorous; K_{al}: available potassium; N_{al}: available nitrogen; S_{at}: total salt;

同列不同小写字母表示 0.05 水平下差异显著

2.2 土壤酶活随演替时间的变化

土壤酶(脲酶,蛋白酶,蔗糖酶,芳基硫酸酯酶和磷酸酶)活性随演替时间的变化规律不完全一致,对照土壤酶活高于其余各演替时间(图 1)。脲酶、蛋白酶和蔗糖酶(图 1a,b,d)在演替 0a 至 43a 间具有相同的趋势,即 0a 最小,4a 增加,15a 降低,再逐渐增加;芳基硫酸酯酶和磷酸酶活性(图 1e 和 f)随演替时间的变化相同,从 0a 增加至 15a,31a 降低,然后增加;与其它酶相比,0a 的脲酶和蔗糖酶活性最低,分别只占对照土壤的 0.34% 和 1.85%。

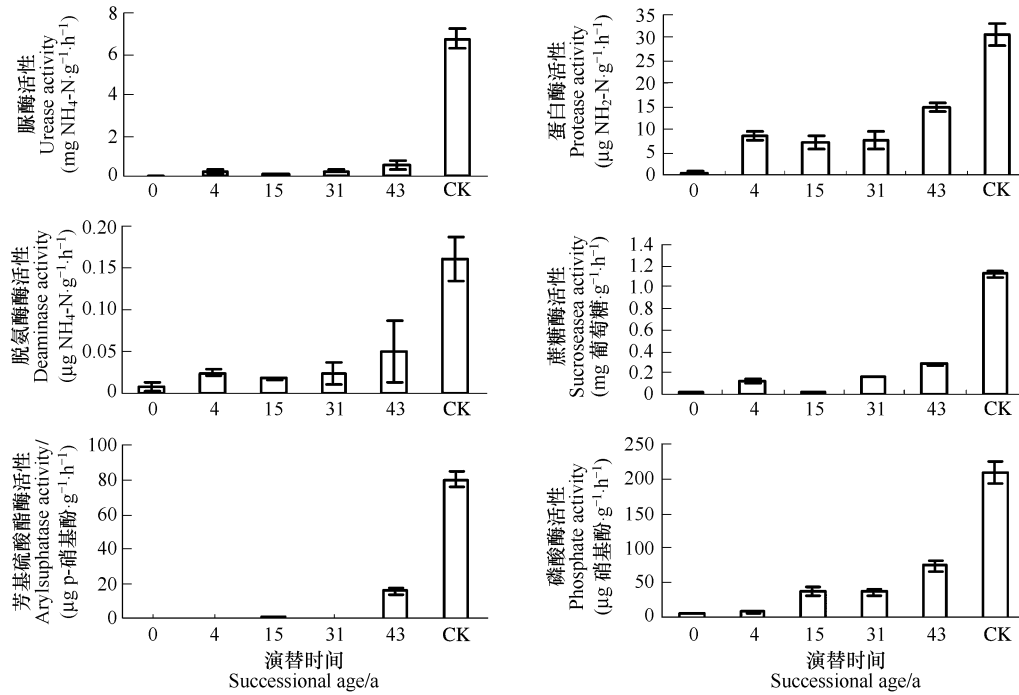


图 1 1 号冰川前缘各演替时间土壤酶活(脲酶、蛋白酶、脱氨酶、蔗糖酶、芳基硫酸酯酶和磷酸酶)

Fig. 1 Microbial enzymes activities (Urease, Sucrosease, Protease, Deaminase, Arylsuphatease and Phosphate) in soils of varying ages along the chronosequence

2.3 土壤微生物生物量和微生物氮矿化及脱氮作用随演替时间的变化

微生物生物量碳随时间序列先降低后升高(表 2),而微生物生物量氮变化趋势不明显,对照土壤的微生物量碳、氮高于其余各演替时间。土壤的微生物氮矿化及脱氮作用变化具有相同的规律(图 1 和表 2),并且与脲酶、蛋白酶及蔗糖酶变化趋势相似(图 1)。氮矿化速率在演替 43a 时就达到了对照的一半以上(表 2),而脱氨酶活性在 43 年只有对照的 36.7%(图 1),微生物量碳氮比(表 2)呈现出先降低后增加的状态。

表 2 各演替时间土壤的微生物量碳、氮,氮矿化和微生物量碳氮比(C_{mic}/N_{mic})

Table 2 Microbial biomass carbon and nitrogen, N mineralization, C/N ratio of microbial biomass of soils along the chronosequence

演替时间 Successional ages/a	微生物量碳 C_{mic} ($\mu\text{g/g}$)	微生物量氮 N_{mic} ($\mu\text{g/g}$)	碳氮比 C_{mic}/N_{mic}	氮矿化 N_{min} ($\mu\text{g NH}_4\text{-N}/(\text{g, d})$)
0	17.19 $\pm$ 3.55b	1.79 $\pm$ 0.16b	9.54 $\pm$ 1.25a	0.15 $\pm$ 0.02c
4	14.05 $\pm$ 1.51b	2.47 $\pm$ 0.57b	6.78 $\pm$ 0.72a	0.42 $\pm$ 0.05b
15	12.80 $\pm$ 1.55b	2.26 $\pm$ 1.05b	6.35 $\pm$ 2.29a	0.34 $\pm$ 0.06b
31	3.42 $\pm$ 0.41b	0.64 $\pm$ 0.01b	5.59 $\pm$ 0.56a	0.34 $\pm$ 0.04b
43	25.33 $\pm$ 5.98b	2.29 $\pm$ 1.66b	7.35 $\pm$ 0.43a	0.44 $\pm$ 0.08b
对照 CK	111.26 $\pm$ 15.35a	11.59 $\pm$ 2.39a	9.75 $\pm$ 1.30a	0.87 $\pm$ 0.17a

C_{mic} : microbial biomass carbon; N_{mic} : microbial biomass nitrogen; N_{min} : mineralization of nitrogen

注:同列不同小写字母表示 0.05 水平下差异显著

2.4 不同演替阶段微生物生态特征的聚类分析

为了比较不同演替阶段微生物生态特征的差异,根据土壤酶活,对演替时间进行聚类分析,可分为 3 类。演替 0、4、15、31a 可聚为一类(图 2),说明微生物生态特征在 0 至 31a 间相似,属于演替早期;演替 15、31a 的距离最近,表明微生物生态特征在这期间变化不大。一类是 43a,可能属于演替中期。另一类是对照,属于演替晚期。

2.5 微生物过程及酶活与土壤化学性质的关系

土壤有机质与酶活、生物量存在极显著正相关($P < 0.01$)(表 3),表明有机质在微生物活性的变化中起着关键作用。土壤有效氮与酶活、生物量呈显著正相关($P < 0.05$);生物量和酶活随有机质和有效氮而提高;土壤 pH 与酶活和生物量呈较弱负相关。以有机质作为控制变量,偏相关的分析结果显示,生物量与有效磷、脲酶与总磷呈较弱负相关。

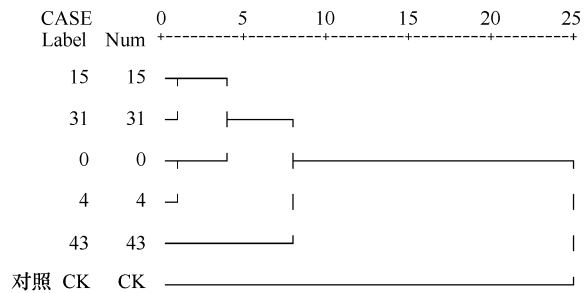


图 2 根据土壤酶活和微生物作用对不同演替时期进行层次聚类的分析结果

Fig. 2 Cluster analysis at different successional ages according to soil enzyme activities and microbial processes

表 3 土壤部分化学性质和微生物生物量和酶活的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil properties and microbial biomass and enzyme activities

项目 Item	复相关系数 Bivariate correlation coefficient			偏相关系数 Partial correlation coefficient controlling for OM	
	有机质 OM	pH	有效氮 N_{al}	有效磷 P_{al}	总磷 P_t
微生物量碳 C_{mic}	0.996 **	-0.762	0.972 **	-0.482	0.388
微生物量氮 N_{mic}	0.993 **	-0.804	0.966 **	-0.885	0.024
氮矿化 N_{min}	0.917 **	-0.556	0.899 *	0.384	0.705
脲酶 Urease	0.996 **	-0.762	0.986 **	0.827	-0.091
蛋白酶 Protease	0.923 **	-0.510	0.892 *	0.528	0.817
磷酸 Phosphate	0.961 **	-0.621	0.920 **	0.665	0.457
芳基硫酸酯酶 Arylsulphatase	0.993 **	-0.703	0.970 **	0.669	0.698
蔗糖酶 Sucrosease	0.980 **	-0.657	0.976 **	0.886	0.598
脱氨酶(Deaminase)	0.983 **	-0.654	0.966 **	0.722	0.805

OM: organic matter; N_{al} : available nitrogen; P_t : total phosphorus; P_{al} : available phosphorous; * * 差异极显著($P < 0.01$); * 差异显著($P < 0.05$)

2.6 Shannon 多样性指数和均匀度随演替时间的变化

Shannon 多样性指数和均匀度随演替时间而增大(图 3),Shannon 多样性指数从演替 0a 的 0.49 增加至 43a 的 1.95,均匀度从 0a 的 0.17 增加至 43a 的 0.67,表明 1 号冰川前缘微生物多样性随着演替时间而增加,现仍未达稳定状态。

3 讨论

乌鲁木齐河源 1 号冰川是亚洲干旱及半干旱区冰川的代表,以空间代替时间序列,测定各样带的土壤酶活性、微生物生物量以及氮矿化与脱氮作用,结果表明,在 43a 的演替过程中,其前缘微生物多样性随时间而增加,现仍未达稳定状态,而奥地利阿尔卑斯中部冰川前缘土壤微生物在原生演替过程中,其功能多样性指数于演替中期(50a)已趋于稳定^[15],其原因可能与这两座冰川所处地理位置及气候条件有关。1 号冰川地处中亚,地理隔离程度低,与天山山脉一脉相通,沟通了与温带地区的地理联系^[27],加之四周被广袤的沙漠包围,亚洲粉尘的东移及 1 号冰川冷锋和低压的活动,使大气粉尘以湿沉降的方式降落^[28],改变了 1 号冰川前缘土壤的理化性质和养分供给方式,间接影响了酶活及生物量等,而使微生物活性及多样性持续增加至今且未达

稳态。

在冰川前缘,微生物的原生演替与土壤发育是同步进行的,随着演替进行,土壤的理化性质也发生相应变化。pH 降低,有效磷和有效氮的增加是土壤的发育一般趋势^[29]。在风化和成土过程中,微生物是原始土壤有机质的最早来源^[30],因此土壤有机质含量随着演替时间而增加,本文结果基本与此一致(表 1)。对照土壤的 pH 值低于其余演替时间,与已有的结论相同^[31-32]。相对于国外冰川的研究结果^[8,15,33],1 号冰川前缘土壤偏碱性且 pH 值降低不明显,这可能是受温带干旱和半干旱大陆性气候的影响,土壤碳酸钙含量较高^[19],阻滞了其酸化^[15]。

本研究有机质与微生物生物量呈极显著正相关,与极地冰川前缘微生物的研究结果类似^[34]。Shinpei 等人用磷脂脂肪酸分析(PFLA)的方法研究了加拿大 high Arctic 冰川的微生物演替时也发现随演替时间的增加,微生物生物量与土壤碳和氮(有机质)含量具有正相关的关系^[35]。但是此次研究中微生物生物量碳和氮随演替时间呈波动状,趋势不明显,除对照外,其余各样带的微生物生物量变化差异不显著(表 2),不同于瑞士 Damma 冰川前缘微生物生物量持续增加^[36],这主要与有机质的分解和积累有关,此外海拔及地貌等条件有可能造成 1 号冰川前缘空间异质性较高,即使同一样带的重复样品也有较大差异,也是原因之一。

1 号冰川前缘土壤酶活变化总体趋势是随演替时间而增加,但 15a 的硫酸酯酶和磷酸酶高于 31a,其余的酶及微生物作用在 4a 时大于 15a。Sigler 等人^[6]研究冰川前缘细菌演替时,发现其活性在 0a 至 70a 间增加,70a 至 100a 间降低,认为样带处的植物种类及数量多寡是主要原因。虽然本研究在 4a 的样带上发现了零星植物,但未对其种类多样性及根际微生物进行系统研究,所以无法进一步证实此观点。

生物群落演替是其内部关系与外界环境各种生态因子综合作用的结果^[37]。与植物相比,微生物的原生演替复杂且漫长,借助于生态特征的变化可了解其演替趋势,而乌鲁木齐河源 1 号冰川前缘微生物演替过程中的驱动力及营养获得,还有待于进一步研究。

References:

- [1] Larocque S J, Smith D J. 'Little Ice Age' proxy glacier mass balance records reconstructed from tree rings in the Mt Waddington area, British Columbia Coast Mountains, Canada. *The Holocene*, 2005, 15 (5): 748-757.
- [2] Sigler W V, Zeyer J. Colony-forming analysis of bacterial community succession in deglaciated soils indicates pioneer stress-tolerant opportunists. *Microbial Ecology*, 2004, 48: 316-323.
- [3] Tian D L. *Advanced Ecology*. Beijing: Science Press, 2008.
- [4] Diana R N, Suzanne P A, Cory C C, Andrew P M, Amy E M, Anton S, Steven K S. Microbial community succession in an unvegetated, recently deglaciated soil. *Microbial Ecology*, 2006, 53: 110-122.
- [5] Zhang J E, Hu S X. The development and evolution of landscape in front of alpine glacier — a case study from the front area of No. 1 Glacier in Tianshan Mountain. *Arid Zone Research*, 1997, 14(4): 38-43.
- [6] Sigler W V, Crivii S, Zeyer J. Bacterial succession in glacial forefield soils characterized by community structure, activity and opportunistic growth dynamics. *Microbial Ecology*, 2002, 44: 306-316.
- [7] Graeme W N, Tscherko D, Martin T E. Primary succession of soil *Crenarchaeota* across a receding glacier foreland. *Environmental Microbiology*, 2005, 7(3): 337-347.
- [8] Deighmary K, Philippot L, Tscherko D, James I P. Microbial succession of nitrate-reducing bacteria in the rhizosphere of *Poa alpina* across a glacier foreland in the Central Alps. *Environmental Microbiology*, 2006, 8(9): 1600-1612.

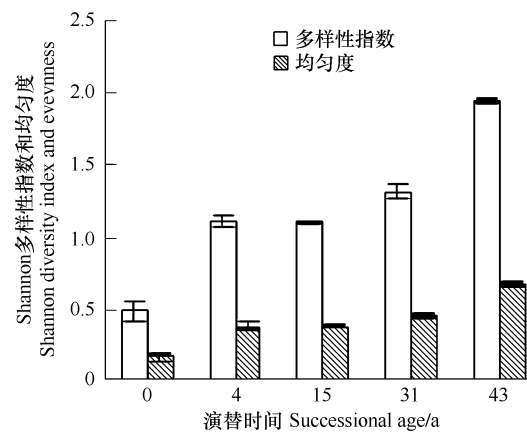


图 3 不同演替时间土壤酶活的 Shannon 多样性指数和均匀度

Fig. 3 Shannon diversity index and Shannon evenness of soils along the chronosequence

- [9] Meng L J, Wu F Z. A review of studies on soil enzymology. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 35(5): 622-626.
- [10] Ding H, Hu H B, Wang R C. The relationship between soil enzyme activity and soil physical-chemical properties or microbial biomass in semi-arid area. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2007, 31(2): 13-18.
- [11] Xu H, Liao C Y, Li X M, Sun C Z, Wang Y W, Li L. Soil microorganism and enzyme activities under different artificial sand-fixing vegetations in the sandy area of Yulin. *Journal of Northwest Agricultural and Forestry University*, 2008, 36(2): 135-141.
- [12] Bruce A C. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologia*, 2005, 49: 637-644.
- [13] Dick R P. Long-term effects of agricultural system on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture Environmental Microbiology*, 1992, 40: 25-36.
- [14] Cao Z P. *Soil Ecology*. Beijing: China Chemistry and Industry Press, 2007.
- [15] Tscherko D, Rustemeier J, Richter A, Wanek W, Kandeler E. Functional diversity of the soil microflora in primary succession across two glacier forelands in the Central Alps. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 685-696.
- [16] Jiao K Q, Jing Z F, Han T D, Yang H A, Ye B S, Li Z Q. Variation of the Glacier No. 1 at the Headwaters of the Urumqi River in Tianshan Mountains during the past 42 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(3): 253-260.
- [17] Jiao K Q, Wang C Z, Han T D. A strong negative mass balance appeared in the headwater of the Urumqi River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, 22(1): 62-64.
- [18] Luo H Z. Hydrochemical features of the Glacier No. 1 in the source region of Urumqi River, Tianshan. *Journal of Glaciology and Geocryology*. 1983, 5(2): 55-64.
- [19] Guan S Y. *Soil Enzymes and Its Methodology*. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [20] Cai H, Shen R F. Determination of soil protease activity with modified ninhydrin colorimetry. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 306-313.
- [21] Tabatabai M A, Bremner J M. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Science Society American Proceedings*, 1970, 34: 225-229.
- [22] Lu R K. *Soil Agriculture Chemistry Analytical Method*. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1999.
- [23] Alef K, Kleiner D. Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potentials in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1986, 18: 233-235.
- [24] Waring S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of N availability. *Nature*, 1964, 201: 951-952.
- [25] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 703-707.
- [26] Brookes P C, Landman A, Pruden G, Jenkinson D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17: 837-842.
- [27] Wei Y, Tan D Y, Zhu J W. Studies on the flora of seed plants in freezing vegetation zone near Glacier No. 1 in Tianshan Mountain. *Arid Zone Research*, 1998, 15(1): 49-53.
- [28] You X N, Li Z Q, Wang F T, Zhu Y M. Seasonal evolution of insoluble microparticles stratigraphy in Glacier No. 1 percolation zone, Eastern Tianshan, China. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(11): 1164-1170.
- [29] Graeme W N, Dagmar T, Embley T M, James I P. Primary succession of soil *Crenarchaeota* across a receding glacier forefield. *Environmental Microbiology*, 2005, 7(3): 337-347.
- [30] Huang C Y. *Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [31] Messer A C. Regional variations in rates of pedogenesis and the influence of climate factors on moraine chronosequences, Southern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 1988, 20: 31-39.
- [32] Matthias N, Maro W. Changes of the soil ecosystem along a receding glacier: Testing the correlation between environment factors and bacterial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 8: 1-9.
- [33] Hammerli A, Waldhuber S, Minici C, Zeyer J, Bunge M. Local expansion and selection of soil bacteria in a glacier forefield. *European Journal of Soil Science*, 2008, 58: 1437-1445.
- [34] Bekku Y S, Nakatsubo T, Kume A, Koizumi H. Microbial biomass in relation to primary succession on Arctic deglaciated moraines. *Polar Bioscience*, 1999, 12: 47-53.
- [35] Shinpei Y, Masaki U, Takayuki N, Hiroshi K. Characterization of soil microflora on a successional glacier foreland in the high Arctic on Ellesmere Island, Nunavut, Canada using phospholipid fatty acid analysis. *Polar Bioscience*, 2006, 19: 73-84.
- [36] Sigler W V, Zeyer J. Microbial Diversity and activity along the forefields of two receding glaciers. *Microbial Ecology*, 2002, 43: 397-407.

- [37] Cao C G, Yan L J, Liu L M. Ecology Conspectus. Beijing: Higher Education Press, 2002.

参考文献:

- [3] 田大伦. 高级生态学. 科学出版社, 2008.
- [5] 章家恩, 胡双熙. 高山冰川前缘地带景观生态的发育与演替——以天山 1 号冰川前缘为例. 干旱区研究, 1997, 14(4): 38-43.
- [9] 孟立君, 吴凤芝. 土壤酶学研究进展. 东北农业大学学报, 2004, 35(5): 622-626.
- [10] 丁茜, 胡海波, 王人潮. 半干旱区土壤酶活性与其理化及微生物的关系. 南京林业大学学报, 2007, 31(2): 13-18.
- [11] 徐恒, 廖超英, 李晓明, 孙长忠, 王彦武, 李亮. 榆林沙区人工固沙林土壤微生物生态分布特征及酶活性研究. 西北农业科技大学学报, 2008, 36(12): 135-141.
- [14] 曹志平. 土壤生态学. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [16] 焦克勤, 井哲帆, 韩添丁, 杨慧安, 叶柏生, 李忠勤. 42a 来天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化及趋势预测. 冰川冻土, 2004, 26(3): 253-260.
- [17] 焦克勤, 王纯足, 韩添丁. 天山乌鲁木齐 1 号冰川新近出现大的物质负平衡. 冰川冻土, 2000, 22(1): 62-64.
- [18] 骆鸿珍. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川的水化学特征. 冰川冻土, 1983, 5(2): 55-64.
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [20] 蔡红, 沈仁芳. 改良茚三酮比色法测定土壤蛋白酶活性的研究. 土壤学报, 2005, 42(2): 306-313.
- [22] 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.
- [27] 魏岩, 谭敦炎, 朱建雯. 天山 1 号冰川冻原植被带种子植物区系. 干旱区研究, 1998, 15(1): 49-53.
- [28] 尤晓妮, 李忠勤, 王飞腾, 朱宇曼. 乌鲁木齐河源 1 号冰川不溶微粒的季节变化特征. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1164-1170.
- [30] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [37] 曹凑贵, 严力蛟, 刘黎明. 生态学概论. 北京: 高等教育出版社, 2002.

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 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

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@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 70.00 元