

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第12期 2011年6月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例.....	李昊,蔡运龙,陈睿山,等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新,叶丽芳,孙小祥,等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响.....	樊后保,廖迎春,刘文飞,等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能.....	贺淑霞,李叙勇,莫菲,等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应.....	郭东罡,上官铁梁,白中科,等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军,郁红艳,丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性.....	何彩梅,魏大巧,李海燕,等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新.....	赵振勇,张科,卢磊,等 (3322)
基于8hm ² 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛,梁凤超,常顺利,等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应.....	周晓兵,张元明,陶冶,等 (3340)
Pb污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕,郭智,黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北3树种树干表面CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟,毛子军,孙涛,等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局.....	唐樱殷,沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数.....	彭焕华,赵传燕,冯兆东,等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的CCA分析	赵成章,周伟,王科明,等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征.....	庞科,姚锦仙,王昊,等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素.....	王雨,林茂,陈兴群,等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响.....	黄亮亮,李建华,邹丽敏,等 (3415)
基于RS/GIS公路路域水土流失动态变化的研究——以渝昆高速公路为例	陈爱侠,李敏,苏智先,等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价.....	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析.....	高宾,李小玉,李志刚,等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响.....	李晋昌,王文丽,胡光印,等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中Cu和Zn累积的影响	张妍,罗维,崔晓勇,等 (3460)
基于GIS的宁夏灌区农田污染源结构特征解析.....	曹艳春,冯永忠,杨引禄,等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响.....	刘岩,周勋波,陈雨海,等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水,江丽华,张骞,等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣,陈双臣,刘燕英,等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永,宋敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景.....	胡自民,李晶晶,李伟,等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡4种优势灌木的气体交换特征.....	朱军涛,李向义,张希明,等 (3522)
不同比例尺DEM数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜,黄聚聪,代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正,胡海波,张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖,郑华,阳柏苏,等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇,王习祥,杨木壮,等 (3551)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说:自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草,举目望去,如霞似火,蔚为壮观,人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程,掉下的茎叶腐质后肥化了土壤,它是大海的生态屏障。

彩图提供:段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail:dwk9911@126.com

古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应

周晓兵^{1,2}, 张元明^{1,*}, 陶冶^{1,2}, 张丙昌¹

(1. 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室, 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 830011;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以新疆古尔班通古特沙漠为研究区, 原位设定 0 (N0)、0.5 (N0.5)、1.0 (N1)、3.0 (N3)、6.0 (N6) 和 24.0 (N24) g N m⁻² a⁻¹ 6 个模拟施氮浓度, 研究氮沉降对土壤酶活性和微生物量 N 的影响。结果表明: 不同浓度的氮增加未改变土壤酶活性和微生物量 N 原有的垂直分布格局, 0—5 cm 土层土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性分别比 5—10 cm 土层低 14.3%—27.3% 和 1.4%—14.2%, 而该土层的蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶活性和微生物量 N 则分别比 5—10 cm 土层高 18.0%—98.1%、45.3%—119.0%、76.1%—138.1% 和 77.5%—162.3%。氮增加后, 0—5 cm 土层的土壤酶活性和微生物量 N 比 5—10 cm 土层受影响更大。低氮和中氮(N0.5—N3)增加对 0—5 cm 土层氧化酶活性影响较小, 各处理间差异不显著; 高氮(N6, N24)对该层氧化酶活性有明显抑制作用。与对照相比, N24 处理下土壤多酚氧化物活性和过氧化物酶活性分别降低了 22.4% 和 12.1%; 5—10 cm 土层氧化酶活性对氮增加响应不敏感, 各施氮量之间差异不显著; 两层土壤的蔗糖酶和碱性磷酸酶活性随氮的增加具有先增加再减少的趋势, 而两层土壤的脲酶活性和土壤微生物量 N 随着施氮量增加分别降低和增加; 随着土壤酶活性变化, 土壤有效氮和微生物量 N 增加, 有效磷先增加后减少。这些响应表明, 氮增加可以改变该荒漠土壤系统的土壤酶活性和微生物量并影响土壤相关营养元素循环。

关键词:氮沉降; 土壤酶; 微生物量 N; 古尔班通古特沙漠

Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert

ZHOU Xiaobing^{1,2}, ZHANG Yuanming^{1,*}, TAO Ye^{1,2}, ZHANG Bingchang¹

1 Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Nitrogen (N) deposition influences microbial decomposition and nutrient transformation rates by affecting the activities of microbial properties, such as soil enzymes, microbial biomass and structure of the microbial community. In desert ecosystems, where water and N are two major limiting factors for biological activity, minimal nutrient dynamics are linked to comparatively large changes. In this paper, an *in situ* experiment was conducted in Gurbantunggut desert to explore the effects of N deposition on soil enzyme activities and microbial biomass N. Sixty 8 m × 8 m plots were established in the inter-dune area, with each plot having similar vegetation and a biological soil crust cover. Six N fertilizer treatments (N0, N0.5, N1, N3, N6 and N24 denoting 0, 0.5, 1.0, 3.0, 6.0 and 24.0 g N m⁻² a⁻¹, respectively) were conducted, with ten replicates for each treatment. Nitrogen was applied at the ratio of 2:1 for NH₄⁺-N : NO₃⁻-N (informed in NH₄NO₃ and NH₄Cl), consisting with ratio of the main N components in deposition in Urumqi. Soil samples were collected in May 2009 from 24 of the 60 plots with 4 replicates for each treatment (6 N treatments × 4 replicates). Soil samples were taken

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-336); 国家重点基础研究发展计划(2009CB825104); 国家自然科学基金资助项目(41001181)

收稿日期: 2010-05-25; 修订日期: 2010-08-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangym@ms.xjb.ac.cn

from two layers (0—5 cm and 5—10 cm) and transported to laboratory quickly. The results showed that original vertical distribution patterns of nutrient, soil enzyme and microbial biomass were not changed by N addition. Soil organic C, total N, total P, available P and available N pools were greater in the 0—5 cm soil layer than in the 5—10 cm layer, regardless of N addition rates. The polyphenol oxidase and peroxidase activities in 0—5 cm soil layer were 14.3%—27.3% and 1.4%—14.2% lower than those in 5—10 cm soil layer, respectively. However, the activities of invertase, urease, alkaline phosphatase (AlP) and microbial biomass N in the 0—5 cm soil layer were 18.0%—98.1%, 45.3%—119.0%, 76.1%—138.1% and 77.5%—162.4% higher compared with the 5—10 cm layer, respectively. The soil enzyme activities and microbial biomass N were more sensitive to N addition in the 0—5 cm layer than in the 5—10 cm layer. Although low and moderate N levels (N0.5, N1 and N3) have marginal effects on oxidative enzyme activities in the 0—5 cm layer, high N levels (N6 and N24) reduced the activities of oxidative enzyme. With respect to control (N0), the activities of polyphenol oxidase and peroxidase were 22.4% and 12.1% lower under N24. In contrast, the oxidative enzyme activities in the 5—10 cm layer were not sensitive to N addition. With the increase in N addition, both the invertase and AlP activities in the two layers increased at low N addition levels, then they decreased at high N levels. Compared with control, N1 and N3 increased invertase activities in the 0—5 cm layer by 49.6% and 72.3%, respectively; and by 8.6% and 11.4% in the 5—10 cm layer, respectively. AlP activities in the 0—5 cm layer tended to increase at the low N levels (i.e., N0.5, N1 and N3). Highest increasing rate of 48.6% was found in N3 treatment in comparison to control. Nitrogen additions resulted in increased microbial biomass N, but decreased urease activities. With the changes in soil enzyme activities, cycling of C, N and P altered accordingly. The varying soil organic C under different N treatments may be partially due to the change of oxidative activities. The addition of N lead to the increase of microbial biomass N and available N. Available P increased significantly at low N addition rates while it decreased at high N addition rates in both the soil layers. Our results suggest that N addition or deposition can affect the nutrient flow by changing the soil enzyme activities and microbial biomass in Gurbantunggut desert ecosystem.

Key Words: N deposition; soil enzyme; microbial biomass N; Gurbantunggut desert

近年来,随着活性氮排放的增加,大气氮沉降带来的生态效应已成为全球变化研究的热点。氮沉降增加能够影响植物生长、改变生态系统生产力、影响群落组成和多样性^[1-4]。土壤系统作为植物、土壤动物和微生物等生命活动的承载者,在生态系统响应氮沉降的过程中发挥至关重要的作用。氮沉降能够增加土壤可利用氮素含量,并改变土壤矿化和土壤呼吸等一系列土壤生态过程^[5-7]。

土壤酶在土壤生态过程中发挥重要作用,是土壤中最活跃的部分,并参与碳(C)、氮(N)、磷(P)等元素的循环。检测土壤中酶活性,能够了解复杂有机质分解强度与简单物质再合成强度,因此,土壤酶活性可以用来评价环境变化下的营养动态。外源氮素的变化可能影响凋落物分解酶的活性,进而影响凋落物分解^[8]。因此,氮沉降可以改变土壤氮素含量而改变碳的储存^[9]。土壤氧化酶能够调节木质素的分解,而氮增加能够影响土壤多酚氧化酶和过氧化物酶等氧化酶的活性。另外,与营养元素循环密切相关的一些水解酶,如蔗糖酶、脲酶和磷酸酶等能够响应氮沉降增加,因此,与这些酶相关的C、N和P等营养元素的循环也发生改变^[10-12]。然而,不同生态系统的土壤氧化酶和水解酶对氮增加具有不同甚至相反的响应^[9,11,13-14]。土壤微生物量在营养元素循环中也非常重要,是重要的营养库和源。微生物量(包括微生物量C、N、P等)的改变可能影响植物所需的C、N和P等营养元素的循环^[12]。与土壤酶活性一样,土壤微生物量也同样受到氮增加的影响。有研究表明氮增加后,不同生态系统的土壤微生物量具有增加^[15]、减少^[16],或不变^[17]3种不同的响应。

综上所述,尽管土壤酶和土壤微生物量在营养元素循环中具有重要的作用,但是各生态系统由于立地条件和对氮敏感性的差异,氮沉降生态效应不同。因此,结合土壤环境条件,继续深入开展相关研究显得极为必要。尤其是荒漠生态系统,土壤自然含氮量低,少量的氮素增加能够带来更大的生态效应^[18],然而,有关氮增

加对荒漠生态系统土壤酶活性和土壤微生物量影响的相关研究还较少。本文以古尔班通古特沙漠为研究区,研究了模拟氮增加对土壤酶和微生物量 N 的影响,旨在为深入了解该荒漠生态系统对氮增加的响应提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区域自然概况

研究区域位于准噶尔盆地中的古尔班通古特沙漠,该沙漠是我国最大的固定和半固定沙漠。年积温 3000—3500 °C,年降水量 70—150 mm,年蒸发量 2000 mm 以上,冬季有约 20 cm 的积雪,为典型的内陆干旱气候。4 月到 7 月的降水量能占到全年降水的 47.6%。春季丰富的降水和积雪融化使土壤含水量高,植物和微生物生命活动旺盛。小半乔木梭梭(*Haloxylon ammolondren*)和白梭梭(*H. persicum*)为沙漠建群种。研究区域还分布有蛇麻黄(*Ephedra distachya*)、沙蒿(*Artemisia arenaria*)、对节刺(*Horanowia ulicina*)、尖喙牻牛儿苗(*Erodium oxyrrhynchum*)、囊果苔草(*Carex physodes*)和角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)等灌木和草本植物。此外,研究区域还广泛分布着生物结皮。

1.2 试验设计与取样方法

2008 年 10 月,在沙漠腹地(44.87° N, 87.82° E),选择植被和生物结皮发育比较一致的区域,设定 60 个样方(8 m × 8 m),分成 6 个不同浓度的施氮处理:0 (N0)、0.5 (N0.5)、1.0 (N1)、3.0 (N3)、6.0 (N6) 和 24.0 (N24) g N m⁻² a⁻¹,每个处理 10 个样方。其中 0 为对照,0.5 为沙漠边缘的氮沉降水平,3.0 为美国莫哈韦沙漠的氮沉降水平,6.0 和 24.0 为 2 个倍增氮浓度。施氮之前测定样方土壤理化性质,各样方差异不显著。施氮每年 2 次,时间分别为每年的 3 月下旬(积雪融化)和 10 月下旬(降雪前),施氮时将 NH₄NO₃ 和 NH₄Cl 按 NH₄⁺:NO₃⁻ 为 2:1 溶于水中,均匀喷洒于样地表面,对照样地喷洒同样的水分,每次由喷水带来的降水很少,可忽略不计。

2009 年 5 月进行土壤取样,每个施氮处理随机选择 4 个样方进行。土壤取样时将上层土壤结皮去除,分 0—5 cm 和 5—10 cm 两层取样。为减少异质性,每个样方沿对角线方向取 3 个样均匀混合。去除根系等杂物后,将土样装入盛有冰袋的取样箱带回实验室,一部分鲜土样进行土壤微生物分析,另一部分风干进行土壤酶活性和土壤理化性质测定。

1.3 土壤理化性质测定

用风干土测定土壤 pH、电导率、有机碳、全 N、全 P、全 K、有效 N、有效 P 和速效 K。pH 和电导率分别用 PHS-3C 酸度计和 DDS-307A 电导计(Precision and Scientific Corp. 上海)测定,土壤有机碳用重铬酸钾容量法-外加热法;土壤全 N 用高氯酸-硫酸消化法;有效 N 用碱解蒸馏法;全 P 用酸溶-钼锑抗比色法;有效 P 用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;全 K 用酸溶-火焰光度法;速效 K 用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法^[19]。

1.4 土壤酶活性测定

土壤多酚氧化酶与过氧化物酶活性采用邻苯三酚比色法,以 30 °C 下培养 2 h,每克土样每小时生成的紫色没食子素量表示酶活性。蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 37 °C 下培养 24 h 每克土样每小时生成的葡萄糖数表示蔗糖酶活性。脲酶用苯酚-次氯酸钠比色法测定,37 °C 下培养 24 h,用每克土样每小时生成的 NH₃-N 的数量表示脲酶活性^[20]。碱性磷酸酶用磷酸苯二钠比色法测定,37 °C 下培养 3 h,用每克土样每小时生成的苯酚数量表示磷酸酶活性^[21]。

1.5 微生物量 N 测定

用熏蒸-280 nm 紫外比色法:将新鲜的土壤样品含水量调节至田间含水量的 30%—50%,25 °C 下密封预培养 7—10 d,以保持土壤均匀和所得结果的可比性。采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 提取法,将欲熏蒸土样置于内径 29 cm 可抽气的干燥器内隔板上,干燥器底部放置装有 30 mL 无乙醇氯仿的 100 mL 烧杯,并另外放置 1 个装有蒸馏水的小烧杯,使熏蒸时土壤含水量不变。随之抽气,直到氯仿出现气泡沸腾后持续 5 min,停止抽气,紧接着密闭干燥器,并将其置于室温(14—16°C)与黑暗处 24 h 后取出土样,在通气良好的地方放置 2—3 h,使

残留土壤中的氯仿尽可能挥发。不熏蒸的土样置于另一干燥器中,用蒸馏水代替氯仿,与用氯仿熏蒸一样处理,作为不熏蒸对照^[21]。取熏蒸和未熏蒸的土样,转入100 mL三角瓶中,按土水比1:4加0.5 mol/L的K₂SO₄溶液,振荡30 min后过滤,立即在280 nm紫外光下测定吸光度,熏蒸和未熏蒸作相同处理。用单位土中的吸光度增量表示,即: $\delta/g \text{ 干土} = (\text{abs}_{\text{熏}}/G_{\text{熏}}) - (\text{abs}_{\text{未}}/G_{\text{未}})$,其中:abs代表280 nm紫外光下的吸光度,G代表与所称土重相当的烘干土重。用Nunan等方法计算微生物量N^[22]。

1.6 数据统计

各处理间土壤理化特征、土壤酶活性和土壤微生物量N用单因素方差分析(one way ANOVA),用最小显著差异法(LSD)对结果进行多重比较。上下两层土壤酶活性和微生物量N用t检验分析。所有的统计采用SPSS 13.0(SPSS Inc., Illinois, U.S.A.)完成,利用Origin 8.0(OriginLab Corp., USA)作图。

2 结果与分析

2.1 氮沉降增加对土壤理化特征的影响

从表1可以看出,0—5 cm土层土壤有机碳、全N、全P、有效N和有效P高于5—10 cm,两层土壤全K和速效K差异不大。对于0—5 cm土层:随着施氮量增加,土壤pH具有波动变化,但总体降低趋势。增N促进

表1 不同氮处理下土壤理化性质及营养特征

Table 1 Changes in soil physicochemical and nutrient characteristics under different N addition rates, mean±SD with ANOVA results (n=4)

土层 Soil layer	处理 Treatments	pH	电导率/(μs/cm) Conductance	有机碳/(g/kg) Organic C	全N/(mg/kg) Total N	全P/(mg/kg) Total P
0—5cm	N0	7.74±0.24a	96.40±1.56b	0.99±0.05bc	106.00±7.81a	377.00±34.60a
	N0.5	7.67±0.05a	98.93±8.04b	1.08±0.01ab	106.33±10.97a	369.33±17.10a
	N1	7.52±0.03b	99.43±4.32b	1.09±0.1ab	101.33±1.15a	346.33±19.86a
	N3	7.42±0.11b	110.63±0.86b	1.13±0.04a	105.67±8.33a	357.33±30.24a
	N6	7.48±0.02b	123.43±3.04b	0.98±0.00bc	111.00±7.55a	354.67±5.86a
	N24	7.45±0.05b	197.33±53.59a	0.96±0.11c	115.33±14.01a	371.67±3.79a
5—10cm	N0	7.66±0.14a	95.33±1.18b	0.70±0.01ab	82.67±1.15ab	337.33±16.07a
	N0.5	7.66±0.06a	96.00±7.21b	0.64±0.02bc	83.33±1.53a	334.33±22.03a
	N1	7.52±0.12a	98.33±8.33b	0.73±0.05a	79.00±9.54ab	331.33±9.61a
	N3	7.56±0.05a	103.67±6.11b	0.62±0.05c	82.33±0.58ab	331.00±3.61a
	N6	7.65±0.04a	109.33±3.51b	0.64±0.03bc	85.67±0.58a	345.33±26.69a
	N24	7.55±0.06a	154.00±14.73a	0.61±0.03c	72.33±11.02b	343.67±1.53a
土层 Soil layer	处理 Treatments	全K/(mg/kg) Total K	有效N/(mg/kg) Available N	有效P/(mg/kg) Available P	速效K/(mg/kg) Available K	氮磷比N:P
0—5cm	N0	20.48±0.05 b	6.54±0.86c	6.31±0.27abc	147.33±3.21 e	0.62±0.03a
	N0.5	20.70±0.04 ab	5.10±0.51c	6.11±0.25bc	163.67±5.51 c	0.64±0.03a
	N1	20.57±0.44 ab	6.43±0.74c	6.76±0.24ab	176.33±5.77 a	0.65±0.03a
	N3	20.59±0.29 ab	10.84±1.74bc	7.00±0.08a	168.00±0.01bc	0.66±0.11a
	N6	21.20±0.57 a	18.59±2.61b	6.11±0.54bc	174.67±0.58 ab	0.69±0.04a
	N24	20.71±0.44 ab	75.04±10.97a	5.99±0.71c	154.67±3.79 d	0.69±0.08a
5—10cm	N0	21.44±0.36 a	3.81±0.86b	3.17±0.10c	150.67±6.66 a	0.54±0.02a
	N0.5	21.43±0.58 ab	3.41±0.44b	3.14±0.24c	144.00±8.89 a	0.55±0.05a
	N1	21.25±0.21 ab	4.83±0.83b	4.17±0.19a	154.33±9.07 a	0.53±0.07a
	N3	20.79±0.02 ab	5.01±0.71b	3.84±0.15ab	153.67±2.31 a	0.55±0.01a
	N6	20.89±0.64 ab	10.02±3.82b	3.82±0.23ab	145.33±9.02 a	0.55±0.04a
	N24	20.73±0.20 b	38.53±4.01a	3.50±0.47bc	156.33±4.93 a	0.47±0.07a

不同字母表示同一土层不同处理间差异显著

了电导率和土壤有效N的增加,尤其是N24处理,增加更为显著($P<0.05$)。土壤的全N、全P和N:P各处理

间差异不显著,而土壤有效P含量呈先增加后减少的趋势,土壤全K和速效K未有规律性变化。对于5—10 cm土层,其土壤pH值无明显变化,土壤电导率和有效N含量随施氮量增加而增加。土壤全N无明显变化趋势,各处理土壤全P含量和N:P差异不显著。土壤有效P也呈先增加后减少的趋势。

2.2 氮沉降增加对土壤酶活性的影响

增氮处理在不同土层对土壤多酚氧化酶活性影响不同。由图1可知,0—5 cm土层土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性分别低于5—10 cm土层14.3%—27.3%和1.4%—14.2%,但0—5 cm土层的土壤多酚氧化酶活性更易受氮的影响,5—10 cm土层响应则较小。在0—5 cm土层,随着施氮量增加,多酚氧化酶活性降低,高氮处理下其活性降低更显著,在N6和N24处理下,其活性分别比对照降低了9.7%和22.4%。多酚氧化酶的活性与土壤的有效氮呈负相关($r=-0.60$)。对于5—10 cm土层,增氮处理未显著影响土壤多酚氧化酶活性。过氧化物酶活性对氮增加的响应与多酚氧化酶活性相似。对于0—5 cm土层,N6和N24处理下土壤过氧化物酶活性分别比对照降低了6.5%和12.1%,而氮增加对5—10 cm土层过氧化物酶活性影响不显著(图1)。

对于蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶,它们在0—5 cm土层中的活性分别比5—10 cm土层高18.0%—98.1%、45.3%—119.0%、76.1%—138.1%。增氮处理对不同酶的效应不同:(1)蔗糖酶在0—5 cm土层通过N1和N3处理其酶活性分别比对照高49.6%和72.3%,然而,随着施氮量的继续增加,N6和N24处理却降低了土壤蔗糖酶活性;在5—10 cm土层,N1和N3处理使土壤蔗糖酶活性分别比对照高8.6%和11.4%,升高幅度低于0—5 cm土层,同样,高氮处理N6和N24也降低了土壤蔗糖酶活性。(2)对于土壤脲酶,增氮处理使其活性降低。在0—5 cm土层:增氮处理对土壤脲酶的活性影响比较显著,与对照相比,N3、N6和N24处理的脲酶活性分别降低了23.6%,37.1%和67.2%;而在5—10 cm土层,施氮对土壤脲酶活性的影响较小,N3、N6和N24处理的脲酶活性比对照分别降低了20.2%,25.0%和42.7%。(3)碱性磷酸酶在0—5 cm土层的活性随着施氮量增加呈先增加后减小的趋势,N3处理下磷酸酶活性最大,比对照高48.6%;而5—10 cm土层中土壤碱性磷酸酶活性同样有先增加后降低的趋势,N1处理下酶的活性达到最大,比对照高13.8%。随着施氮量进一步增加,土壤酶活性降低(图1)。

2.3 氮沉降增加对土壤微生物量N的影响

0—5 cm土层土壤微生物量N含量比5—10 cm土层高77.5%—162.3%,二者均随施氮量的增加而增加,并在N24处理下土壤微生物量N最高,0—5 cm土层为57 $\mu\text{g N/g}$,是对照处理的1.75倍;5—10 cm土层为22 $\mu\text{g N/g}$,是对照处理的1.72倍(图1)。

3 讨论

3.1 不同土层土壤酶活性和微生物量N的差异

0—5 cm和5—10 cm两层土壤的理化性质不同,0—5 cm土层土壤水解酶活性和微生物量N明显高于5—10 cm,而土壤氧化酶的活性低于5—10 cm土层。有研究认为,土壤酶活性的不同,可能与土壤pH相关^[13]。而本研究中,0—5 cm与5—10 cm土壤pH差异不明显,因此,土壤酶活性的差异受土壤pH的影响较小。Alon等对以色列Negev沙漠的研究发现,由于上层土壤大量的真菌和藻类的存在,富集了大量的有机质,因此上层土壤具有较高的微生物量^[15]。同样,本试验中不同土层土壤酶活性和微生物量N的差异可能是由于两层土壤有机质的差异造成。上层土壤取自0—5 cm,在该土层上部广泛分布有生物结皮(土壤微生物、藻类、地衣和苔藓复合体),生命活动非常活跃。因此,上层土壤具有较高的有机质和其他各类营养物质^[23]。从表中有机碳含量也可推出,上层0—5 cm土层土壤有机质明显高于下层5—10 cm。但是,本实验中,0—5 cm土层全N、有效N、有效P含量也明显高于5—10 cm土层,是否也同样影响土壤酶活性和微生物量N还有待进一步研究。随着施氮量增加,两层土壤的酶活性具有相似的变化趋势,但是0—5 cm土层土壤酶活性和微生物量N更易受到增氮的影响。这种不同土层的响应差异同样见于对地中海气候下橡树森林凋落物层的增氮研究^[24]。因此,本研究中,两土层响应程度的差异除了上层土壤较直接接受增氮外,上下两层土壤本身理

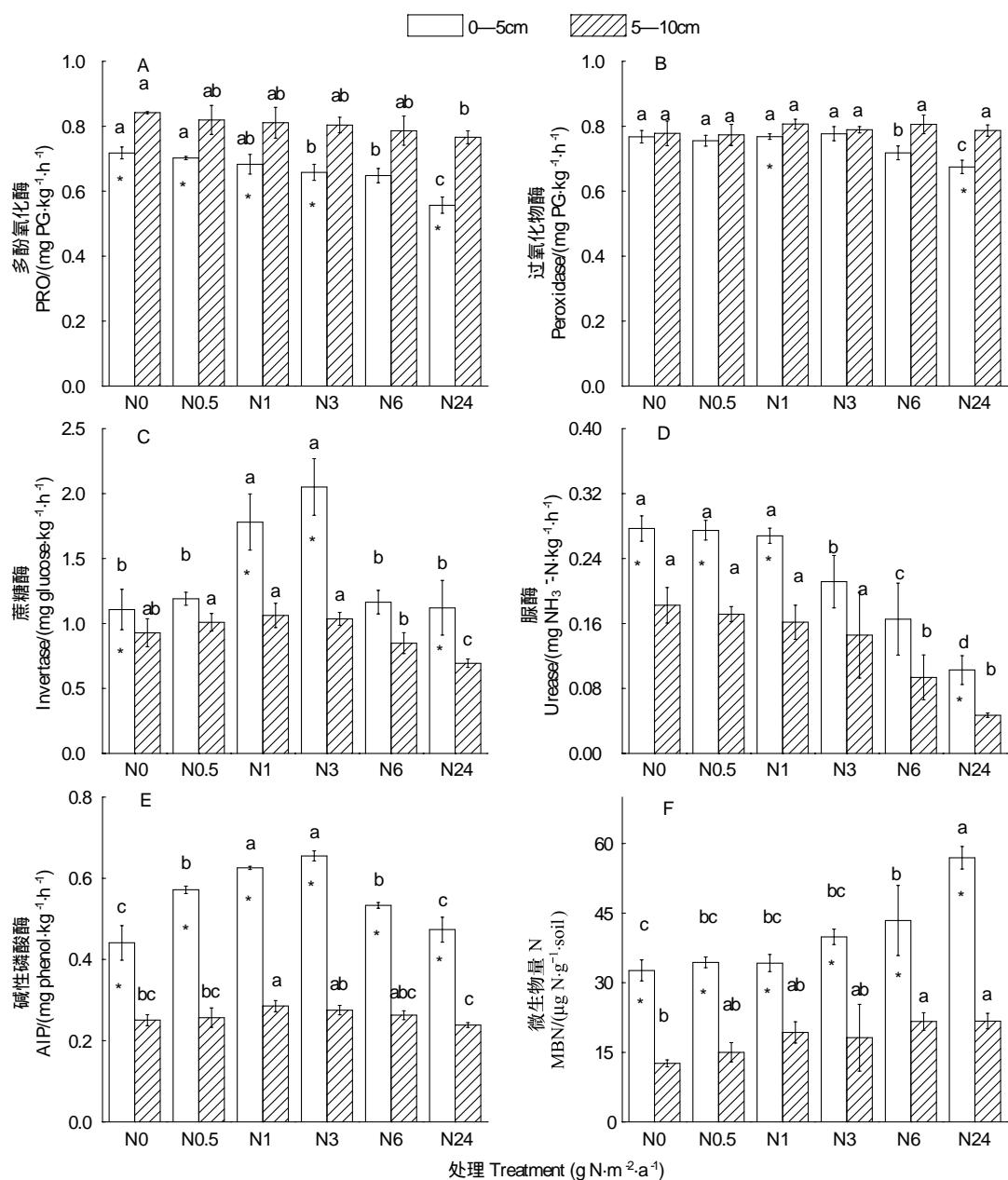


图1 0—5 cm 和 5—10 cm 土层多酚氧化酶、过氧化物酶、蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶活性和微生物量 N 随施氮量增加的动态变化(平均值±标准差)

Fig. 1 Changes in activities of polyphenol oxidase (PPO), peroxidase, invertase, urease, alkaline phosphatase (AIP) and microbial biomass N (MBN) for soils in the 0—5 cm and 5—10 cm layers along the gradient of N addition (mean±SD)

不同字母表示 0—5 cm 或 5—10 cm 土层各处间差异显著, * 表示 0—5 cm 和 5—10 cm 相同施氮量下差异显著($n=4$, $P < 0.05$)

化性质差异(如土壤有机质)可能导致其响应不同。

3.2 土壤酶活性、微生物量 N 响应特征及相应营养元素变化

土壤氧化酶和蔗糖酶等活性的变化可以改变土壤碳循环。增氮后氧化酶活性的降低可能降低凋落物分解速率,从而影响碳的储存和流动^[9]。多酚氧化酶和过氧化物酶是主要的木质素分解酶,多酚氧化酶能够氧化酚类化合物中的苯环,过氧化物酶能够氧化木质素大分子得到简单的酚类。施氮能够降低土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性,尤其是高氮处理,抑制作用更为明显。这种增氮处理对两种氧化酶的抑制作用同样见于其他生态系统的研究,并且可能是一个普遍现象^[11,25-26]。目前,大量的研究表明,多酚氧化酶和过氧化物酶是

由白腐真菌产生,氮沉降增加能够抑制白腐真菌的活性,减少了这两种氧化酶的产量。氧化酶活性的降低可能抑制酚类物质的分解,使凋落物分解速率降低。本试验结果表明,氧化酶的抑制作用在低氮处理水平时却不明显。与此研究相一致,在半干旱草地,长期增氮未影响氧化酶的活性^[27]。造成氧化酶活性对低氮处理不敏感可能有两方面原因:首先,干旱地区低的有机碳浓度可能造成其对氮增加不敏感^[27]。本研究中,从表1的数据可以看出,该沙漠土壤有机碳含量较低,从而可能造成氧化酶对低氮和中氮增加(N0.5—N3)的不敏感。其次,该沙漠土壤中细菌占优势^[28],沙漠中产生氧化酶的白腐真菌数量可能较少,使得土壤氧化酶含量少,从而受氮增加的影响较小,只有高氮才能明显降低其活性。

土壤蔗糖酶也是一种与碳循环相关的水解酶。在天然次生杨桦林中,多酚氧化酶活性和蔗糖酶活性的变化趋势较一致;而在天然阔叶红松林中多酚氧化酶活性降低而蔗糖酶活性升高,目前这种变化机制尚不明确^[29]。本试验中氧化酶与蔗糖酶活性变化与前两种均不相同,氮对氧化酶主要为抑制作用,且高氮下表现更为显著,而蔗糖酶活性随氮增加呈先增后降趋势,其机制还有待进一步研究。蔗糖酶以蔗糖为底物,能够将其水解为葡萄糖。该土壤酶活性的变化可以直接影响到葡萄糖数量,从而影响以葡萄糖为底物的一系列微生物的活动。有研究表明,施氮增加能够改变微生物的功能多样性(即群落水平的代谢剖面,CLPP)^[16],可能就是由于以不同碳源为底物的微生物随着土壤中底物变化而变化。本试验中,蔗糖酶活性对氮增加响应较为敏感,因此,长期下去,这种变化可能影响土壤微生物功能多样性。

脲酶活性的降低表明氮增加可能改变植物或微生物的氮素营养。对美国一种草原相关研究表明,增氮能够降低土壤脲酶的活性^[14],与本研究结果一致。根据微生物代谢的经济分配理论,当简单营养物质缺乏或复合营养物增多时,相应的酶产量增加^[30]。本研究中,加入的氮为NH₄NO₃和NH₄Cl,可以直接形成两种形态的氮(NH₄-N和NO₃-N),这两种氮可以直接为植物和微生物所利用,施氮量增加后,无需再矿化更多的有机物来满足其营养需求。因此,土壤有效氮含量与土壤脲酶活性呈负相关($r=-0.55$)。然而,也有研究表明,长期增氮能增加土壤和凋落物层的脲酶活性^[11-12]。宋学贵等研究也发现,虽然不同氮处理间存在差异,但总体上氮沉降能够增加常绿阔叶林土壤脲酶活性^[31]。造成促进和抑制两种不同的结果,可能是因为所施用氮的形态不同,或者土壤本身的营养特性差异所致。

在磷酸酶的作用下,有机磷能矿化成无机磷,因此,磷酸酶的活性在反映磷的需求和磷的转化上起着非常重要的作用^[32]。与前人研究相一致,在本研究中,土壤碱性磷酸酶活性与土壤有效磷含量具有很强的正相关关系($r=0.96$)。对多种类型生态系统研究均表明,施氮能够促进土壤磷酸酶活性增加^[12,27,33-34],然而,本实验中低量施氮对土壤碱性磷酸酶具促进作用,而高氮却有抑制作用,这可能是由于高氮盐的毒害作用^[24]。从表1中可以看出,高氮下土壤电导率显著高于低氮水平。这种高电导可能是由于土壤盐分的累积,从而造成了对土壤磷酸酶的抑制作用。从表中还可以看出,本试验地的土壤N:P值为0.47—0.69,远低于草地(某些草地为5—42)等许多其他生态系统,充分说明该区域为氮素限制而非磷限制。如此低的比值同样说明,在本沙漠,由氮沉降的增加而带来的系统由氮限制转为磷限制的可能性较小。

与土壤元素循环相关的另一类物质为土壤微生物量。土壤微生物量可以作为植物营养物质的源和库^[35]。多数研究结果表明,氮的增加能够降低土壤微生物量^[16,36]。然而,McCrackin等发现氮沉降不会影响荒漠土壤的微生物量^[37],亦有研究表明微生物量可能增加^[15]。造成这些结果不同可能是因为微生物对氮的需求或氮源不同,或者与研究区域土壤其他的一些理化性质有关。微生物量N是土壤氮素循环的重要部分,本研究中,土壤微生物量N随施氮量的增加而增加,可能是由于该区域土壤本身含氮量低,可利用氮增加后,有更多的氮固定在微生物体中,造成土壤微生物量N增加。

3.3 土壤酶活性对氮响应的剂量效应

土壤酶活性对施氮的响应呈现出较强的剂量效应,对于氧化酶,高氮处理才能显著降低其酶活性,而对于水解酶,如蔗糖酶、脲酶、磷酸酶,其活性易受氮沉降的影响。随着施氮量增加,蔗糖酶或碱性磷酸酶的活性在N1或N3处理下达到最大。就这两种酶活性而言,N1和N3之间水平的氮沉降可能存在生态系统的临界氮

沉降值,超出这个范围,土壤酶效应可能由正效应转为负效应。然而,在该荒漠中,这些结果的最终确定还有待长期和大量的试验来验证。临界氮沉降值在其他生态系统中也有相关报道,如在半干旱的温带草原,对土壤微生物量和微生物功能多样性研究表明,模拟氮增加量 $16\text{--}32 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 中存在氮增加临界值^[16]。

3.4 与其它生态系统的响应差异

相对荒漠生态系统,有关森林、草原等其它各生态系统土壤酶如何响应氮沉降的研究报道较多,但是很少有在多个连续施氮浓度下土壤酶活性变化趋势的相关报道。不同的施氮浓度能够造成不同甚至相反的结果。一般来说,对于降水相对较多的森林和草原地区,氮增加能够极大的影响土壤微生物各指标^[11,32],而在水分含量较少的荒漠地区,土壤微生物量等各指标有可能对氮增加响应不敏感^[37]。古尔班通古特沙漠土壤氧化酶对氮的增加不敏感,这与大部分的森林生态系统氮增加能够降低氧化酶活性有所不同^[9,26],如低浓度的增氮(0.5 g N/m^2)能够显著的降低松树林土壤氧化酶的活性^[38]。但是该荒漠生态系统土壤水解酶活性和土壤微生物量氮对氮增加具有较敏感的响应,尤其是表层土壤,受增氮影响更大。这些微生物活性对氮增加的响应未受到沙漠土壤水分较少的限制,与某些冷沙漠的研究结果类似^[39]。这些结果充分说明有关土壤微生物响应氮沉降增加具有多样化的特点,有待更加全面深入的研究。

4 结论

在古尔班通古特沙漠,不同施氮量的氮沉降增加未改变土壤酶活性和土壤微生物量 N 的垂直分布格局,但上层土壤(0—5 cm)对氮沉降增加的响应更为敏感。土壤氧化酶活性在高氮处理时才表现出较强抑制性;随着施氮量的增加,土壤脲酶活性减少而土壤微生物量 N 增加;土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性则呈现先增加后减少的趋势,并且对氮增加表现出一定剂量效应,说明该荒漠生态系统可能存在氮沉降临界值。

致谢:感谢吴楠、张静、魏美丽、程军回、王莎莎、陆海鹰和吴林在试验处理和土壤分析过程中给予的帮助。

References:

- [1] Fan H B, Liu W F, Li Y Y, Liao Y C, Yuan Y H, Xu L. Tree growth and soil nutrients in response to nitrogen deposition in a subtropical Chinese fir plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4630-4642.
- [2] Li D J, Mo J M, Fang Y T, Li Z A. Effects of simulated nitrogen deposition on biomass production and allocation in *Schima superba* and *Cryptocarya concinna* seedlings in subtropical China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(4): 543-549.
- [3] Pregitzer K S, Burton A J, Zak D R, Talhelm A F. Simulated chronic nitrogen deposition increases carbon storage in Northern Temperate forests. *Global Change Biology*, 2008, 14(1): 142-153.
- [4] Clark C M, Tilman D. Loss of plant species after chronic low-level nitrogen deposition to prairie grasslands. *Nature*, 2008, 451(7179): 712-715.
- [5] Compton J E, Watrud L S, Porteous L A, DeGrood S. Response of soil microbial biomass and community composition to chronic nitrogen additions at Harvard forest. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(1): 143-158.
- [6] Mo J M, Zhang W, Zhu W X, Fang Y T, Li D J, Zhao P. Response of soil respiration to simulated N deposition in a disturbed and a rehabilitated tropical forest in southern China. *Plant and Soil*, 2007, 296(1/2): 125-135.
- [7] Zhang L, Huang J H, Bai Y F, Han X G. Effects of nitrogen addition on net nitrogen mineralization in *Leymus chinensis* grassland, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 563-569.
- [8] Wang H, Mo J M, Xue J H, Fang Y T, Li J. Effects of elevated nitrogen deposition on the activities of enzymes in forest litter decomposition: a Review. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2006, 16(6): 539-545, 546-546.
- [9] Waldrop M P, Zak D R, Sinsabaugh R L. Microbial community response to nitrogen deposition in northern forest ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(9): 1443-1451.
- [10] Chen Y, Högberg P. Gross nitrogen mineralization rates still high 14 years after suspension of N input to a N-saturated forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(7): 2001-2003.
- [11] Saiya-Cork K R, Sinsabaugh R L, Zak D R. The effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(9): 1309-1315.
- [12] Wang Q K, Wang S L, Liu Y X. Responses to N and P fertilization in a young *Eucalyptus dunnii* plantation: microbial properties, enzyme activities and dissolved organic matter. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40(3): 484-490.
- [13] Zeglin L H, Stursova M, Sinsabaugh R L, Collins S L. Microbial responses to nitrogen addition in three contrasting grassland ecosystems.

- Oecologia, 2007, 154(2) : 349-359.
- [14] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(5) : 1471-1479.
- [15] Alon A, Steinberger Y. Effect of nitrogen amendments on microbial biomass, above-ground biomass and nematode population in the Negev Desert soil. *Journal of Arid Environments*, 1999, 41(4) : 429-441.
- [16] Zhang N L, Wan S Q, Li L H, Bi J, Zhao M M, Ma K P. Impacts of urea N addition on soil microbial community in a semi-arid temperate steppe in northern China. *Plant and Soil*, 2008, 311(1/2) : 19-28.
- [17] Zak D R, Holmes W E, Tomlinson M J, Pregitzer K S, Burton A J. Microbial cycling of C and N in northern hardwood forests receiving chronic atmospheric NO_3^- deposition. *Ecosystems*, 2006, 9(2) : 242-253.
- [18] Baez S, Fargione J, Moore D I, Collins S L, Gosz J R. Atmospheric nitrogen deposition in the northern Chihuahuan desert: Temporal trends and potential consequences. *Journal of Arid Environments*, 2007, 68(4) : 640-651.
- [19] Institute of Soil Science Chinese Academy of Sciences. Analyses on soil Physicochemical Properties. Shanghai: Shanghai Technology Press, 1983 : 62-136.
- [20] Guan S Y. Soil Enzymes and Its Methodology. Beijing: Agricultural Press, 1986 : 271-340.
- [21] Wu J S, Lin Q M, Huan Q Y, Xiao H A. Soil Microbial Biomass: Methods and Application. Beijing: Meteorologic Press, 2006 : 127-128.
- [22] Nunan N, Mogan M A, Herlihy M. Ultraviolet absorbance (280 nm) of compounds released from soil during chloroform fumigation as an estimate of the microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(12) : 1599-1603.
- [23] Zhang Y M, Yang W K, Wang X Q, Zhang D Y. Influence of cryptogamic soil crusts on accumulation of soil organic matter in Gurbantunggut Desert, northern Xinjiang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12) : 3420-3425.
- [24] Enrique A G, Bruno C, Christopher A, Virgile C, Stéven C. Effects of nitrogen availability on microbial activities, densities and functional diversities involved in the degradation of a Mediterranean evergreen oak litter (*Quercus ilex* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(7) : 1654-1661.
- [25] Frey S D, Knorr M, Parrent J L, Simpson R T. 2004. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(1) : 159-171.
- [26] Gallo M, Amonette R, Lauber C, Sinsabaugh R L, Zak D R. Microbial community structure and oxidative enzyme activity in nitrogen-amended north temperate forest soils. *Microbial Ecology*, 2004, 48(2) : 218-229.
- [27] Stursova M, Crenshaw C L, Sinsabaugh R L. Microbial responses to long-term N deposition in a semiarid grassland. *Microbial Ecology*, 2006, 51(1) : 90-98.
- [28] Wu N, Wang H L, Liang S M, Nie H L, Zhang Y M. Temporal-spatial dynamics of distribution patterns of microorganism relating to biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(S1) : 124-131.
- [29] Zhao Y T, Li X F, Han S J, Hu Y L. Soil enzyme activities under two forest types as affected by different levels of nitrogen deposition. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12) : 2769-2773.
- [30] Harder W, Dijkhuizen L. Physiological responses to nutrient limitation. *Annual Review of Microbiology*, 1983, 37 : 1-23.
- [31] Song X G, Hu T X, Xian J R, Xiao C L. Soil enzyme activities and its response to simulated nitrogen deposition in an evergreen broad-leaved forest, southern Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3) : 1234-1240.
- [32] Johnson D, Leake J R, Read D J. Liming and nitrogen fertilization affects phosphatase activities, microbial biomass and mycorrhizal colonisation in upland grassland. *Plant and Soil*, 2005, 271(1/2) : 157-164.
- [33] Hopkins D W, Sparrow A D, Shillam L L, English L C, Dennis P G, Novis P, Elberling B, Gregorich E G, Greenfield L G. Enzymatic activities and microbial communities in an Antarctic dry valley soil: responses to C and N supplementation. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(9) : 2130-2136.
- [34] Johnson D, Leake J R, Lee J A, Campbell C D. Changes in soil microbial biomass and microbial activities in response to 7 years simulated pollutant nitrogen deposition on a heathland and two grasslands. *Environmental Pollution*, 1998, 103(2/3) : 239-250.
- [35] Garcia F O, Rice C W. Microbial biomass dynamics in tallgrass prairie. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(3) : 816-823.
- [36] Wallenstein M D, McNulty S, Fernandez I J, Boggs J, Schlesinger W H. Nitrogen fertilization decreases forest soil fungal and bacterial biomass in three long-term experiments. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222(1/3) : 459-468.
- [37] McCrackin M L, Harms T K, Grimm N B, Hall S J, Kaye J P. Responses of soil microorganisms to resource availability in urban, desert soils. *Biogeochemistry*, 2008, 87(2) : 143-155.
- [38] Lucas R W, Casper B B, Jackson J K, Balser T C. Soil microbial communities and extracellular enzyme activity in the New Jersey Pinelands. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(10) : 2508-2519.

- [39] Zeglin L H, Sinsabaugh R L, Barrett J E, Gooseff M N, Takacs-Vesbach C D. Landscape distribution of microbial activity in the McMurdo dry valleys: linked biotic processes, hydrology, and geochemistry in a cold desert Ecosystem. *Ecosystems*, 2009, 12(4): 562-573.

参考文献:

- [1] 樊后保, 刘文飞, 李燕燕, 廖迎春, 袁颖红, 徐雷. 亚热带杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 人工林生长与土壤养分对氮沉降的响应. 生态学报, 2007, 27(11): 4630-4642.
- [2] 李德军, 莫江明, 方运霆, 李志安. 模拟氮沉降对南亚热带两种乔木幼苗生物量及其分配的影响. 植物生态学报, 2005, 29(4): 543-549.
- [7] 张璐, 黄建辉, 白永飞, 韩兴国. 氮素添加对内蒙古羊草草原净氮矿化的影响. 植物生态学报, 2009, 33(3): 563-569.
- [8] 王晖, 莫江明, 薛璟花, 方运霆, 李炯. 氮沉降增加对森林凋落物分解酶活性的影响. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(6): 539-545, 546-546.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1983: 62-136.
- [20] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 271-340.
- [21] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 127-128.
- [23] 张元明, 杨维康, 王雪芹, 张道远. 生物结皮影响下的土壤有机质分异特征. 生态学报, 2005, 25(12): 3420-3425.
- [29] 赵玉涛, 李雪峰, 韩士杰, 胡艳玲. 不同氮沉降水平下两种林型的主要土壤酶活性. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2769-2773.
- [31] 宋学贵, 胡庭兴, 鲜骏仁, 肖春莲. 川南天然常绿阔叶林土壤酶活性特征及其对模拟 N 沉降的响应. 生态学报, 2009, 29(3): 1234-1240.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 12 June ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanning, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoxi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Juecong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

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

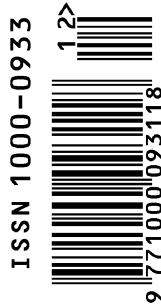
编辑部主任 孔红梅

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 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 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