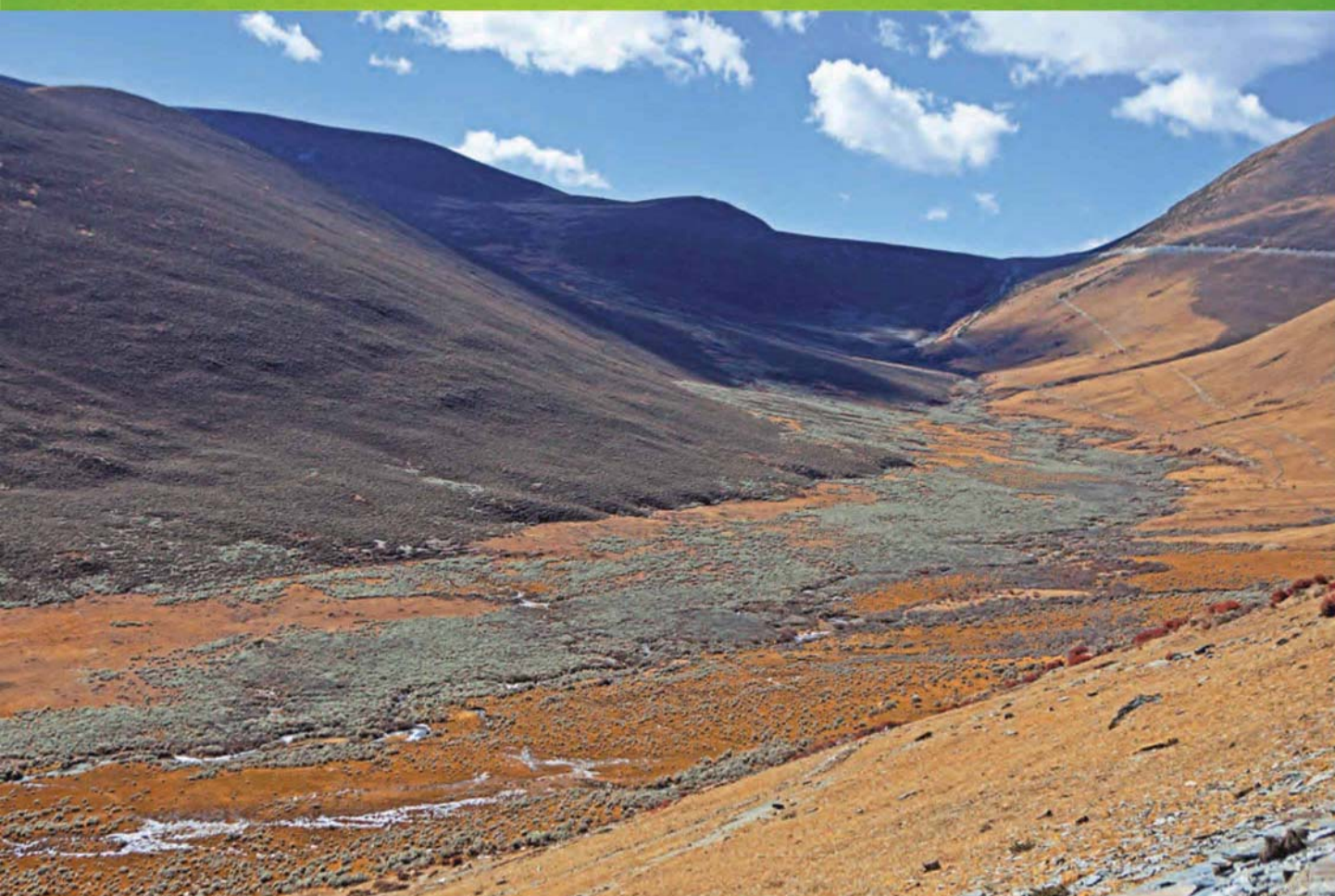


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
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 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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/stxb201304160723

赵彤, 闫浩, 蒋跃利, 黄懿梅, 安韶山. 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5615–5622.

Zhao T, Yan H, Jiang Y L, Huang Y M, An S S. Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5615–5622.

黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响

赵 彤¹, 闫 浩¹, 蒋跃利¹, 黄懿梅^{1,*}, 安韶山^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100)

摘要:选择黄土丘陵区延河流域 4 种典型植被类型下的土壤为研究对象, 测定了土壤微生物量碳、氮、磷和相关基本理化性质。结果表明, 在此流域的典型天然草地、人工灌木林、人工乔木林和农地中土壤微生物量碳 (MBC) 的含量范围分别为 315.15—400.89、246.56—321.25、267.76—347.05 和 118.96—245.14 mg/kg, 土壤微生物量氮 (MBN) 的含量范围分别为 35.87—47.63、27.63—42.89、24.66—36.20 和 15.64—22.56 mg/kg, 土壤微生物量磷 (MBP) 的含量范围分别为 14.14—22.96、12.89—19.75、11.54—14.40 和 7.23—11.59 mg/kg; 土壤微生物量总体呈现出天然草地最高、人工乔、灌木林次之, 且均显著高于农地的趋势, 表明退耕还林还草对土壤微生物量有明显的促进作用。不同植被类型下, 土壤微生物量碳氮比和碳磷比的变化范围分别为 7.49—10.87 和 16.27—24.11, 土壤微生物量碳、氮、磷占土壤有机碳 (SOC)、全氮 (TN)、全磷 (TP) 百分比的范围分别为 2.70%—4.85%、2.56%—4.45%、2.08%—5.34%。其中天然草地、人工灌木林和农地土壤的微生物量碳氮比、碳磷比均显著小于人工乔木林 ($P < 0.05$); MBC/SOC 在不同植被类型下的差异不显著, MBN/TN 和 MBP/TP 均呈现出天然草地 > 人工灌木林 > 人工乔木林和农地的趋势, 且差异显著 ($P < 0.05$)。微生物量碳、氮、磷与土壤有机碳、全氮和土壤含水率呈现极显著或显著相关性, 与土壤 pH 值呈现出不同程度的负相关性, 表明植被类型对这些与土壤微生物量紧密相关的理化性质也有显著影响。

关键词:微生物量碳、氮、磷; 不同植被类型; 黄土丘陵区

Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area

ZHAO Tong¹, YAN Hao¹, JIANG Yueli¹, HUANG Yimei^{1,*}, AN Shaoshan^{1,2}

1 Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Resource and Environment Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, 712100, China

Abstract: The Loess Plateau is an important site for many ecological restoration studies in China. Different vegetation types change the soil environment to different extents, influencing the biogeochemical cycles of materials such as soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus. Determining the relationship between soil physicochemical properties and soil microbial biomass under different vegetation types can provide useful information for vegetation restoration in the Loess Plateau. Soil profiles under four typical vegetation types (natural grassland, artificial shrub land, artificial timber forest and crop land) were collected in the Yanhe River catchment in a hilly area of the Loess Plateau. The Yanhe River catchment (36°23'—37°17' N, 108°45'—110°28' E) is situated in the north of the Shaanxi Province. It belongs to the continental monsoon climate. The basic soil physicochemical properties and microbial biomass carbon (MBC), nitrogen (MBN), and phosphorus (MBP) were measured. The results indicated that the MBC of natural grassland, artificial shrub land, artificial timber forest and crop land ranged from 315.15—400.89, 246.56—321.25, 267.76—347.05 and 118.96—245.14 mg/kg, respectively and the MBN ranged from 35.87—47.63, 27.63—42.89, 24.66—36.20 and 15.64—22.56 mg/kg,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41101254, 41171226); 西北农林科技大学基本科研费 (QN2011020)

收稿日期: 2013-04-16; 修订日期: 2013-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ymhuang1971@nwsuaf.edu

respectively and the MBP ranged from 14.14—22.96, 12.89—19.75, 11.54—14.40 and 7.23—11.59 mg/kg, respectively. Natural grassland showed the highest soil microbial biomass, followed by artificial timber forest, artificial shrub land and crop land, indicating that returning crop land to forests or grassland had a significant promoting impact on the soil microbial biomass. Under the different types of vegetation, the MBC/MBN ranged from 7.49 to 10.87, and the MBC/MBP ranged from 16.27 to 24.11. The ratio of MBC/soil organic C was 2.70%—4.85%, the ratio of MBN/total N was 2.56%—4.45% and the ratio of MBP/total P was 2.08%—5.34%. The MBC/MBN and MBC/MBP of natural grassland, artificial timber forests and crop land were all significantly less than the artificial shrub land ($P < 0.05$), but the MBC/soil organic C showed no significant differences between vegetation types. The MBN/total N and MBP/total P of natural grasslands were significantly more than the artificial shrub land, followed by the artificial timber forest and the crop land ($P < 0.05$). The soil microbial biomass correlated or significantly correlated with soil organic C, total N and soil moisture, but negatively correlated with the soil pH. This showed that the vegetation types had a significant impact on the physical and chemical properties of soil that are closely associated with the soil microbial biomass.

Key Words: soil microbial biomass carbon, nitrogen, phosphorus; different vegetation types; the Loess hilly area

土壤微生物量是指土壤中除活的植物体外体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量,主要包括细菌、真菌、藻类和原动物等。土壤微生物量是土壤活性养分的储存库,作为土壤中物质代谢旺盛强度的指标,可以灵敏地反映环境因子、土地利用模式、农业生产活动和气候条件的变化,被用做评价土壤质量和反映微生物群落状态与功能变化的指标^[1],能够较早地指示生态系统功能的变化^[2]。在植被-土壤系统中,土壤微生物不仅参与养分循环和物质代谢过程,直接影响地球生物化学循环,对植物凋落物降解、养分循环与平衡、土壤理化性质改善起着重要作用^[2-3],还通过改善土壤有机质等非生物因子间接影响植被生长^[4-5]。土壤微生物既受地上植被的影响,又通过其自身性质的改变反作用于植被,与植被形成相互作用的反馈体系^[6-7]。土壤中微生物生物量越高,微生物群落活跃程度越高,一定程度上反应该生态系统具有越强的物质循环能力和促进植被生长发育的能力。

黄土丘陵沟壑区自然植被破坏严重,水土流失、土地退化等成为困扰该区可持续发展和农民脱贫致富的主要问题。目前,有关植被恢复对土壤生态系统影响的研究越来越多,但是大多集中在单一植物群落的影响^[8-10],没有延伸到大区域典型植被类型下土壤微生物生物量的整体变异规律。本文以黄土丘陵区延河流域典型人工乔木林、人工灌木林、农地、天然草地四种植被类型的表层(0—30 cm)土壤为研究对象,探讨不同植被类型与植物对土壤微生物量的影响,旨在从土壤微生物量的角度对当地典型植被类型做出评价,为该地区植被恢复状况提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

延河流域($36^{\circ}23'—37^{\circ}17' \text{ N}$, $108^{\circ}45'—110^{\circ}28' \text{ E}$)位于陕西省北部,地处黄河中游,是黄河中游河口镇-龙门区间的一级支流,由西北向东南,流经志丹、安塞、延安,在延长县南河沟乡凉水岸附近汇入黄河。延河流域全长 286.9 km,总面积 7687 km²,平均坡度 4.3‰,河网密度约 4.7 km/km²。该流域属大陆性季风气候,年均降水量约 500 mm,年均气温约 9 ℃,从东南向西北,气候、温度具有明显的梯度变化特征。土壤类型主要是黄土母质上发育的黄绵土,主要植被类型为人工乔木林(主要植物有刺槐、辽东栎、侧柏、油松)、人工灌木林(主要植物有柠条、沙棘、荆条)、天然草地(主要植物有铁杆蒿、芦苇、长芒草、百里香、达乌里胡枝子等)和农地(主要以玉米、黄豆、土豆为主)。研究区农地施肥大致分为以复混肥为基肥,尿素等氮肥作追肥和以单质氮磷钾肥作基肥,尿素等氮肥作追肥两种方式。有机肥施用量基本维持在 283—358 kg/hm²;化肥施用量维持在 130—160 kg/hm²,其中氮(N)肥为 100—130 kg/hm²,磷肥(P_2O_5)为 4—10 kg/hm²,钾(K_2O)肥不施用或施用量很小。该区域氮肥偏施、表施、撒施现象明显,导致氮素挥发和损失严重,同时普遍施磷肥不配施有机肥,且很少分层或集中施用,导致磷肥当季利用率低。

1.2 研究方法

1.2.1 土样采集

于 2011 年 8 月在研究区域内,选择流域内分布在不同部位的 14 种典型植物群落分别代表 4 种不同的植被类型。其中刺槐、辽东栎、油松和侧柏代表人工乔木林(简化为 AF);沙棘、荆条和柠条灌丛代表人工灌木林(简化为 AS);白羊草、铁杆蒿、芨芨和百里香草地代表天然草地(简化为 NG);土豆、黄豆和玉米代表农地(简化为 CL)。各样地具体情况如表 1 所示。其中,人工乔木林、人工灌木林样地面积约为 4000 m²,农地和天然草地样地面积约为 1000 m²。各样地内设置 3 个样方作为重复,各剖面均按 0—10 cm, 10—30 cm“S”形采集 5 个样混合为一个综合土样。

1.2.2 分析方法

土壤样品带回室内后分成两份,1 份鲜样除去其中可见植物残体及土壤动物,过 2 mm 筛,混匀。调节土壤含水量至饱和持

水量的 60%后将其置于广口瓶内,用保鲜膜封口,25 ℃下培养 7—15d,之后进行微生物量碳、氮、磷的测定。另 1 份土样风干、过筛后按常规方法测定土壤全氮、全磷、有机碳等^[11]。

表 1 样地概况
Table 1 Status of the sampling sites

植被类型 Vegetation type		坡向 Aspect / (°)	坡度 Gradient / (°)	经纬度 Longitude/latitude	海拔 Elevation /m	退耕时间 Restoration years
人工乔木林 Artificial timber forest	刺槐	东偏北 35	27	108°52.184'E,36°56.812'N	1403	1977
	辽东栎	东偏北 30	18	109°16.580'E,36°29.118'N	1387	1980
	侧柏	东偏北 35	14	109°16.607'E,36°29.288'N	1367	1978
	油松	东偏北 27	23	109°19.906'E,36°51.357'N	1376	1978
人工灌木林 Artificial shrub land	沙棘	西偏南 20	24	108°59.980'E,37°11.366'N	1485	1974
	沙棘	西偏南 35	18	109°13.163'E,36°59.976'N	1303	1974
	柠条	西偏北 28	17	109°13.142'E,36°59.144'N	1305	1974
	荆条	西偏南 32	22	109°35.630'E,36°49.245'N	1362	1976
天然草地 Natural grassland	白羊草,铁杆蒿	东偏北 30	8	108°59.904'E,37°11.279'N	1358	
	铁杆蒿,长芒草	东偏北 28	6	108°52.210'E,36°56.395'N	1337	
	芡蒿,铁杆蒿	东偏北 41	12	108°59.927'E,37°11.337'N	1439	
	百里香、赖草	东偏北 23	10	108°50.061'E,37°13.413'N	1386	
农地 Crop land	土豆	北偏东 15	7	108°51.747'E,36°56.519'N	1249	
	土豆	北偏东 10	4	109°13.159'E,36°59.702'N	1179	
	玉米	北偏东 15	3	109°31.104'E,36°26.774'N	1231	
	黄豆	北偏东 13	6	109°00.836'E,36°40.074'N	1161	

微生物量采用氯仿熏蒸-浸提法,微生物量碳(MBC)和氮(MBN)用硫酸钾浸提,浸提液中有有机碳用全自动有机碳分析仪(Tekmar-Dohr-mann Apollo 9000 TOC Combustion Analyzer)测定,浸提液中全氮用凯氏法消煮-全自动定氮仪测定,土壤微生物生物量磷(MBP)用碳酸钠浸提-钼锑抗比色法测定^[11-13]。

1.2.3 数据处理

数据经过 Excel 2010 整理和作图后,采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。其中,不同植被类型间数据组的差异采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)进行分析比较,各因子间的相关关系采用 Pearson 相关系数法进行评价,所有数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型下土壤理化性质的变化

如表 2 所示,不同植被类型土壤有机碳、全氮、全磷和土壤含水率均随土壤深度增加而减小;土壤容重和 pH 随土壤深度增加而增大。土壤有机碳和全氮均表现为:人工乔木林>人工灌木林>天然草地>农地,其中人工乔木林显著高于人工灌木林和天

表 2 不同植被类型下土壤的理化性质

Table 2 Soil physiochemical characters of different vegetation types (mean±SE)

植被类型 Vegetation type	土层 Soil depth /cm	土壤容重 Bulk density /(g/m ³)	土壤 pH Soil pH	土壤含水率 Soil moisture /%	有机碳 Organic C /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)
人工乔木林 Artificial timber forest	0—10	1.11±0.10a	7.97±0.12a	9.25±0.43c	10.16±1.26a	1.21±0.17a	0.71±0.10a
	10—30	1.10±0.11a	8.12±0.16a	7.03±0.29c	7.69±0.92a	0.93±0.08a	0.40±0.07a
人工灌木林 Artificial shrub land	0—10	1.06±0.10a	7.76±0.07a	10.16±1.21c	8.54±1.18b	1.17±0.24a	0.50±0.11b
	10—30	1.19±0.08a	8.03±0.10a	7.73±0.79c	7.36±0.79a	0.84±0.13a	0.28±0.13b
天然草地 Natural grassland	0—10	1.19±0.07a	7.84±0.10a	14.84±0.56b	8.26±1.03b	1.07±0.13ab	0.43±0.22b
	10—30	1.25±0.3a	8.02±0.13a	13.56±0.86b	7.12±0.62a	0.85±0.16a	0.28±0.07b
农地 Crop land	0—10	1.12±0.04a	8.11±0.17a	17.95±0.35a	5.41±0.57c	0.87±0.17b	0.44±0.13b
	10—30	1.23±0.09a	8.34±0.15a	15.54±1.13a	3.86±0.35b	0.61±0.12b	0.30±0.08b

同列不同小写字母代表相同土层不同植被类型间的差异显著(P < 0. 05)

然草地,人工灌木林和天然草地显著高于农地,人工灌木林和天然草地间差异不显著;全磷含量在人工乔木林中最高,并显著高于其他植被类型,而人工灌木林、天然草地和农地间全磷含量未呈现出显著性差异;土壤含水率表现为农地>天然草地>人工灌木林>人工乔木林,且呈现出显著性差异($P < 0.05$);4种植被类型间的土壤容重和 pH 均无显著差异。由此可见,不同植被类型对土壤容重和 pH 的影响不明显,而人工乔木林和灌木林在保持和改善土壤养分方面是要优于农地的。

2.2 不同植被类型下土壤微生物量碳、氮、磷的变化

由图 1 可以看出,不同植被类型表层和表下层土壤微生物量碳、氮含量从农地(CL)、人工乔木林(AF)、人工灌木林(AS)到天然草地(NG)呈明显的递增趋势。表层和表下层天然草地土壤微生物量碳含量达到 400.89 mg/kg 和 315.15 mg/kg,分别是表层和表下层农地土壤的 1.64 和 2.64 倍;表层和表下层天然草地土壤微生物量氮含量达到 47.63 mg/kg 和 35.87 mg/kg,分别是表层和表下层农地土壤的 2.11 和 2.30 倍。方差分析表明,人工乔、灌木林和天然草地的表层和下层土壤之间微生物量碳、氮含量没有显著性差异,却均显著高于农地土壤($P < 0.05$)。

同时,表层土壤微生物量磷含量也均有;天然草地>人工灌木林>人工乔木林>农地,表层天然草地土壤微生物量磷含量达到了 22.96 mg/kg,是表层农地土壤的 1.69 倍,这与土壤微生物量碳、氮的变化规律相似。方差分析表明,表层土壤中,天然草地和人工灌木林的土壤微生物量磷显著高于人工乔木林和农地($P < 0.05$),而天然草地和人工灌木林及人工乔木林和农地之间差异未达到显著水平;表下层天然草地和人工乔、灌木林土壤微生物量磷含量没有显著性差异,却均显著高于农地土壤。

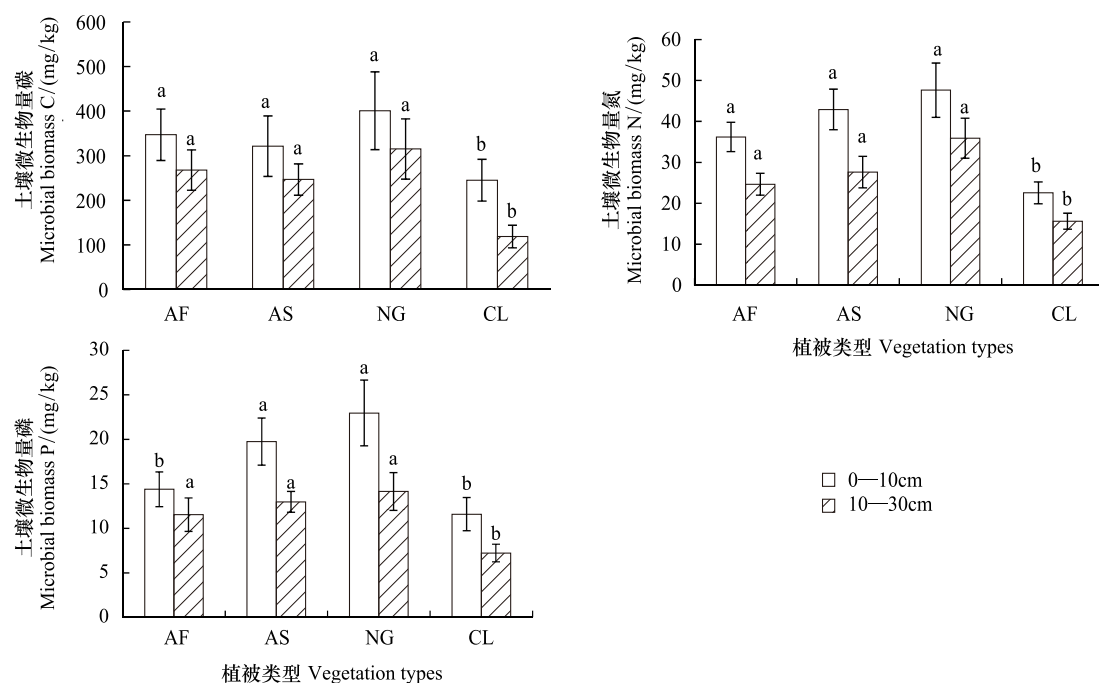


图 1 不同植被类型下土壤微生物量碳、氮、磷

Fig.1 The microbial biomass carbon, nitrogen, phosphorus under different vegetation types

AF: 人工乔木林 Artificial timber forest; AS: 人工灌木林 Artificial shrub land; NG: 天然草地 Natural grassland; CL: 农地 Crop land.不同小写字母代表相同土层不同植被类型间的差异显著($P < 0.05$)

2.3 不同植被类型下土壤微生物量碳、氮、磷比值的变化

由表 3 可以看出,在 4 种植被类型中,MBC/MBN 大体在 7—11 间变化,MBC/MBP 在 16—24 间变化,MBC/SOC 在 2%—5% 间变化,MBN/TN 在 2%—5% 间变化,MBP/TP 在 2%—6% 间变化。表层和表下层人工乔木林土壤 MBC/MBN 显著高于其他 3 种植被类型,人工灌木林、天然草地和农地间 MBC/MBN 无显著性差异。表层土壤 MBC/MBP 有:人工乔木林(24.11)显著高于其他 3 种植被类型,而人工灌木林(16.27)、天然草地(17.46)和农地(17.15)间没有显著差异;表下层土壤 MBC/MBP 表现为人工乔木林(23.21)和天然草地(22.29)>人工灌木林(19.00)>农地(16.45),且差异显著($P < 0.05$)。土壤 MBC/SOC 在不同植被类型下均未呈现出显著性差异,而土壤 MBN/TN 和 MBP/TP 均呈现出天然草地>人工灌木林>人工乔木林和农地的趋势,其中人工乔木林和农地间差异不显著。

表 3 不同植被类型土壤微生物量比值的变化

Table 3 The ratio change of the soil microbial biomass under different vegetation types (mean±SE)

植被类型 Vegetation type	土层 Soil depth/cm	微生物量碳氮比 MBC/MBN	微生物量 碳磷比 MBC/MBP	微生物量碳/ 有机碳 MBC/SOC/%	微生物量氮/ 全氮 MBN/TN/%	微生物量磷/ 全磷 MBP/TP/%
人工乔木林	0—10	9.59±1.05a	24.11±2.37a	3.71±0.26a	2.99±0.63b	2.45±0.55c
Artificial timber forest	10—30	10.86±0.98a	23.21±2.14a	2.70±0.31b	2.65±0.76b	3.38±0.73b
人工灌木林	0—10	7.49±2.67b	16.27±1.35b	3.76±0.45a	3.67±0.39ab	3.95±1.38b
Artificial shrub land	10—30	8.92±3.35b	19.00±2.46b	3.54±0.33b	3.29±0.29ab	4.99±1.71a
天然草地	0—10	8.41±3.15b	17.46±1.26b	4.85±0.63a	4.45±0.34a	5.34±2.05a
Natural grassland	10—30	8.78±2.96b	22.29±2.18a	4.42±1.21a	4.22±0.41a	5.05±1.75a
农地	0—10	8.37±1.42b	17.15±2.61b	4.53±0.93a	2.60±1.61b	2.41±1.13c
Crop land	10—30	7.61±0.55b	16.45±1.93c	3.08±0.37b	2.56±1.27b	2.08±0.95c

MBC: 微生物生物量碳 Microbial biomass carbon; MBN: 微生物生物量氮 Microbial biomass nitrogen; MBP: 微生物生物量磷 Microbial biomass phosphorus; SOC: 有机碳 Soil organic carbon; TN: 全氮 Total nitrogen; TP: 全磷 Total phosphorus. 同列不同小写字母代表相同土层不同植被类型间的差异显著 ($P < 0.05$)

2.4 土壤微生物量碳、氮、磷与土壤理化性质的关系

如表 4 所示,土壤微生物量碳与微生物量氮、微生物量磷、有机碳和土壤含水率极显著正相关,与全氮显著正相关;微生物量氮与全氮和土壤含水率极显著正相关,与有机碳显著正相关;微生物量磷与有机碳、全氮和土壤含水率极显著正相关。土壤微生物生物量碳、氮、磷均与 pH 值呈现出不同程度的负相关,与全磷和土壤容重未达到显著相关。这表明,在植被恢复过程中,土壤微生物生物量与土壤有机碳、全氮、土壤含水率和 pH 值联系紧密。

表 4 不同植被类型下土壤微生物量与土壤理化性质的相关性分析

Table 4 Correlation analysis among soil microbial biomass carbon, nitrogen, phosphorus and soil physiochemical properties of different vegetation types

相关系数 Correlative coefficients	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN	微生物量磷 MBP	有机碳 SOC	全氮 TN	全磷 TP	土壤容重 Bulk density	土壤 pH Soil pH	土壤含水率 Soil moisture
微生物量碳 MBC	1	0.915 **	0.624 **	0.880 **	0.60 *	0.372	0.126	-0.526 *	0.879 **
微生物量氮 MBN		1	0.315	0.563 *	0.78 **	0.503	0.021	-0.684 **	0.759 **
微生物量磷 MBP			1	0.731 **	0.624 **	0.423	0.263	-0.081	0.872 **
有机碳 SOC				1	0.793 **	0.146	0.155	0.107	0.801 **
全氮 TN					1	0.269	0.092	0.327	0.657 *
全磷 TP						1	0.148	0.194	0.414
土壤容重 Bulk density							1	0.084	-0.567 *
土壤 pH Soil pH								1	0.076
土壤含水率 Soil moisture									1

* 表示存在显著相关 ($P < 0.05$), ** 表示存在极显著相关 ($P < 0.01$); MBC: 微生物生物量碳 Microbial biomass carbon; MBN: 微生物生物量氮 Microbial biomass nitrogen; MBP: 微生物生物量磷 Microbial biomass phosphorus; SOC: 有机碳 Soil organic carbon; TN: 全氮 Total nitrogen; TP: 全磷 Total phosphorus

3 讨论

土壤微生物生物量只占土壤有机质的 3% 左右,却是植物养分转化和循环的驱动力,在土壤肥力和生态系统评价中起着重要作用。研究土壤微生物生物量对了解土壤肥力、土壤养分的转化和循环以及环境变化具有重要意义^[14]。

3.1 植被类型对土壤微生物量碳、氮、磷及其比值的影响

植被恢复对土壤微生物的积极影响主要来自生物量(如凋落物、根系分泌物等)增加导致的能源输入增加,根据每年向土壤微生物提供的能源多少,微生物生物量的顺序一般为:草地>林地>耕地^[15],本研究中天然草地的土壤微生物量最高,人工乔、灌木林次之,农地最低,与一般规律一致。农地的土壤微生物量最低,一方面是因为农地长期向外输出生物量而补充不足,导致土壤微生物能源的缺乏;另一方面是因为土壤微生物的数量和活跃程度与土壤中有有机碳的来源紧密相关^[15],农地土壤有机碳含量偏低,不利于土壤微生物的生长繁殖,其土壤微生物的储量和活性均很低。种植人工乔木林和灌木林可改善土壤生物量的输入和养分状况,土壤微生物数量和活性均能恢复到接近天然草地的水平。有学者认为影响土壤微生物磷含量的因素较多,其

中施肥是主要影响因素,一般情况下施肥后都能增加土壤微生物量磷含量^[16]。然而在本次研究中农地土壤微生物量磷为各植被类型中最低,这可能是由于当地磷肥施加方式不当,造成磷肥利用率偏低,土壤微生物量磷改善不明显。同时,土壤磷素含量受成土母质影响较大,有关微生物体磷的代谢速率、途径和来源还有待进一步的研究。在本研究中,不同植被类型下土壤微生物量碳、氮、磷含量均表现为表层大于表下层土壤,其变化趋势基本和土壤养分的变化趋势相同。这是因为表层土壤水热和通气状况较好,再加上细根和凋落物的快速周转,有利于微生物的生长和繁殖,进而对土壤中多种养分的生物有效性产生积极的影响,因而土壤微生物量碳、氮、磷的值都比较大。而随着土层的加深微生物生境条件变差,影响微生物生物量的分布,其土壤微生物量就明显的低于上层^[17]。

本研究中,土壤 MBC/MBN 的范围为 7.49—10.87,略高于李香珍等^[18]报道的 5—9;土壤 MBC/MBP 的范围为 16.27—24.11,略低于薛蕊等^[10]报道的 20—32。黄昌勇等研究认为微生物量碳氮比可以反映土壤微生物种类和区系^[19],一般情况下,细菌碳氮比在 5:1 左右,放线菌在 6:1 左右,真菌在 10:1 左右^[20-21]。本研究发现人工乔木林土壤微生物量碳氮比最高,在 9—11 间,天然草地、人工灌木林和农地较低,在 7—9 间,说明人工乔木林地真菌含量相对丰富。已有研究表明土壤微生物量碳氮比、碳磷比与土壤有机质质量相关,土壤中有效氮、有效磷越丰富则土壤微生物量碳氮比、碳磷比值越低^[22],这与本实验的结果不完全相同,研究区天然草地、人工灌木林和农地土壤的微生物量碳氮比、碳磷比值较低,且显著小于人工乔木林,其中农地由于受人为因素影响较多,虽然土壤有机碳、全氮和全磷含量较低,但是土壤有效氮、磷却能维持在较高的水平。而土壤有机质质量较好的人工乔木林土壤却表现出较高的碳氮比和碳磷比,可能与人工乔木林特异的土壤微生物群落结构和状态有关。

3.2 植被类型对土壤微生物量与理化性质关系的影响

研究表明,土壤微生物量与土壤养分的比值可以用来反映土壤养分向微生物量的转化效率、土壤养分损失和土壤矿物对有机质的固定,并且其在标记土壤过程或土壤健康变化时要比单独使用微生物量或土壤养分的值更有效^[23-24]。本研究中,土壤微生物量碳、氮、磷占土壤有机碳、全氮、全磷百分比的范围分别为 2.70%—4.85%、2.56%—4.45%、2.08%—5.34%,与前人的研究结果 1.0%—5.3%、2.0%—7.8%、2.6%—5.9%相符^[25-27]。其中,MBC/SOC 在不同植被类型的差异不显著,相对比较稳定。张于光等^[28]指出 MBC/SOC 受土地利用方式改变的影响比 MBC 小,表现更稳定。但 Sagar 等^[29]发现,MBC/SOC 对耕作措施的响应比 MBC 灵敏。因此,MBC/SOC 作为土壤肥力变化的评价指标还有待进一步研究。本文中 MBN/TN 和 MBP/TP 呈现出天然草地>人工灌木林>人工乔木林和农地的趋势,这可能与不同植被类型输入有机物质的数量和质量不同有关,造成不同微生物种类和数量差异,导致恢复过程中土壤生物学质量差异^[30]。同时,土壤中氮磷的积累和消耗程度取决于土壤有机质的积累和分解^[13]。天然草地和林地相比,输入土壤有机物质的数量和质量及周期要优于林地,土壤微生物活性及微生物量高,促进了土壤有机质的分解和转化,因此 MBN/TN 和 MBP/TP 相对较高。而农地相较于其他植被类型而言,土壤微生物量含量偏低,土壤全氮、全磷含量在人工干扰下,却维持在较高水平,从而 MBN/TN 和 MBP/TP 偏低。

本研究发现土壤微生物生物量碳、氮含量均与土壤有机碳和全氮之间具有极显著或显著相关性,与贾伟等人的研究结果基本一致^[31],表明土壤微生物生物量碳、氮可以作为判断土壤肥力状况的生物学指标,同时也可为提高土壤肥力水平和土壤培肥效果提供依据。4 种植被类型的土壤微生物量氮、磷与土壤微生物量碳含量呈极显著正相关关系,与已有研究结果一致,因为土壤微生物对氮素、磷素的固持作用主要取决于土壤微生物本身的生物量大小^[27,32]。4 种植被类型的土壤的微生物生物量碳、氮含量与全磷无显著相关性,与彭佩钦等人的研究结果一致,似乎不能反映土壤磷水平^[33]。本文研究还发现,4 种植被类型土壤微生物量碳、氮、磷均与土壤含水率呈极显著的正相关,与 pH 值呈不同程度的负相关,说明土壤水分条件好有利于微生物的生长和分解作用,而土壤 pH 值的升高不利于土壤微生物的生长繁殖^[34]。

4 结论

不同植被类型对土壤微生物生物量及其比值有较大的影响。在该研究区中,天然草地的微生物量最高、人工乔、灌木林次之,农地最低。说明在该研究区域中进行退耕还林还草对土壤微生物资源的恢复具有积极意义,而土地的耕种不利于土壤微生物量的累积。

不同植被类型下,土壤微生物量碳与土壤有机碳的比值差异不显著,土壤微生物量氮、磷与土壤全氮、全磷的比值差异显著;土壤微生物量碳、氮、磷与土壤有机碳、全氮和土壤含水率呈现极显著或显著相关性,与土壤 pH 值呈现出不同程度的负相关性,表明植被类型对这些与土壤微生物量紧密相关的理化性质也有显著影响。

References:

- [1] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(2): 159-164.
- [2] He Z L, Yang X E, Baligar V C, Calvert D V. Microbiological and biochemical indexing systems for assessing quality of acid soils. *Advances in Agronomy*, 2003, 78: 89-138.
- [3] Sun B, Zhao Q G, Zhang T L, Yu S. Soil quality and continuing environment Ⅲ. Biological index of soil quality assessment. *Soils*, 1997, 29

- (5): 225-234.
- [4] Ladd J N, Amato M, van Veen H A. Soil microbial biomass: its assay and role in turnover of organic matter C and N. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36(9): 1369-1372.
- [5] Jia G M, Wang G, Chen F Q. The dynamics of biological properties of soil during secondary forest succession in Ziwoiling, Northwest China. *Ecology and Environment*, 2007, 16(5): 1466-1469.
- [6] Sinha S, Mastro R E, Ram L C, Selvi V A, Srivastava N K, Tripathi R C, George J. Rhizosphere soil microbial index of tree species in a coal mining ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(9): 1824-1832.
- [7] Blouin M, Zuilvy-Fodil Y, Pham-Thi A T, Laffray D, Reversat G, Pando A, Tondoh J, Lavelle P. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecology Letters*, 2005, 8(2): 202-208.
- [8] An S S, Huang Y M, Zheng F L. The changes of soil quality as affected by different land use in plant communities of Southern Ningxia loess hilly region. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(2): 300-307.
- [9] Hu C J, Fu B J, Jin T T, Liu G H. Effects of vegetation restoration on soil microbial biomass carbon and nitrogen in hilly areas of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1): 45-50.
- [10] Xue S, Liu G B, Dai Q H, Dang X H, Zhou P. Effect of different vegetation restoration models on soil microbial biomass in eroded Hilly Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 20-27.
- [11] Lu R K. *Analytical Methods of Soil Agrochemistry*. Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 2000: 176-179.
- [12] Page A L. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982.
- [13] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 1984, 16(2): 169-175.
- [14] Kandeler E, Tschirko D, Spiegel H. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralisation and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 28(4): 343-351.
- [15] He Z L. Soil microbial biomass and its value in nutrient cycling and environment quality assessment. *Soils*, 1997, 29(2): 61-69.
- [16] Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N, and P after sixteen years of cropping. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 89-96.
- [17] Zhang C E, Chen X L, Zheng F L. Study on relationship between soil microbial biomass and fertility in different environments of Ziwoiling forest area. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 218-222.
- [18] Li X Z, Qu Q H. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in Mongolian grassland. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 97-104.
- [19] Huang C Y. *Soil Science*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000: 50-64.
- [20] Chen G C, He Z L. Study on microbial biomass of red soil by different utilizations. *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29(6): 276-278.
- [21] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(13): 1627-1637.
- [22] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? *Biogeochemistry*, 2007, 85(3): 235-252.
- [23] Carter M R, White R P. Determination of variability in soil physical properties and microbial biomass under continuous direct-planted corn. *Canadian Journal of Soil Science*, 1986, 66(4): 747-750.
- [24] Sparling G P, Pankhurst C, Doube B M, Gupta V V S R. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health // *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, 1997: 97-119.
- [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(6): 703-707.
- [26] Devi N B, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, Northeast India. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31(3): 220-227.
- [27] Speir T W, Cowling J C, Sparling G P, West A W, Corderoy D M. Effects of microwave radiation on the microbial biomass, phosphatase activity and levels of extractable N and P in a low fertility soil under pasture. *Soil Biology and Biochemistry*, 1986, 18(4): 377-382.
- [28] Zhang Y G, Zhang X Q, Xiao Y. Effects of land use change on soil organic carbon and microbial biomass carbon in Miyaluo forest area.. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2029-2033.
- [29] Saggiar S, Yeates G W, Shepherd T G. Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. *Soil and Tillage Research*, 2001, 58(1/2): 55-68.
- [30] Jiang P K, Zhou G M. Changes in soil microbial biomass carbon and nitrogen under eroded red soil by vegetation recovery. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(1): 112-114, 127.
- [31] Jia W, Zhou H P, Xie W Y, Guan C L, Gao C H, Shi Y Q. Effects of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure on microbial biomass C, N and enzyme activity in cinnamon soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4): 700-705.
- [32] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil V: a method for measuring soil biomass. *Soil Biology and*

Biochemistry, 1976, 8(3): 209-213.

- [33] Peng P Q, Wu J S, Huang D Y, Wang H L, Tang G Y, Huang W S, Zhu Q H. Microbial biomass C, N, P of farmland soils in different land uses and cropping systems in Dongting Lake region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, (7): 2261-2267.
- [34] Kemmitt S J, Wright D, Goulding K W T, Jones D L. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(5): 898-911.

参考文献:

- [3] 孙波, 赵其国, 张桃林, 俞慎. 土壤质量与持续环境——Ⅲ. 土壤质量评价的生物学指标. *土壤*, 1997, 29(5): 225-234.
- [5] 贾国梅, 王刚, 陈芳清. 子午岭植被演替过程中土壤生物学特性的动态. *生态环境*, 2007, 16(5): 1466-1469.
- [8] 安韶山, 黄懿梅, 郑粉莉. 宁夏黄土区不同植物群落土地利用方式对土壤质量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(2): 300-307.
- [9] 胡婵娟, 傅伯杰, 靳甜甜, 刘国华. 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物生物量碳和氮的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 45-50.
- [10] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 党小虎, 周萍. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 20-27.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 176-179.
- [15] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义. *土壤*, 1997, 29(2): 61-69.
- [16] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. *土壤学报*, 2002, 39(1): 89-96.
- [17] 张成娥, 陈小莉, 郑粉莉. 子午岭林区不同环境土壤微生物生物量与肥力关系研究. *生态学报*, 1998, 18(2): 218-222.
- [18] 李香真, 曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征. *土壤学报*, 2002, 39(1): 97-104.
- [19] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 50-64.
- [20] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下的微生物量研究. *土壤通报*, 1998, 29(6): 276-278.
- [28] 张于光, 张小全, 肖烨. 米亚罗林区土地利用变化对土壤有机碳和微生物量碳的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2029-2033.
- [30] 姜培坤, 周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物量碳、氮的演变. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 112-114, 127.
- [31] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 关春林, 郜春花, 石彦琴. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 700-705.
- [33] 彭佩钦, 吴金水, 黄道友, 汪汉林, 唐国勇, 黄伟生, 朱奇宏. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响. *生态学报*, 2006, 26(7): 2261-2267.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《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,探索生态学奥秘,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 陈利顶

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 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 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