

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

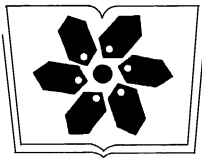
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **2012**

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 32 卷 第 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶 冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李 毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈 峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵 琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪 青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

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

DOI: 10.5846/stxb201011261684

郭甜,何丙辉,蒋先军,马云,吴咏,向明辉,谌芸,唐春霞. 新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用. 生态学报, 2012, 32(1): 0190-0197.
Guo T, He B H, Jiang X J, Ma Y, Wu Y, Xiang M H, Chen Y, Tang C X. Effect of *Leucaena leucocephala* on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0190-0197.

新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用

郭 甜^{1,2}, 何丙辉^{1,2,*}, 蒋先军¹, 马 云¹, 吴 咏³, 向明辉⁴, 谌 芸¹, 唐春霞¹

(1. 西南大学资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100;

3. 遂宁市安居区水土保持办公室, 遂宁 629006; 4. 遂宁水土保持试验站, 遂宁 629006)

摘要: 土壤有机碳的固持对保持土壤肥力以及缓解全球温室效应具有重要意义。通过田间定位试验, 探讨了新银合欢 (*Leucaena leucocephala*) 篱对 10° 和 15° 的紫色土农耕地 (玉米地) 和经济林地 (油桃地) 表层 (0—20 cm) 土壤有机碳积累的影响。结果表明: 种植 3a 的新银合欢篱的 10° 和 15° 农耕地、10° 经济林地土壤有机碳密度分别比相应的无植物篱的对照地提高 41.53%、43.29%、32.15%。经济林处理土壤有机碳含量、有机碳密度、呼吸强度显著大于农耕地处理; 10° 比 15° 农耕地更有利于土壤有机碳、呼吸速率及微生物量碳提高; 农耕地比经济林地更利于微生物生物量维持。各处理下坡比上坡更利于土壤有机碳蓄积, 且土壤呼吸强度提高, 但土壤微生物商基本相同。不同处理下, 土壤有机碳与土壤理化性质相关性各不相同: 定植新银合欢篱的 10° 和 15° 农耕地、10° 经济林地土壤有机碳与有机质含量、土壤微生物碳有极显著的相关性, 与全钾呈正相关, 与 pH 负相关; 定植新银合欢篱的 10° 和 15° 农耕地呼吸强度与有机碳相关关系均达到了极显著性, 10° 经济林地呼吸强度与有机碳显著相关; 土壤微生物指标变化与有机碳的变化趋势一致, 能反映土壤质量变化。阐明定植新银合欢篱利于土壤有机碳固持, 且能增强土壤微生物活性, 提高土壤质量。

关键词: 新银合欢 (*Leucaena leucocephala*); 植物篱; 土壤有机碳; 微生物商; 呼吸强度; 代谢商; 土壤质量

Effect of *Leucaena leucocephala* on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area

GUO Tian^{1,2}, HE Binghui^{1,2,*}, JIANG Xianjun¹, MA Yun¹, WU Yong³, XIANG Minghui⁴, CHEN Yun¹, TANG Chunxia¹

1 College of Resources and Environment, Southwest University Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling 712100, China

3 Soil and Water Conservation Office of Anju District of Suining City, Suining 629006, China

4 Soil and Water Conservation Experimental Station in Suining, Suining 629006, China

Abstract: Hedgerow has been widely used to reduce soil erosion. However, little information is available concerning the effect of hedgerow on soil organic carbon sequestration for various land utilization patterns in purple soil. Long-term field experiment was carried out to study the effects of *Leucaena leucocephala* hedgerows on soil organic carbon sequestration. Surface soil samples (0—20 cm) were collected from six south-facing standard runoff plots, with reddish-brown purple soil, were selected from Soil and Water Conservation Experiment Station of in Anju District, Suining City, Sichuan

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40971166); 国家科技支撑计划重点项目 (2009ZX07104-002-06, 2011BAD31B03); 重庆市重大科技专项资助 (CSTC2009AB1115); 西南大学生态学重点学科“211 工程”三期建设项目; 西南大学研究生创新基金项目 (ky2009020) 资助; 农业部公益性行业科研项目 (201003014-6-3)

收稿日期: 2010-11-26; 修订日期: 2011-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hebinghui@swu.edu.cn

Province, China for experiment. Hedgerows (*Leucaena leucocephala*) were planted on contour in plot II、IV、V, and plot I、III、VI without hedgerows were selected as the control group. Plots I and II were 10° cropland, plots III and IV were 10° economic forest, and plots V and VI were 15° cropland. The crop planting model of cropland was spring-wheat and spring-corn continuous cropping, and economic forest land was nectarine colonization. *Leucaena leucocephala* hedgerows has been established since 2006. Soil organic carbon (SOC), respiration rate, soil microbial biomass carbon (SMBC), and soil nutrient were measured. Results showed that soil organic carbon density of 10° cropland cropland (2.85 kg/m^2), 15° cropland (2.37 kg/m^2) and 10° economic forest land (3.27 kg/m^2) with hedgerows planting for three years were 41.5%、43.3%、32.2% higher than those of control ($2.01, 1.79, 2.28 \text{ kg/m}^2$) respectively. Meanwhile, soil organic carbon content, organic carbon density and respiration rate in 10° economic forest land were more greater than that of 10° cropland. Moreover, 10° cropland increased SOC content, respiration rate and SMBC than those of 15° cropland significantly; Results indicated that cropland was more efficient for conservation of SMBC than economic forest land. In addition, SOC and respiration rate on downhill were significantly higher than those of uphill for the same treatment. However, neither slope position nor land utilization patterns had significant effect on microbial quotient, which may imply that effects of cropland and economic forest on the soil conversation and did not differ significantly. The correlation between SOC and soil physicochemical properties varied with different treatments. Significant positive correlations were found between SOC and SMBC for 10° cropland, 15° cropland and 10° economic forest land, while SOC and SMBC were negatively correlated with pH. In addition, significant positive correlations were also observed between respiration rate and SOC for 10° cropland, 15° cropland with hedgerows, while significant correlation between the respiration intensity and soil organic carbon of 10° economic forest land with hedgerows. The variation of soil microbial parameters accorded with that of SOC, which may reflect a change of soil quality. The results indicated that *Leucaena leucocephala* hedgerows was beneficial to soil organic carbon sequestration, microbial activity enhancement and improving soil quality.

Key Words: *Leucaena leucocephala*; hedgerows; soil organic carbon; microbial quotient; respiration rate; metabolic quotient; soil quality

土壤有机碳是土壤质量评价和土地可持续利用管理中必须考虑的重要指标^[1], 正确认识土壤中有有机碳的迁移和变化规律, 不仅是土地资源可持续利用的重要基础, 而且对土壤碳循环与全球气候变化的相互作用研究 also 具有重要意义^[2-5]。土壤有机碳密度是指单位面积一定深度的土层中土壤有机碳的储量, 是评价和衡量土壤有机碳储量的一个极其重要的指标^[6]。土壤微生物碳/土壤有机碳称为微生物商, 对于土壤质量的变化具有重要的指示意义^[7]。土壤基础呼吸是反映土壤微生物活性的一个重要指标, 代谢商代表了微生物群落的维持能大小和对质的利用效率, 是反映环境因素、管理措施等对微生物活性影响的一个敏感性指标^[8-9]。

近年在我国南方以紫色土为主的水土流失地区, 以坡地等高植物篱技术应用为代表的坡地生态工程获得了广泛的运用。植物篱对提高土壤养分循环和控制养分流失的效果明显, 可改善土壤理化性质, 提高土壤肥力^[10]。国内外虽然在等高植物篱改善坡地生态, 减轻土壤侵蚀的效果与机理已有大量研究^[11-13], 但对于定植植物篱对土壤有机碳固持及微生物活性影响的研究目前相关报道极少。本研究旨在探讨不同土地利用方式及坡度下植物篱对紫色土坡地表层土壤有机碳及土壤微生物学指标的影响, 为紫色土地区坡耕地的综合利用、改造提供有效措施及新的理论依据。

1 研究地点及方法

1.1 试验点概况

试验点位于四川省遂宁市安居区的遂宁水土保持试验站内。该站位于东经 $105^{\circ}28'37''$ 、北纬 $30^{\circ}21'51''$, 最高高程海拔 330.58 m, 最低高程 288.00 m。年平均气温为 18.2°C , 多年平均降雨量 933.3 mm。试验小区所在坡地长度为 20 m, 坡面向南, 土壤母岩为侏罗系遂宁组岩层发育而成的紫色土, 土壤松散, 大多是砂、页、

泥岩风化形成的幼年土,结构性差,土壤 pH 呈中性到微碱性,土壤抗冲刷和抗蚀能力均弱。

1.2 材料与方法

1.2.1 试验小区的选取

在试验区共选取 6 个标准径流小区(小区长×宽为 20m×5m)。Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ小区(有植物篱小区)分别与Ⅰ、Ⅲ、Ⅵ(无植物篱小区)小区互为对照试验小区。新银合欢(*Leucaena leucocephala*)植物篱于 2006 年 10 月栽植,植物篱栽植模式为:在小区中间及下方布设两排植物篱,每排新银合植物篱 2 行,行距为 40cm,株距为 20cm,株高为 25cm,已定植了 3a 以上,采样时株高 70cm(表 1)。

1.2.2 土样的采集与分析

2010 年 5 月在研究区域内选择农耕地,经济林地两种土地利用方式的样地,分别采取 0—20 cm 表层土壤样品,土壤的基本性指标见表 2。采集土样风干后,过筛再测定各基本性状。有机质(SOM)测定采用重铬酸钾容量法;全氮(TN)测定采用浓硫酸消化-扩散法;全磷(TP)测定采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法;全钾(TK)测定采用 NaOH 熔融-火焰光度法;碱解氮(AN)测定采用碱解扩散法;有效磷(AP)测定采用 NaHCO₃-钼锑抗比色法;速效钾(AK)测定采用 NH₄Ac-火焰光度法。

表 1 试验小区概况表

Table 1 Profiles of experimental plots

小区 Plots	坡度/(°) Slopes	土地利用方式 Land utilization patterns	是否栽植植物篱 Whether with hedgerow or not
I	10	农耕地(玉米)	否
II			是
III		经济林地(油桃)	否
IV			是
V	10	农耕地(玉米)	是
VI			否

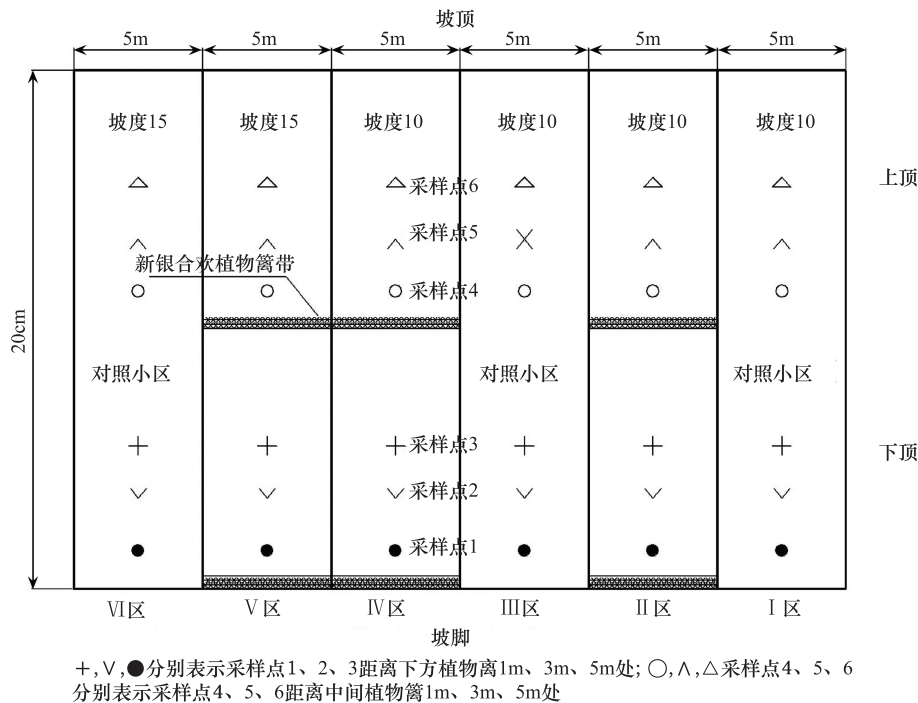


图 1 试验小区及采样点布设

Fig. 1 Layout of experimental plots and sampling points

表 2 土壤基本性状

Table 2 Basic characteristics of soil

土地利用方式 Land utilization patterns	pH 值	有机质/ SOM /(g/kg)	全氮/ TN /(g/kg)	全磷/ TP /(g/kg)	全钾/ TK /(g/kg)	碱解氮/ AN /(mg/kg)	有效磷/ AP /(mg/kg)	速效钾/ AK /(mg/kg)
农耕地	8.03±0.12	9.41±1.52	3.44±0.12	0.97±0.02	21.56±0.46	337.17±2.23	1.89±0.03	76.63±1.21
经济林地	8.00±0.13	11.48±1.26	3.67±0.09	1.05±0.04	23.71±0.31	408.15±3.21	1.33±0.04	98.39±1.01

2010年5月,在上述6个标准径流小区内,用土壤采样器分别采集各有植物篱小区每个植物篱带前1、3 m和5 m处0—20 cm表层土壤,对照组小区采样点布设及命名与相应植物篱小区保持一致,每个小区布设6个采样点(上坡位分别为采样点1、2、3,下坡位为采样点4、5、6),每个采样点均采取“S”型5点法,共采集了36个混合土样(图1)。土壤有机碳测定采用重铬酸钾外加热法^[14],土壤呼吸强度采用碱液吸收法^[15],采用定量碱液吸收土样在一定时间内呼吸所释放出来的CO₂,再用酸滴定剩余的碱,即可计算出呼吸所释放出的CO₂量,求出其呼吸强度;微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸浸提法测定^[16],其中氯仿熏蒸处理为25℃真空条件下培养24 h,提取浸提液采用0.5 mol/L K₂SO₄溶液(1:2 土水比)。代谢商是土壤呼吸强度与微生物量碳的比值。数据的显著性与相关性均采用SPSS软件(17.0)分析。土壤有机碳密度(SOCD)是指单位面积一定深度的土层中土壤有机碳的储量,本文取20 cm土层的有机碳密度(kg/m²)。计算公式为:SOCD = $C_i \cdot D_i \cdot E_i (1 - G_i) / 100$,式中 C_i 为土壤有机碳含量(g/kg), D_i 为土壤容重(g/cm³), E_i 为土层厚度(cm), G 为直径大于2 mm的石砾所占的体积百分(%)^[17]。其中土壤容重采用环刀铝盒法测定^[18]。

2 结果与分析

2.1 各小区不同坡位土壤有机碳分析

对比Ⅱ小区和Ⅰ小区(图2),种新银合欢篱小区土壤平均有机碳16.17 g/kg,对照小区土壤平均有机碳11.42 g/kg,种植植物篱后土壤有机碳增幅达41.53%。对比Ⅳ小区和Ⅲ小区,Ⅴ小区和Ⅵ小区可知,种植植物篱小区土壤有机碳含量均显著高于相应对照小区,新银合欢对坡面径流有拦截作用,可显著减少土壤侵蚀,改变养分化学移动特性,且新银合欢小型叶片落地后紧贴地表,不易被风搬运且容易分解^[19],其根系吸收下层土壤有机质并归还表土,利于土壤有机碳量增长;Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ小区下坡比上坡土壤有机碳增幅分别为11.77%,9.95%,16.37%,坡面径流冲刷减少了上坡土壤养分含量,植物篱覆盖可阻拦表层土壤中泥沙流失,使下坡土壤养分富集,篱间覆盖和有机质增加改善了土壤渗透性能,故相同处理下,下坡比上坡富集有机碳明显。

对比Ⅳ小区和Ⅱ小区(图2),经济林地小区土壤有机碳含量比农耕地小区高14.90%,经济林地油桃冬季落叶及根系腐烂分解对表层土壤有机质改善作用很大,故经济林地对土壤有机碳含量增加作用较强;比较不同坡度,10°小区(Ⅱ)土壤有机碳含量比15°小区(Ⅴ)高20.08%,由于坡度较缓小区,坡面径流不明显,表层土壤泥沙流失较少,而养分移动主要依靠泥沙中最易流失的粉粘粒带动,由于粉粘粒通过它与有机碳结合形成有机-无机复合体实现对土壤水分有效性、植被生长正效应及其粘粒对土壤有机碳的保护作用,故坡面较缓,有利于有机碳含量增长。

2.2 各小区不同坡位土壤有机碳密度分析

对比Ⅳ小区和Ⅲ小区(图3),种植植物篱小区土壤平均有机碳密度比对照小区高43.29%;植物篱根系分泌物产生部分有机质及茎节阻挡地表径流,拦截土壤颗粒,故种植植物篱小区土壤有机碳密度均显著高于相应对照小区。Ⅴ小区下坡比上坡土壤平均有机碳密度高16.37%;种植植物篱小区下坡平均土壤有机碳密度高于上坡,由于坡顶土壤流失情况严重,上部泥沙大量搬运,上坡表层土壤养分含量显著减少,而植物篱可有效拦截径流,利于泥沙及沙砾固持,土壤有机碳密度与

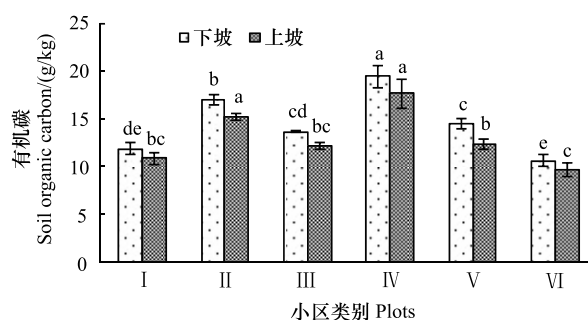


图2 小区不同坡位土壤有机碳

Fig. 2 Soil organic carbon of different slope positions of plots

每个柱形图上面小写字母表示相同坡位不同小区指标差异达显著水平($P < 0.05$, Duncan)

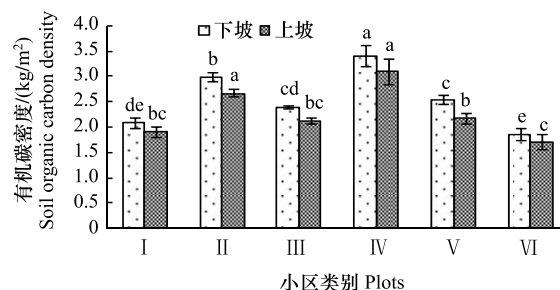


图3 小区不同坡位有机碳密度

Fig. 3 Soil organic carbon density of different slope positions of plots

该土层有机质含量以及沙砾含量息息相关,因此下坡较上坡有机碳密度较大。

对比Ⅳ小区和Ⅱ小区(图3),经济林地小区土壤有机碳密度比农耕地小区高14.90%。可能由于油桃作物根系覆盖、落叶及腐解作用利于土壤有机质维系及增长,故经济林地小区有机碳密度较大;对比Ⅱ小区和Ⅴ小区,10°小区土壤有机碳密度比坡度为15°小区高20.08%,坡度较缓时,侵蚀强度较弱,泥沙流失较少,缓解了地表径流带走土壤养分,故坡度较缓利于土壤养分富集,利于有机碳密度增长。

2.3 各小区不同坡位土壤生物量碳分析

对比Ⅱ小区和Ⅰ小区(图4),种植植物篱小区土壤平均微生物量碳含量比对照小区高114.15%。对比Ⅳ小区和Ⅲ小区、Ⅴ小区和Ⅵ小区可知,种植植物篱小区土壤微生物量碳均显著高于相应对照小区,土壤微生物量碳在篱间0—20cm土层的大幅度提高,与植物篱的水土保持作用对坡面径流的阻滞作用,及新银合欢根系吸收下层土壤有机质并归还表土相关。比较不同坡位,下坡比上坡微生物量碳含量较高,由于新银合欢覆盖对表层土壤中泥沙流失具有显著的阻拦作用,利于有机质的积累,故相同处理下,下坡比上坡富集微生物量碳明显。土壤微生物量是微生物对土壤养分的生长固持和死亡矿化释放的外在表现形式,定植植物篱后土壤微生物量增高,使其对养分的固持量与矿化释放量保持在一个较高水平,有效增强了土壤肥力。

对比Ⅱ小区和Ⅳ小区可知(图4),经济林地小区各坡位土壤微生物量碳明显高于农耕地小区,油桃冬季落叶及根系腐烂分解对表层土壤有机质改善作用大于农业耕作措施对有机质提高作用,故经济林地对土壤微生物量碳含量增加作用较强;比较不同坡度,10°的Ⅱ小区比15°的Ⅴ小区各坡位微生物量碳较多,这可能与坡度较缓小区,坡面径流不明显,表层土壤流失较少,对有机质随泥沙的化学移动作用较小有关。

2.4 各小区不同坡位土壤微生物商分析

对比Ⅱ小区和Ⅰ小区、Ⅳ小区和Ⅲ小区、Ⅴ小区和Ⅵ小区得知,平均微生物商增幅分别为51.49%、45.47%、95.01%,定植新银合欢小区微生物商显著高于对照小区,由于篱带对坡面径流的阻滞作用,及植物篱根系吸收下层土壤有机质并归还表土,植物篱在积累有机碳的同时更有利于微生物量碳的提高,具有较高的微生物量碳维持能力。Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ小区上坡和下坡微生物商差异不大,说明植物篱在不同坡位对有机碳和微生物量碳影响程度一致。

对比Ⅳ小区和Ⅱ小区(图5),农耕地微生物商比经济林地高4.02%。由于农耕地翻耕植物残体根茬和根系分泌物与土粒接触面积大,土壤环境利于微生物生长,根系残留物和分泌物中低分子生物聚合物含量高,腐质化程度低而易被微生物分解利用^[20-21],微生物对根系分泌物的利用率远高于对土壤原有有机质或植被凋落物^[22],故农耕地较利于微生物生物量维持。对比Ⅴ小区和Ⅱ小区知,10°小区土壤微生物商比15°小区低10.13%,坡度较缓时,土壤侵蚀强度较小,泥沙及其中粉粘粒流失较少,微生物对土壤有机质转化率低,土壤碳损失低,利于碳储存及固持。

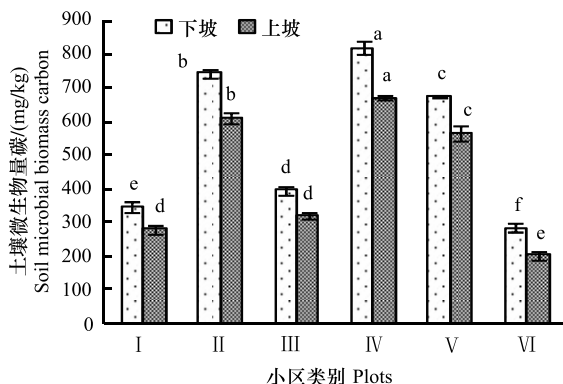


图4 小区不同坡位土壤微生物量碳

Fig. 4 Soil microbial biomass carbon of different slope positions of plots

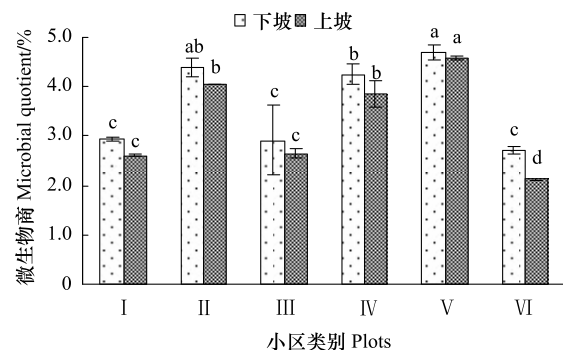


图5 小区不同坡位微生物商

Fig. 5 Microbial quotient of different slope positions of plots

2.5 各小区不同坡位土壤呼吸强度分析

对比Ⅳ小区和Ⅲ小区(图6),种植植物篱小区土壤呼吸强度比对照小区高49.84%;对比Ⅱ小区和Ⅰ小区、Ⅴ小区和Ⅵ小区,种植植物篱小区土壤呼吸强度均显著高于相应对照小区,由于定植新银合欢减少表土侵蚀,拦截利于有机质及养分固持的土壤粘粒,利于有机碳的蓄积及增长,有机碳数量及质量对呼吸强度有重要的控制作用,且植物篱可吸收养分、利于有机质返土等也影响与土壤呼吸速率密切相关的土壤理化和生物学性质,使土壤基础呼吸随之变化,指示土壤质量演变过程。Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ小区下坡比上坡土壤呼吸强度分别高18.75%,10.56%,16.23%,上坡侵蚀强度较大,土壤养分含量显著减少,养分及有机质随土壤颗粒向下坡移动,下坡植物篱覆盖也利于下坡土壤有机碳及微生物生物量维系,故同一处理下,下坡土壤呼吸强度较大。

对比Ⅳ小区和Ⅱ小区(图6),经济林地比农耕地土壤呼吸强度高3.37%,由于农耕地频繁翻耕,经营强度大,有机质矿化剧烈,导致土壤有机碳含量及微生物生物量含量降低^[23-25],使土壤基础呼吸水平较低,故经济林地比农耕地更利于土壤基础呼吸。对比Ⅱ小区和Ⅴ小区,10°农耕地土壤呼吸强度比15°农耕地高3.10%,坡度较陡小区,养分移动较剧烈,加速有机碳分解,土壤矿物对有机质的固定能力低,不利于有机质在土壤中的蓄积,抑制基础呼吸,故坡度较缓利于土壤呼吸强度增长。

2.6 各小区不同坡位代谢商分析

由图7可知,种植有新银合欢的Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ小区代谢商分别比对照小区小41.38%、39.94%、40.69%,对照小区侵蚀强度大,土壤肥力严重衰退^[25],土壤中微生物除需付出自身生长所需能量,还需消耗额外维持能^[26-27],微生物呼吸消耗碳比例大,故代谢商较大;而定植新银合欢可提高土壤保水保土能力,土壤中活性有机物增多,微生物活性增强,代谢效率高,故代谢商较低,表明种植新银合欢利于提高土壤微生物量碳利用率。Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ小区下坡和上坡代谢商差异不明显,说明植物篱在不同坡位对有机碳的利用效率影响程度一致。

对比Ⅱ小区和Ⅳ小区(图7),经济林地代谢商比农耕地低5.76%,由于经济林地油桃根系覆盖及冬季落叶,利于营养物质返土及有机质输入,微生物活性增强,使代谢商降低。对比Ⅴ小区和Ⅱ小区,15°小区代谢商比10°小区高5.92%,坡度较陡小区,土壤养分及有机质流失严重,对养分需求量大,微生物对养分固定随之加快,微生物周转速率加快,代谢商增大,表明坡度对土壤有机碳的利用效率影响很大。

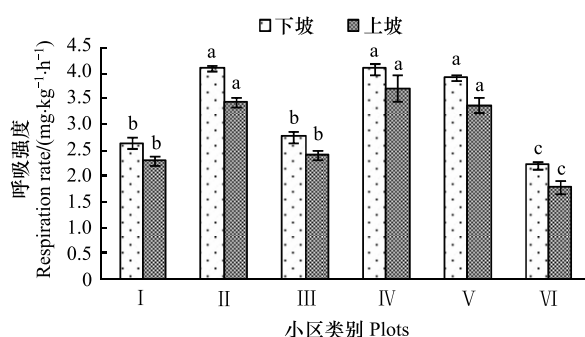


图6 小区不同坡位土壤呼吸强度

Fig. 6 Soil respiration rate of different slope positions of plots

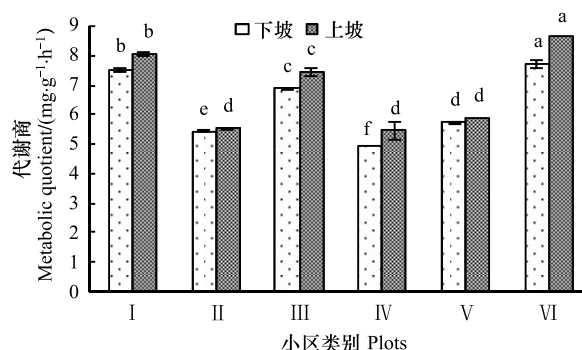


图7 小区不同坡位土壤代谢商

Fig. 7 Soil metabolic quotient of different slope positions of plots

2.7 有机碳与土壤养分及微生物活性相关分析

对各小区土壤平均有机碳含量与其相应pH值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾的进行相关性分析(表3),结果表明:定植有植物篱的10°、15°农耕地和10°经济林地小区土壤有机碳与有机质含量有极显著的相关性($P < 0.01$),有机碳与全钾呈正相关,与pH值负相关;定植有植物篱的10°农耕地小区土壤有机碳与全磷、有效磷、速效钾呈正相关,而定植有植物篱的10°经济林地、15°农耕地小区土壤有机碳与以上指标均呈负相关;不同处理下,土壤有机碳与土壤理化性质相关性各不相同。主要是由于不同处理下土壤理化性质各异,造成对土壤微生物活性影响程度不同,使表征土壤碳库大小、土壤有机碳固持能力的有机碳含

量各异。

表 3 土壤有机碳与理化性质的相关性

Table 3 Correlation between soil organic carbon and physicochemical properties

小区 Plots	pH 值	有机质/ SOM /(g/kg)	全氮/ TN /(g/kg)	全磷/ TP /(g/kg)	全钾/ TK /(g/kg)	碱解氮/ AN /(mg/kg)	有效磷/ AP /(mg/kg)	速效钾/ AK /(mg/kg)
I	-0.954 *	0.983 **	-0.905 *	0.711	0.859	-0.651	-0.964 *	-0.999 **
II	-0.097	0.296 **	-0.361	0.277	0.376	0.054	0.297	0.317
III	0.051	0.562	0.283	-0.185	0.185	-0.196	-0.416	-0.566
IV	-0.711	0.891 **	-0.689	-0.689	0.832	0.035	-0.644	-0.300
V	-0.624	0.592 **	0.313	-0.362	0.809	-0.127	-0.478	-0.175
VI	-0.792	0.938 *	-0.885	-0.928 *	-0.849	-0.936 *	-0.946 *	-0.939 *

* 显著水平 ($P<0.05$), * * 极显著水平 ($P<0.01$)

对各小区土壤有机碳分别与微生物量碳、微生物商、土壤基础呼吸、代谢商进行相关性分析(表4),结果表明:土壤有机碳与土壤微生物量碳、微生物商、呼吸强度呈正相关,与代谢商呈负相关。种植有植物篱的10°、15°农耕地和10°经济林地小区土壤微生物碳与土壤有机碳相关关系达到了极显著性 ($P<0.01$),定植有植物篱的10°农耕地、15°农耕地小区呼吸强度均与有机碳相关关系均达到了极显著性 ($P<0.01$),定植有植物篱的10°经济林地呼吸强度与有机碳相关关系达到了显著性 ($P<0.05$),表明土壤微生物学指标变化与总有机碳的变化趋势是一致的,能反映土壤质量变化。

表 4 土壤有机碳与微生物活性指标相关性

Table 4 Correlation between soil organic carbon and microbial activity indicators

小区 Plots	微生物量碳/(mg/kg) Microbial biomass carbon	微生物商/% Microbial quotient	呼吸强度/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) Respiration rate	代谢商/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) Metabolic quotient
I	0.895 *	0.448	0.953 **	-0.604
II	0.940 **	0.717	0.947 **	-0.754
III	0.939 **	0.816 *	0.939 **	-0.795
IV	0.3841 *	0.046	0.909 *	-0.396
V	0.925 **	0.297	0.952 **	-0.414
VI	0.735	0.215	0.825 *	-0.483

3 结论

(1)种植新银合欢植物篱可明显提高土壤中有机碳含量、有机碳密度、土壤微生物量碳含量。下坡比上坡更利于三者富集。经济林地对三者影响大于对农耕地的,坡度较缓利于三者蓄积。

(2)定植新银合欢能提高微生物生物量维持能力、基础呼吸速率、微生物量碳利用效率。农耕地较利于微生物生物量维持,经济林地较利于呼吸速率、微生物量碳利用效率提高,坡度较缓利于碳储存及固持、呼吸水平及有机碳利用效率的提高。

(3)定植有新银合欢的农耕地、经济林地有机碳与有机质、土壤微生物碳极显著相关,有机碳与全钾正相关,与pH值负相关;不同处理下土壤有机碳与理化性质相关性各不相同。

References:

[1] Zhang J B, Song C C. The sensitive evaluation indicators of effects of land-use change on soil carbon pool. Ecology and Environmnet, 2003, 12(4): 500-504.

[2] Zhao X L. Effects of Water Erosion on Organic Carbon of Hilly Purple Soils and SOC Forecast Model. Chongqing: Southwest University, 2008.

[3] Wei X R, Shao M A, Gao J L. Relationships between soil organic carbon and environmental factors in gully watershed of the Loess Plateau. Chinese Journal of Environmental Science, 2008, 29(10): 2879-2884.

[4] Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(3):

32-38.

- [5] Xu M G, Yu R, Sun X F, Liu H, Wang B R, Li J M. Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index (CMI) of the typical soils of China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 459-465.
- [6] Jin F, Yang H, Cai Z C, Zhao Q G. Calculation of density and reserve of organic carbon in soils. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(4): 522-528.
- [7] Brookes P C, Landman A, Pruden G, Jenkinson D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen; a rapid direct extract on method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(6): 837-842.
- [8] Brookes P C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19(4): 269-279.
- [9] Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 68-75.
- [10] Wang L L, He B H, Li Z X. The recent development of technique of contour hedgerows. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(3): 131-133.
- [11] Dewald C L, Henry J, Bruckerhoff S, Ritchie J, Dabney S, Shepherd D, Douglas J, Wolf D. Guidelines for establishing warm season grass hedges for erosion control. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996, 51(1): 16-20.
- [12] Pellek R. Contour hedgerows and other soil conservation interventions for hilly terrain. *Agroforestry Systems*, 1992, 17(2): 135-152.
- [13] Mutegi J K, Mugendi D N, Verchot L V, Kung'u J B. Combining napier grass with leguminous shrubs in contour hedgerows controls soil erosion without competing with crops. *Agroforestry Systems*, 2008, 74(1): 37-49.
- [14] Yang J H, Wang C L, Dai H L. *Soil Chemical Analysis of Agriculture and Environmental Monitoring*. Chongqing: Southwest Agricultural University Press, 2004: 2-15.
- [15] Xu G H, Zheng H Y. *Soil Microbe Analysis Method*. Beijing: China Agriculture Press, 1986: 226-227.
- [16] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. *Methods and Applied of Microbial Biomass*. Beijing: Meteorology Press, 2006: 56-60.
- [17] Wen Q X. *Beijing: Research Methods of Soil Organic Matter*. Beijing: Science Press, 1984: 316-318.
- [18] Soil Physical Research Laboratory in Nanjing Soil Research Institution of Chinese Academy of Sciences. *Methods of Soil Physical Properties*. Beijing: Science Press, 1978: 11-13.
- [19] Li K, Zeng J M. Effects of some tree species on soil in Yuanmou hot and dry valley. *Journal of Southwest Forestry College*, 1999, 19(3): 161-164.
- [20] Dignac M F, Kögel-Knabner I, Michel K, Matzner E, Knicker H. Chemistry of soil organic matter as related to C:N in Norway spruce forest (*Picea abies* (L.) Karst.) floors and mineral soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2002, 165(3): 281-289.
- [21] Mo B, Cao J H, Xu X M, Shen H G, Yang H, Li X F. Changes of soil active organic carbon under different land use types in karst area. *Ecology and Environment*, 2006, 15(6): 1224-1230.
- [22] Thuriès L, Pansu M, Larré-Larrouy M C, Feller C. Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(2): 239-250.
- [23] Wang Y, Shen Q R, Shi R H, Huang D M. Soil microbial biomass and its ecological effects. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1996, 19(4): 45-51.
- [24] Yang D W, Wang Z Q, Gui G P, Chen B L, Xu K. Impact of soil erosion on soil fertility and land productivity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 175-178.
- [25] Zhang C E, Liang Y L, He X B. Effects of plastic cover cultivation on soil microbial biomass. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 508-512.
- [26] Odum E. The strategy of ecosystem development. *Science*, 1969, 164(3877): 262-270.
- [27] Yang G S, Song C C, Wang L, Wang L L, Li Y C. Influence of water level gradient on marsh soil microbial activity of *Calamagrostis angustifolia*. *Environmental Science*, 2010, 31(2): 444-449.

参考文献:

- [1] 张金波, 宋长春. 土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标. *生态环境*, 2003, 12(4): 500-504.
- [2] 赵晓莅. 紫色土区水力侵蚀对土壤有机碳的影响及 SOC 预报模型研究. 重庆: 西南大学, 2008.
- [3] 魏孝荣, 邵明安, 高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系. *环境科学*, 2008, 29(10): 2879-2884.
- [4] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. *生态学杂志*, 1999, 18(3): 32-38.
- [5] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 刘骅, 王伯仁, 李菊梅. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 459-465.
- [6] 金峰, 杨浩, 蔡祖聪, 赵其国. 土壤有机碳密度及储量的统计研究. *土壤学报*, 2001, 38(4): 522-528.
- [10] 王玲玲, 何丙辉, 李贞霞. 等高植物篱技术研究进展. *中国生态农业学报*, 2003, 11(3): 131-133.
- [14] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. *土壤农化分析与环境监测*. 重庆: 西南农业大学出版社, 2004: 2-15.
- [15] 许光辉, 郑洪元. *土壤微生物分析方法手册*. 北京: 中国农业出版社, 1986: 226-227.
- [16] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. *土壤微生物微生物量测定方法及其应用*. 北京: 气象出版社, 2006: 56-60.
- [17] 文启孝. *土壤有机质研究法*. 北京: 农业出版社, 1984: 316-318.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. *土壤物理性质测定法*. 北京: 科学出版社, 1978: 11-13.
- [19] 李昆, 曾觉民. 元谋干热河谷地区不同造林树种对土壤的改良作用研究. *西南林学院学报*, 1999, 19(3): 161-164.
- [21] 莫彬, 曹建华, 徐祥明, 申宏岗, 杨慧, 李小方. 岩溶山区不同土地利用方式对土壤活性有机碳动态的影响. *生态环境*, 2006, 15(6): 1224-1230.
- [23] 王岩, 沈其荣, 史瑞和, 黄东迈. 土壤微生物量及其生态效应. *南京农业大学学报*, 1996, 19(4): 45-51.
- [24] 杨武德, 王兆骞, 陆国平, 陈宝林, 徐锴. 土壤侵蚀对土壤肥力及土地生物生产力的影响. *应用生态学报*, 1999, 10(2): 175-178.
- [25] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响. *生态学报*, 2002, 22(4): 508-512.
- [27] 杨桂生, 宋长春, 王丽, 王丽丽, 李英臣. 水位梯度对小叶章湿地土壤微生物活性的影响. *环境科学*, 2010, 31(2): 444-449.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 2012

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