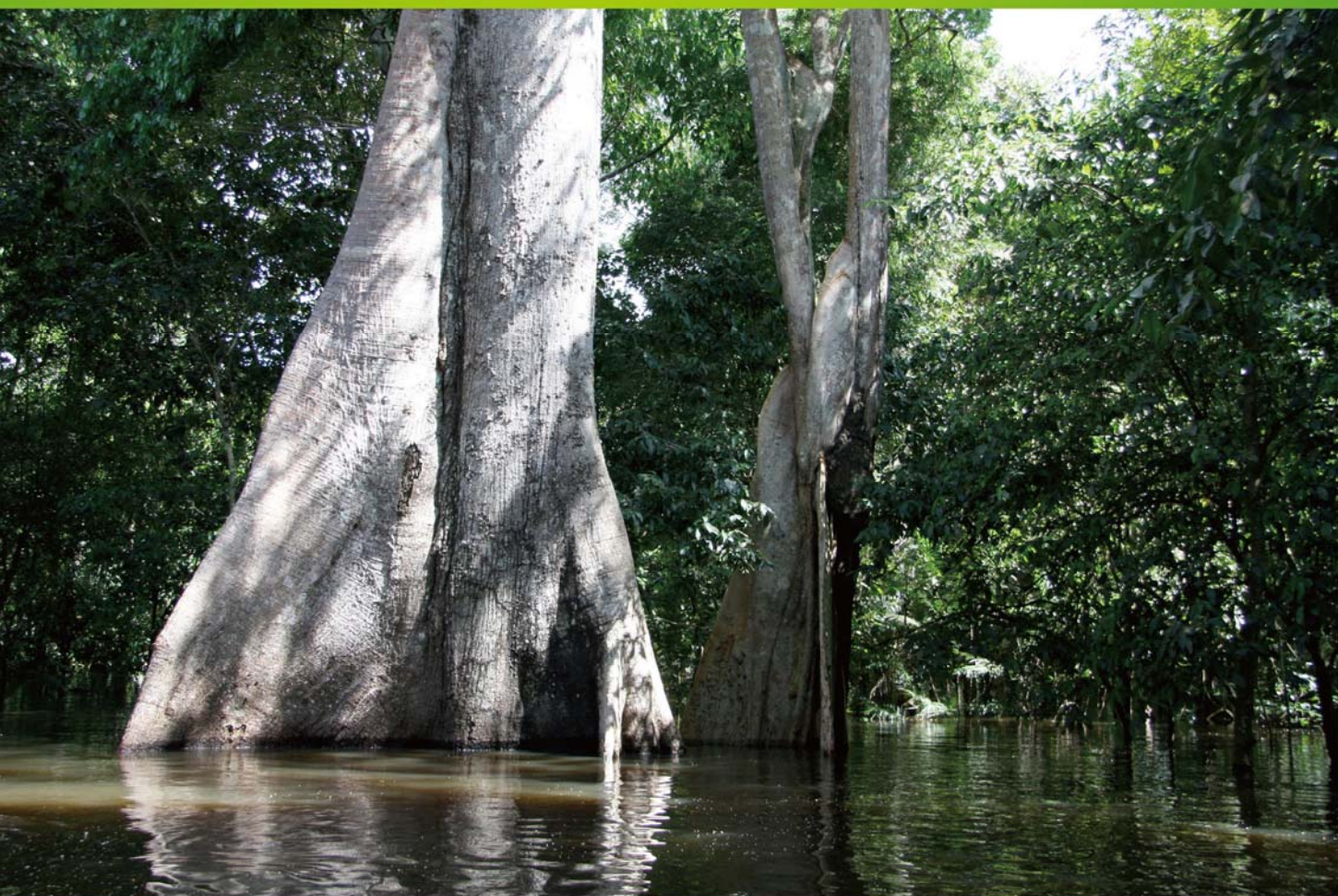


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 8 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系·····	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例·····	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响·····	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响·····	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应·····	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸·····	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响·····	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响·····	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性·····	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策·····	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响·····	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略·····	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布·····	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究·····	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性·····	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策·····	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析·····	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响·····	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性·····	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化·····	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
桉树人工林物种多样性变化特征·····	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价·····	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用·····	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化·····	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较·····	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析·····	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益·····	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性·····	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展·····	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展·····	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性·····	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响·····	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供:中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail: xuweihua@rcees.ac.cn

黄土高原区不同植物凋落物搭配对 土壤微生物量碳、氮的影响

王春阳, 周建斌*, 夏志敏, 刘 瑞

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:黄土高原丘陵沟壑区进行的以退耕还林还草为主的生态建设,使得进入土壤生态系统有机物的种类和数量发生变化,不同种类凋落物混合对土壤微生物量碳、氮的影响是值得关注的问题。采用室内培养试验方法研究了采自黄土高原地区 6 种不同植物凋落物及等比例混合后对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响。结果表明,加入不同植物凋落物均显著提高了培养期间土壤微生物量碳、氮含量。总体平均,添加 3 种等量混合后植物凋落物的土壤微生物量碳、氮含量高于两种凋落物等量混合处理,而两种凋落物混合高于单种凋落物处理;土壤矿质态氮含量的变化则相反,即单种>两种混合>3 种混合。单种和两种混合后土壤微生物量碳、氮含量与其碳氮比显著相关,而 3 种凋落物混合后土壤微生物量碳、氮含量与其碳氮比无相关性,说明多种凋落物混合后土壤微生物量碳、氮含量受多种因素共同影响。因此,在黄土高原植被恢复重建中,有必要采用不同种类植物搭配,利用生物多样性促进生态系统健康持续发展。

关键词:黄土高原;植物凋落物;等量混合;土壤微生物量碳、氮

Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil

WANG Chunyang, ZHOU Jianbin*, XIA Zhimin, LIU Rui

College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Both the quality and quantity of organic materials from plant residues returned into the soil ecosystems in the gully and valley region of the Loess Plateau have substantially changed after the returning of croplands to forests and grasslands since 2000 in Northwestern China. However, no study has reported if soil carbon (C) or nitrogen (N) has been changed after one decade of plant residues returning to the soil. An important mechanism to understand these changes is to know if and how the returning of plant residues to the soil could alter soil microbial biomass C and N (SMBC, SMBN) and mineral N in this region. We conducted a time course (0 to 84 days) incubation experiment to study the effects of external addition of plant residues either from a single plant species, a mixture of two or three plant species on the soil microbial biomass carbon and nitrogen (SMBC, SMBN) and mineral N content under (25±3) °C, 70% field water holding capacity, dark and aerobic laboratory conditions. Aboveground plant residues from six local plant species (*Hippophae rhamnoides* Linn., *Medicago sativa* Linn., *Populus simonii* Carr., *Robinia pseudoacacia* L., *Salix psammophila* and *Stipa bungeana* Trin.), which had C to N ratios from 17.52 to 57.04, were taken from the Loess Plateau, Shaanxi, China. The soil used was a Loess soil (similar to Ustochnept in the US or Calcic cambisol in FAO system). Equal amount of plant residues, as either a single plant species, a mixture of any two or three plant species were added to the soil for a total of 27 treatments including the non-plant-residue addition as the control. As a general rule, our results showed that the addition of either one single or two or three mixed plant residues to the soil significantly increased the contents of SMBC and SMBN. Overall, both

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD89B02);国家自然科学基金(40571087)和西北农林科技大学拔尖人才支持计划(2006)资助

收稿日期:2010-03-27; 修订日期:2010-06-13

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

the averaged SMBC and SMBN during incubation were highest in the treatment with the three-plant-species residues, higher in the treatment with the two-plant-species residues, and lowest in the treatment with the single plant species residue. In contrast to the SMBC and SMBN, contents of mineral nitrogen in the soil showed a reverse pattern among the three residue treatments: the three-plant-species residue > the two-plant-species residue > the single plant species residue addition. Meanwhile, there was a significantly positive relationship between the SMBC and/or SMBN and the C/N ratio in the one-plant-species or the two-species residues, but not in the three-plant-species residue. These results might indicate that SMBC and SMBN contents could have been affected by a range of factors, including incubation conditions (temperature, soil water holding capacity, incubation time period, etc.) and the chemical properties (C and N content, organic compounds, etc.) of the residue itself, particularly when the mixed three-plant-species residues were added to the soil. Our study suggested that both SMBC and SMBN contents could be substantially increased by returning of two or more than two-plant-species residues into soils, which could then contribute to the enhancement of vegetation restoration and soil fertility in the Loess Plateau.

Key Words: the Loess Plateau; plant residue; mixture with equivalent weight; soil microbial biomass carbon & nitrogen

黄土高原是我国乃至世界上水土流失最严重的地区。为此,国家正在这一地区实施以退耕还林还草为主的生态建设,使得进入土壤生态系统有机物的种类由相对单一的作物残茬及有机肥变为种类不同的植物凋落物,进入土壤的有机物数量也发生变化,这无疑会影响生态系统中的物质循环与能量流动^[1]。生态系统中凋落物的分解是微生物主导的生物化学过程^[2]。不同植物凋落物的化学组成不同,可直接影响微生物种群的种类及数量。因此,不同生态系统凋落物与土壤微生物量碳、氮间的关系是研究者十分关注的问题,土壤微生物量碳、氮含量也被作为评价土壤质量和反映微生物群落状态的常用指标之一^[3-5]。

目前,有关黄土高原区退耕还林还草后对土壤微生物量碳、氮含量的影响已进行了一些研究。一些研究表明,随着退耕还林还草年限的增加,土壤微生物量碳、氮含量呈明显的增加趋势^[6-8];不同植物凋落物对土壤微生物量的影响存在显著差异^[9-11]。应该看到,已有的研究主要集中在人工纯林或撂荒对土壤微生物量碳或氮的影响方面。在黄土高原的正在进行的退耕还林还草实践中采用的植物种类包括乔、灌及草等,归还到土壤的凋落物种类较多;即使在纯人工林生态系统,主要树种也是与灌木和草本凋落物混合进入土壤^[12],这些不同植物凋落物混合对土壤微生物量及养分转化的影响是值得关注的问题。在其他地区的研究表明,杉木与其它树种凋落物混合后对其分解均有不同程度的促进作用^[13-17];不同凋落物混合提高了土壤活性有机质及土壤微生物量碳氮的含量^[12, 18-19],这与混合不同种类凋落物增加了资源的异质性,进而改变了土壤微生物的丰富度有关^[20-22]。而关于黄土高原区不同种类植物凋落物混合对土壤微生物量碳、氮含量及土壤矿质氮含量的影响尚少见报道。

因此,本文选取黄土高原地区几种典型植物凋落物为研究对象,研究了不同凋落物不同配合后对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响,旨在为该区生态恢复与重建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤于2009年3月采自中国科学院水利部水土保持研究所神木侵蚀与环境试验站,该试验站位于神木县城以西14 km处的六道沟流域(E110°21'—110°23', N38°46'—38°51'),海拔1094—1274 m。年平均温度8.4℃,无霜期169 d,多年平均降水量为437.4 mm,平均干燥度1.8,属典型的半干旱地区。采集耕层(0—15 cm)土样,其前茬作物为玉米,土壤类型为黄棉土,系统分类为干润砂质新成土。土样采回后自然风干,过2 mm筛后备用。土壤基本理化性状:有机碳4.87 g/kg,全氮0.57 g/kg,硝态氮16.2 mg/kg,铵态氮1.9 mg/kg, pH 7.96,速效磷2.53 mg/kg,粘粒14.6% (<0.001 mm),粉沙粒含量51.1%。

在采集土壤样品的同时,在研究地区采集乔木、灌木和草本植物凋落物,其中乔木为刺槐(*Robinia*

pseudoacacia L.) 和小叶杨 (*Populus simonii* Carr.), 灌木为沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn.) 和沙柳 (*Salix psammophila*), 草本为苜蓿 (*Medicago sativa* Linn.) 和长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.). 这些植物均属当地分布较为广泛的主要植被类型。采样时乔、灌木均收集地面凋落的叶片, 草本刈割其整个地上部分。每一样品的采集均采用“S”型多点取样法, 每个点大约收集 0.5 kg, 每种样品的采样量约为 32 kg。采回后取部分置 60 ℃ 烘干。将烘干的植物凋落物粉碎过筛 (0.5—1.0 mm) 后备用。测定植物体碳、氮含量 (表 1)。

表 1 植物凋落物的主要化学成分
Table 1 Concentrations of C and N in plant residues

编号 No.	植物凋落物 Plant residues	全碳 TC (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	C:N
A	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	396.26	14.64	27.07
B	小叶杨 <i>Populus simonii</i> Carr.	384.31	6.96	55.22
C	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> Linn.	326.41	18.63	17.52
D	沙柳 <i>Salix psammophila</i> .	379.12	13.67	27.73
E	苜蓿 <i>Medicago sativa</i> Linn.	424.23	11.29	37.57
F	长芒草 <i>Stipa bungeana</i> Trin.	402.13	7.05	57.04

1.2 培养试验

将上述乔木、灌木、草本 3 类 6 种不同种类按单施, 乔木与灌木、乔木与草本、灌木与草本分别按照质量分数的 1:1 混合, 乔木、灌木与草本间按照质量分数的 1:1:1 混合添加, 共组成 27 个处理 (同时设置不添加凋落物的处理作为对照)。

将上述过 2 mm 筛的风干土样加入蒸馏水至最大田间持水量的 70%, 预培养 1 周, 以恢复土壤微生物的活性。然后, 称取相当于 600 g 风干土的预培养土样于培养盒中, 加入质量分数为 1% 的单种及混合后的植物凋落物, 充分混合均匀, 同时设不加植物凋落物的土样作为对照。每个处理重复 3 次。将各处理的培养盒置于 (25±3) ℃ 暗室中好气培养, 在培养的 0、1、7、14、28、56、84d 分别取样, 测定土壤微生物量碳、氮含量; 在培养的 0、0.5、1、3、5、7、14、21、28、42、56、70、84d 分别取样, 测定土壤矿质态氮 (铵态氮及硝态氮) 含量。在培养的过程中, 每隔 2d 以重量法补充水分, 保持土壤水分含量相对稳定。

1.3 测定和计算方法

土壤含水量用烘干法测定, 土壤和植物凋落物中的碳、氮等养分含量采用常规方法测定^[23]。土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸浸提法^[24], 即 0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提 (水土比为 4:1), 土壤微生物量碳、氮含量以熏蒸和不熏蒸的碳、氮含量之差除以相应得转化系数 (均为 0.45) 得到; 土壤可溶性全氮采用过硫酸钾氧化法测定^[25]; 土壤可溶性全碳采用 TOC 分析仪 (Phoenix8000) 测定; 土壤矿质态氮 (NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N) 采用 0.5 mol/L K₂SO₄ 按水土比为 4:1 浸提, 振荡 30 min, 流动分析仪 (BRAN+LUEBBE) 测定。

1.4 统计分析

采用 Excel 2003 和 SAS 软件 (8.0 版本) 对试验数据进行处理及统计分析, 并采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 比较不同处理间的差异。所有数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同植物凋落物及对比对土壤微生物量碳的影响

由图 1 可以看出, 与未添加凋落物对照相比, 添加凋落物均显著提高了培养期间土壤微生物量碳含量; 从不同处理的动态变化看, 在不同的培养阶段土壤微生物量碳含量均迅速增加, 达到高峰后逐渐降低。

与对照相比, 添加单种凋落物后土壤微生物量碳含量在培养期间均显著提高 ($P < 0.05$) (图 1)。在培养的第 7 天差异最大, 平均高出对照 142.4 mg/kg, 达极显著水平。随着培养的进行, 差异逐渐缩小; 到培养结束时仍较对照高 41.2 mg/kg。相关分析表明, 培养第 7 天各处理的土壤微生物量碳含量与植物凋落物的碳氮比呈显著负相关 ($r = -0.814, n = 6, P = 0.049$), 与植物凋落物总氮含量呈显著正相关 ($r = 0.828, n = 6, P = 0.042$)。

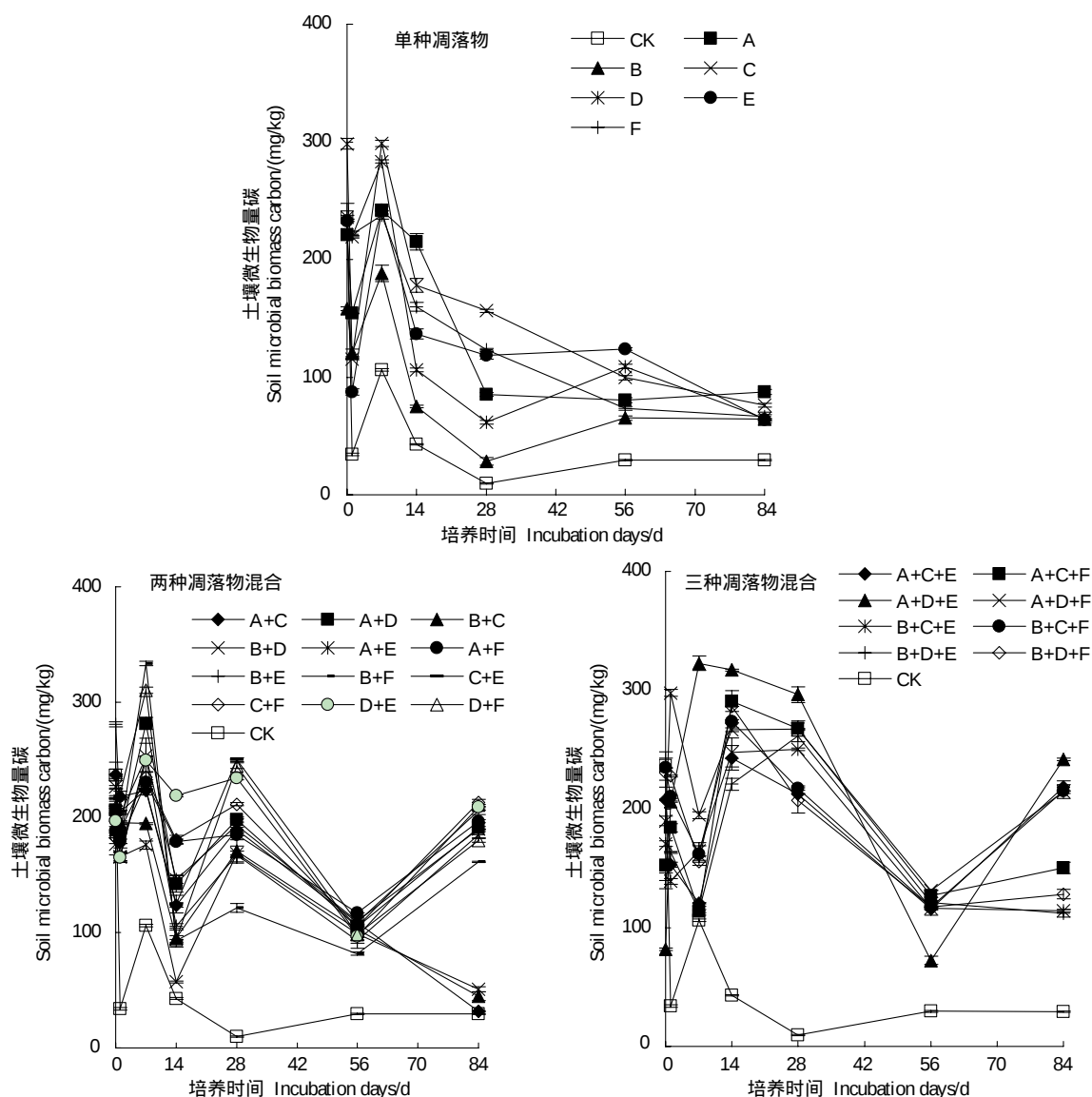


图1 不同凋落物处理土壤微生物量碳的动态变化

Fig. 1 Variations of soil microbial biomass carbon in plant residues after incubation

A: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* L.; B: 小叶杨 *Populus simonii* Carr.; C: 沙棘 *Hippophae rhamnoides* Linn.; D: 沙柳 *Salix psammophila*; E: 苜蓿 *Medicago sativa* Linn.; F: 长芒草 *Stipa bungeana* Trin. ,

加入 1:1 混合的两种凋落物后土壤微生物量碳含量在培养的第 7 天和第 28 天均有明显的增加,而后减少。从培养的第 1 天至 56 天,添加凋落物土壤微生物量碳含量均极显著高于对照处理 ($P < 0.01$), 且在第 28 天差异最大,平均高出对照 184.9 mg/kg。相关分析表明,培养第 7 天土壤微生物量碳含量与凋落物的碳氮比呈显著正相关;培养第 28 天土壤微生物量碳含量与凋落物的碳氮比呈显著负相关,与凋落物总氮含量的相关性未达显著水平。培养结束时土壤微生物量碳含量与凋落物总碳含量成显著正相关。

加入 1:1:1 混合的 3 种凋落物后,从培养的第 14 天至第 28 天土壤微生物量碳含量均极显著升高 ($P < 0.01$),平均高出对照 231.6 mg/kg。从培养的第 7 天至第 28 天,刺槐、沙柳和苜蓿 3 种凋落物混合处理土壤微生物量碳含量高于其他处理,其他培养阶段均无显著差异(图 1)。

由图 1 可以看出,两种凋落物混合处理在培养结束时,乔木与灌木混合中只有刺槐和沙柳配比的土壤微生物量碳含量显著增加,其他 3 种乔灌配比均显著降低;3 种凋落物混合中,乔灌草的 8 种配比中土壤微生物量碳含量有 5 种处理显著增加,3 种增加不显著。

2.2 不同植物凋落物及对比对土壤微生物量氮的影响

由图 2 可以看出,与对照相比,添加凋落物后也均显著提高了培养期间土壤微生物量氮含量;不同处理的动态变化趋势均为在培养前期土壤微生物量氮含量均迅速增加,而后缓慢降低。

与对照相比,添加单种凋落物后土壤微生物量氮含量在培养期间均显著增加(图 2)。在培养的第 7 天,凋落物处理的土壤微生物量氮含量极显著高于对照处理($P<0.01$),到培养结束时仍平均高于对照 9.6 mg/kg。相关分析表明,培养第 7 天土壤微生物量氮含量与凋落物的碳氮比呈显著负相关,而与凋落物总氮含量呈显著正相关。

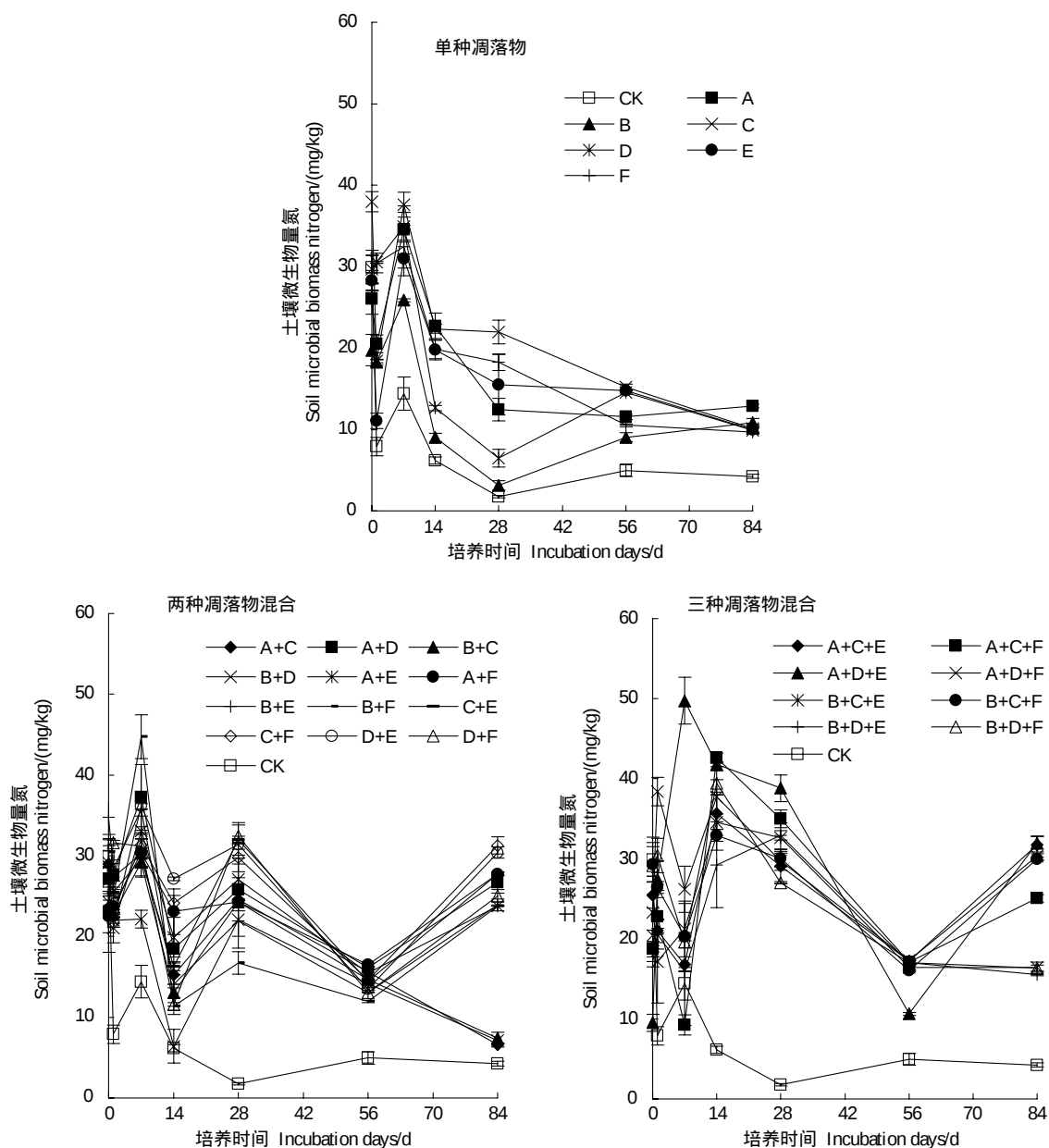


图 2 不同凋落物处理土壤微生物量氮的动态变化

Fig. 2 Variations of soil microbial biomass nitrogen in plant residues after incubation

加入 1:1 混合的两种凋落物后,从培养的第 1 天至结束,土壤微生物量氮含量均高于对照处理,且在培养的第 7 天和第 28 天土壤微生物量氮含量均有迅速的增加。培养第 28 天,添加植物凋落物后的土壤微生物量氮含量与对照处理的差异达最大,平均高出对照 24.3 mg/kg。相关分析表明,培养第 7 天土壤微生物量氮含

量与凋落物碳氮比呈正相关,但未达显著水平;培养第 28 天土壤微生物量氮含量与凋落物碳氮比呈显著负相关,与植物凋落物全氮含量的相关性未达显著水平。培养结束时,土壤微生物量氮含量与凋落物总碳含量的相关性也未达显著水平(图 2)。

加入 1:1:1 混合的 3 种凋落物后,从培养的第 14 天到结束,土壤微生物量氮含量均极显著高于对照处理 ($P<0.01$),其中在培养的第 14—28 天差异最大,平均高出对照 30.4 mg/kg。从培养的第 7 天至第 28 天,刺槐、沙柳和苜蓿 3 种凋落物混合的土壤微生物量氮含量高于其他处理,其他时期差异不显著(图 2)。

2.3 不同植物凋落物及对比对土壤矿质态氮的影响

由图 3 可以看出,与对照相比,在整个培养期间添加凋落物后土壤矿质态氮含量明显减少;培养一段时间后土壤矿质态氮含量又均有不同程度的回升。

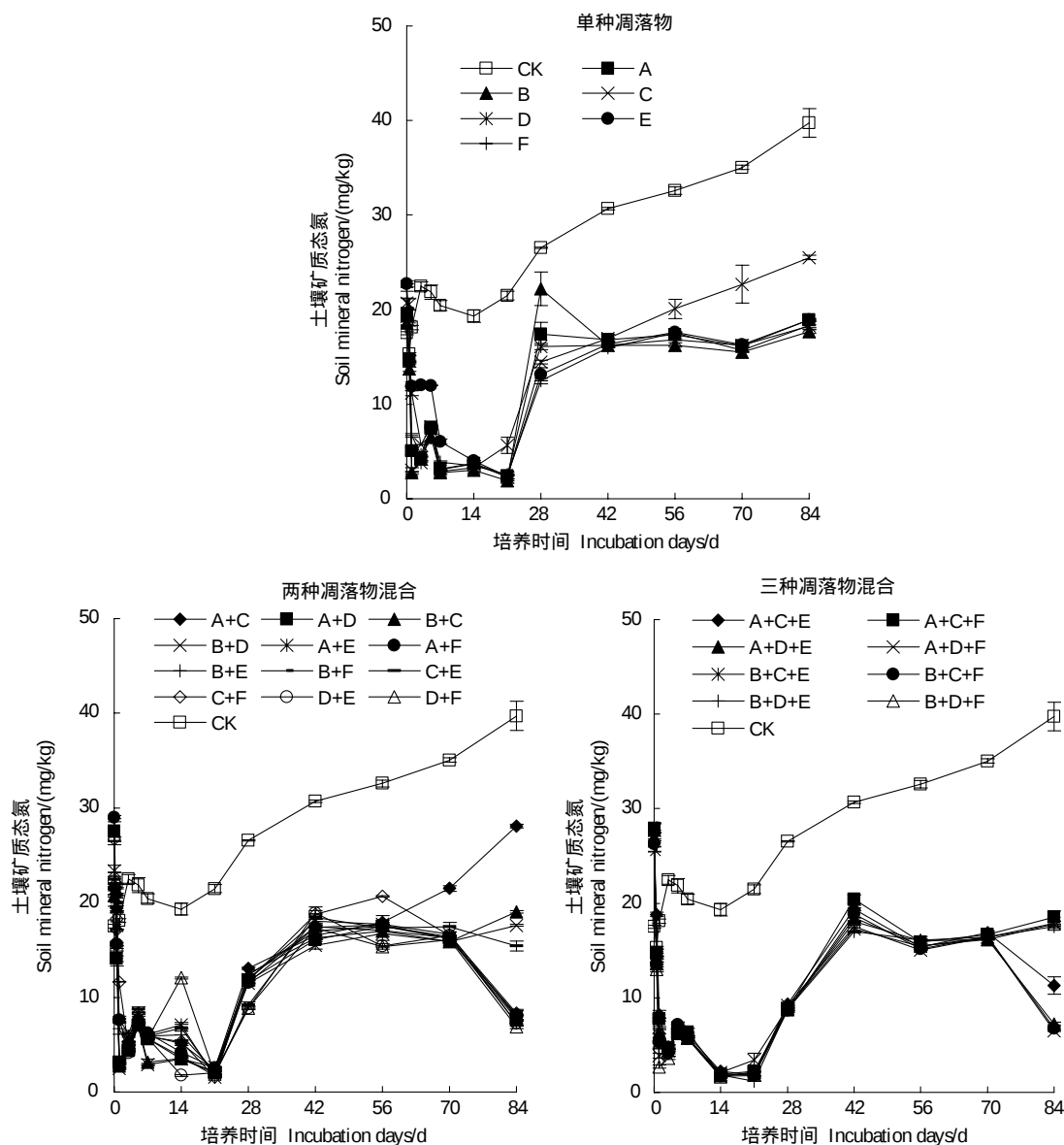


图 3 不同凋落物处理之间土壤矿质态氮的动态变化

Fig. 3 Variations of soil mineral nitrogen in plant residues after incubation

添加单种凋落物后,与对照相比,从培养的第 1—21 天,土壤矿质态氮含量一直处于较平稳的微小波动,而后缓慢上升。说明在培养的起始阶段发生了土壤矿质态氮的微生物固持,而后又出现了缓慢的释放。相关分析表明,在培养结束时,添加植物凋落物的土壤矿质态氮含量与凋落物总碳含量呈显著负相关,与植物凋落

物总氮含量具有正相关,但未达显著水平。

加入 1:1 混合的两种凋落物后,从培养的第 1—21 天,土壤矿质态氮含量一直较低,而后缓慢上升。到培养的第 70 天以后,多数 2 种凋落物混合处理的土壤矿质态氮含量有所下降。在培养结束时,土壤矿质态氮含量与凋落物总碳含量呈极显著负相关,与植物凋落物总氮含量呈正相关,但未达显著水平(图 3)。

3 种植物凋落物经 1:1:1 混合后施入土壤,从培养的第 1—28 天,土壤矿质态氮含量均较低且处于平稳阶段;之后至培养的第 42 天,土壤矿质态氮含量呈缓慢上升阶段;到培养结束时,部分混合后植物凋落物的矿质态氮含量有所降低(图 3)。

总体分析表明,在培养结束时,土壤矿质态氮含量与植物凋落物总碳含量呈显著负相关。

3 讨论

3.1 不同植物凋落物混合提高了土壤微生物量碳、氮的含量

本研究表明,加入不同植物凋落物均显著提高了土壤微生物量碳、氮的含量,这与前人的研究结果一致^[19, 26-27]。这是由于添加植物凋落物为土壤提供了丰富的有机物质,促进了土壤微生物的大量繁殖^[6]。土壤微生物量作为土壤有机质中最活跃的一部分,是土壤养分转化过程中一个重要的源和库,在调节土壤养分保持与供应方面具有不可忽视的作用^[28]。黄土高原地区土壤普遍比较瘠薄,通过植被恢复过程中不同植物凋落物归还的方式增加了土壤微生物碳、氮的含量,无疑对调节这一地区土壤生态系统碳、氮养分的转化与保蓄,恢复土壤肥力,使生态系统中物质循环和能量流动朝着人与自然环境协调共处的方向发展,具有十分重要的作用。

研究同时发现,不同凋落物及其配比对土壤微生物量碳、氮含量的影响不同。从不同处理土壤微生物量碳、氮含量变化的平均趋势看,3 种凋落物混合>两种混合>单种。这可能是添加不同种类凋落物,由于增加了凋落物资源的异质性,为土壤存在的不同种类微生物的生长繁殖提供了所需的营养物质^[29],进而提高了土壤微生物碳、氮含量^[12, 14, 16, 19, 30]。

相关分析表明,添加单种或两种凋落物后土壤微生物量碳、氮含量在培养的一定时期内与凋落物的碳氮比和全氮含量间均有显著的相关性,说明单种或两种凋落物混合物的碳氮比和全氮含量在一定程度上是影响土壤微生物量碳氮变化的主要影响因素^[12, 19, 31]。但 3 种凋落物混合处理土壤微生物量碳氮含量与凋落物总碳氮比间的相关性未达显著水平,这可能是 3 种不同类型凋落物混合后,其化学成分更加复杂,除凋落物的碳氮比和全氮含量外,凋落物的其他组分也会影响土壤微生物的利用,进而影响土壤微生物量碳氮的含量^[19]。因此,有必要进一步研究不同凋落物化学组分对其分解转化特性及土壤微生物量碳、氮含量的影响。

3.2 不同植物凋落物混合降低了土壤矿质氮含量

本研究发现,在整个培养期间,添加不同凋落物后土壤矿质态氮含量一直低于对照处理,其他学者的研究也得出了相似的结果^[11, 32-35];不同凋落物处理相比,土壤矿质态氮含量总体平均为,单种凋落物>两种凋落物混合>三种凋落物混合,与土壤微生物量碳氮含量的变化趋势正好相反。这是由于添加凋落物后,不同凋落物的碳/氮比相对较高,土壤微生物在利用凋落物碳源的同时,固持了土壤中已有的矿质态氮^[11, 32]。相关分析表明,在培养的一段时期内,土壤矿质态氮含量与单种和两种凋落物混合后的全碳和全氮含量间存在显著相关性;但土壤矿质态氮含量与 3 种植物凋落物混合后的全氮和全碳含量间的相关性未达显著水平,这可能也与多种凋落物混合后的成分更加复杂有关。

3.3 不同植物凋落物混合在协调土壤碳、氮转化方面的作用

本研究中将不同种类植物凋落物混合后,虽然混合物的碳氮比、总碳、全氮含量差异减小,但由于混合物的化学成分更加复杂,加入土壤后对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响存在明显差异,即添加不同凋落物增加了土壤微生物量碳氮含量,降低了土壤矿质氮含量,这无疑会减少土壤无机氮素的损失,增加土壤氮素的保持,进而提高土壤肥力^[14, 17]。因此,在黄土高原地区进行退耕还林还草为主的植被重建时,有必要在选择植物种类时采用不同植物进行搭配的方法,增加植物物种的丰富度,以促进土壤生物代谢途径的多样化,

使生态系统向健康方向发展。

本研究采用室内培养法评价了不同种类植物凋落物混合后对土壤微生物量碳、氮及矿质氮含量的影响,有必要进一步通过田间试验进行深入的研究,以更有效地指导黄土高原地区正在进行的退耕还林还草工程。

References:

- [1] Zhang W R, Xu B T, Yang C D, Li B, Tu X N. Studies on structure and function of forest floors of mountain forest soils. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(2): 121-131.
- [2] Cheng D S. *Forest Microorganisms Ecology*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1993.
- [3] Rogers B F, Tate R L III. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(10): 1389-1401.
- [4] Powlson D S, Prookes 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.
- [5] Jenkinson D S, Ladd J N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover//Paul E A, Ladd J N, eds. *Soil Biochemistry*(Vol 5). New York: Dekker, 1981: 414-472.
- [6] Xue S, Liu G B, Dai Q H, Li X L, Wu R J. Dynamic changes of soil microbial biomass in the restoration process of shrub plantations in loess hilly area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 517-523.
- [7] Xue S, Liu G B, Dai Q H, Zhang C, Yu N. Dynamics of soil microbial biomass on the abandoned cropland in loess hilly area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(3): 943-950.
- [8] 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.
- [9] Zhang Y Y, Qu L Y, Chen L D, Wei W. Soil microbial properties under different vegetation types in loess hilly region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 165-173.
- [10] Huang Y M, An S S, Xue H. Responses of soil microbial biomass C and N and respiratory quotient($q\text{ CO}_2$) to revegetation on the Loess Hilly-Gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [11] Wang C Y, Zhou J B, Dong Y J, Chen X L, Li J. Effects of plant residues and nitrogen forms on microbial biomass and mineral nitrogen of soil in the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(24): 7092-7100.
- [12] Hu Y L, Wang S L, Huang Y, Yu X J. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [13] Liao L P, Lindley D K, Yang Y H. Decomposition of mixed foliar litter I. A microcosm study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(5): 459-464.
- [14] Liao L P, Ma Y Q, Wang S L, Gao H, Yu X J. Decomposition of leaf litter of Chinese fir in mixture with major associated broad leaved plantation species. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 27-33.
- [15] Wang S L, Liao L P, Ma Y Q. Nutrient return and productivity of mixed *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(4): 347-352.
- [16] Lin K M, Zhang Z Q, Cao G Q, He Z M, Ma X Q. Decomposition characteristics and its nutrient dynamics of leaf litter mixtures of both Chinese fir and *Phoebe bournei*. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2732-2738.
- [17] Lin K M, Hong W, Yu X T, Huang B L. Decomposition interaction of mixed litter between Chinese fir and various accompanying plant species. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(3): 321-325.
- [18] Lin K M, Zhang Z Q, Zou S Q, Cao G Q. The influence of Chinese Fir mixed with broad-leaf litter decomposition on character of forest soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(2): 258-262.
- [19] Wang Q G, Wang S L, Yu X J, Zhang J, Liu Y X. Effects of *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved tree species mixed leaf litters on active soil organic matter. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1203-1207.
- [20] Blair J M, Parmelee R W, Beare M H. Decay rates, nitrogen fluxes, and decomposer communities of single-and mixed-species foliar litter. *Ecology*, 1990, 71(5): 1976-1985.
- [21] Briones M J I, Ineson P. Decomposition of eucalyptus leaves in litter mixtures. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(10/11): 1381-1388.
- [22] Carlyle J C, Malcolm D C. Nitrogen availability beneath pure and mixed larch + spruce stands growing on a deep peat I. Net N mineralization measured by field and laboratory incubations. *Plant Soil*, 1986, 93(1): 95-113.
- [23] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [24] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. *Methods and Applied of Microbial Biomass*. Beijing: Meteorological Press, 2006.
- [25] Zhou J B, Li S X. Choosing of a proper oxidizer for alkaline persulfate oxidation to determining total nitrogen in solution. *Plant Nutrient and Fertilizer Science*, 1998, 4(3): 299-304.

- [26] Wang C H, Xing X R, Han X G. Advances in study of factors affecting soil N mineralization in grassland ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2184-2188.
- [27] Helfrich M, Ludwig B, Potthoff M, Flessa H. Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(7): 1823-1835.
- [28] Zhou J B, Li S Q. Soil microbial biomass nitrogen and its significance in dryland//Li S X. *Soil and Plant Nitrogen in Dryland Areas of China*. Beijing: Science Press, 2008: 138-187.
- [29] Rustad L E, Cronan C S. Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, 18(6): 947-953.
- [30] Liu Q, Peng S L, Bi H, Zhang H Y, Ma W H, Li Y N. The reciprocal decomposition of foliar litter in tropical and subtropical forests. *Acta Scientiarum Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(4): 77-78, 88, 98.
- [31] Jiang X F, Luo J, Huang Q W, Xu Y C, Yang X M, Shen Q R. Effect of different organic-inorganic mixed fertilizer application on pepper yield and soil microbial properties. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(4): 766-773.
- [32] Rowell D M, Prescott C E, Preston C M. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: Relationship with initial chemistry. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(4): 1401-1410.
- [33] Aber J D, Melillo J M. Nitrogen immobilization in decaying hardwood leaf litter as a function of initial nitrogen and lignin content. *Canadian Journal of Botany*, 1982, 60: 2263-2269.
- [34] Bryant D M, Holland E A, Seastedt T R, Walker M D. Analysis of litter decomposition in an alpine tundra. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76(7): 1295-1304.
- [35] Wang J, Huang J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 375-380.

参考文献:

- [1] 张万儒, 许本彤, 杨承栋, 李彬, 屠星南. 山地森林土壤枯枝落叶层结构和功能的研究. *土壤学报*, 1990, 27(2): 121-131.
- [2] 程东升. *森林微生物生态学*. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993.
- [6] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 李小利, 吴瑞俊. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物量演变. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 517-523.
- [7] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 张超, 余娜. 黄土丘陵区退耕撂荒地土壤微生物量演变过程. *中国农业科学*, 2009, 42(3): 943-950.
- [8] 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.
- [9] 张燕燕, 曲来叶, 陈利顶, 卫伟. 黄土丘陵沟壑区不同植被类型土壤微生物特性. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 165-173.
- [10] 黄懿梅, 安韶山, 薛虹. 黄土丘陵区草地土壤微生物 C、N 及呼吸熵对植被恢复的响应. *生态学报*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [11] 王春阳, 周建斌, 董燕婕, 陈兴丽, 李婧. 黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响. *生态学报*, 2010, 30(24): 7092-7100.
- [12] 胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 于小军. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [13] 廖利平, Lindley D K, 杨永辉. 森林凋落物混合分解的研究 I. 缩微(Microcosm)实验. *应用生态学报*, 1997, 8(5): 459-464.
- [14] 廖利平, 马越强, 汪思龙, 高洪, 于小军. 杉木与主要阔叶造林树种凋落物的混合分解. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 27-33.
- [15] 汪思龙, 廖利平, 马越强. 杉木火力楠混交林养分归还与生产力. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 347-352.
- [16] 林开敏, 章志琴, 曹光球, 何宗明, 马祥庆. 杉木与楠木凋落物混合分解及其养分动态. *生态学报*, 2006, 26(8): 2732-2738.
- [17] 林开敏, 洪伟, 俞新妥, 黄宝龙. 杉木与伴生植物凋落物混合分解的相互作用研究. *应用生态学报*, 2001, 12(3): 321-325.
- [18] 林开敏, 章志琴, 邹双全, 曹光球. 杉木与阔叶树凋落物混合分解对土壤性质的影响. *土壤通报*, 2006, 37(2): 258-262.
- [19] 王清奎, 汪思龙, 于小军, 张剑, 刘燕新. 杉木与阔叶树凋落物混合分解对土壤活性有机质的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1203-1207.
- [23] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [24] 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.
- [25] 周建斌, 李生秀. 碱性过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量氧化剂的选择. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(3): 299-304.
- [26] 王常慧, 邢雪荣, 韩兴国. 草地生态系统中土壤氮素矿化影响因素的研究进展. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2184-2188.
- [28] 周建斌, 李世清. 旱地土壤中的微生物氮及其意义//李生秀. *中国旱地土壤植物氮素*. 北京: 科学出版社, 2008: 138-187.
- [30] 刘强, 彭少麟, 毕华, 张洪溢, 马文辉, 李妮亚. 热带亚热带森林凋落物交互分解的研究. *中山大学学报: 自然科学版*, 2004, 43(4): 77-78, 88, 98.
- [31] 蒋小芳, 罗佳, 黄启为, 徐阳春, 杨兴明, 沈其荣. 不同原料堆肥的有机无机复混肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 766-773.
- [35] 王瑾, 黄建辉. 暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 375-380.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shenggong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixin, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

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 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 8 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