

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

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
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	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

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

王春阳, 周建斌*, 董燕婕, 陈兴丽, 李 婧

(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环境建设,使得进入土壤生态系统有机物的种类及数量发生变化,其对土壤微生物量碳、氮的影响是值得关注的问题。采用室内培养法研究了采自该区6种不同植物凋落物(碳氮比在15.1—50.7之间)及其与不同形态氮素(NH_4^+ -N及 NO_3^- -N)配合对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响。结果表明,加入不同凋落物均显著提高了土壤微生物量碳、氮含量,其中加入柠条、沙打旺等碳氮比低的凋落物在培养的一段时期内土壤微生物量碳、氮均高于碳氮比高的凋落物(刺槐、沙柳和长芒草)。在加入凋落物再施用 NH_4^+ 或 NO_3^- ,也提高了土壤微生物量碳、氮含量,其中铵态氮处理土壤微生物量碳、氮含量的增加达显著水平,说明微生物更易利用铵态氮。加入C/N高的凋落物后土壤中的矿质氮发生固持,矿质态氮固持量与凋落物的C/N比呈显著的正相关关系。建议在黄土高原丘陵沟壑区植被恢复过程中,有必要考虑不同植物凋落物的碳、氮养分含量及转化特性,以协调土壤碳、氮转化过程。

关键词:黄土高原;植物凋落物;土壤微生物量碳氮;碳氮比

Effects of plant residues and nitrogen forms on microbial biomass and mineral nitrogen of soil in the Loess Plateau

WANG Chunyang, ZHOU Jianbin*, DONG Yanjie, CHEN Xingli, LI Jing

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

Abstract: Both the quality and quantity of plant residues returned into the soil ecosystems in the gully and valley region of the Loess Plateau have been substantially changed with the returning of croplands to forests and grasslands since 1990 in Northwestern China. However, no study has reported if soil carbon (C) or nitrogen (N) has been increased after one decade of such a land use change. An important mechanism to understand these changes is to know if and how soil microbial biomass C and N (SMBC, SMBN) and mineral N have been altered in this region. We conducted a time course incubation experiment to study the effects of external addition of the sole plant residue and the dual residue plus inorganic nitrogen fertilizer on these three parameters to a Loess soil (similar to Ustochnept in the US or Calcic cambisol in FAO system) under laboratory conditions. Six local plant residues (*Astragalus adsurgens* Pall., *Caragana Korshinskii* Kom., *Robinia pseudoacacia* L., *Salix psammophila* Stipa bungeana Trin. and *Ulmus pumila* L., which were taken from the Loess Plateau with an average of 15.08—50.67 C/N ratio, as either a sole source (2.5 g organic C/kg DW soil) or with two inorganic N of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and KNO_3 (0.1 gN/kg DW soil), were mixed into 400 g dry soils (2 mm sieved) and incubated at $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$. A total of twenty-one treatments were designed with three replicates for each treatment. Both SMBC and SMBN in the incubated soils were analyzed at 0, 1, 7, 14, 28, 84 and 112 d, whilst mineral N was analyzed at 0, 0.5, 1, 3, 5, 7, 14, 21, 35, 70, 84, 98d and 112 d after the incubation. The moisture of incubated soils was maintained at 70% field water holding capacity by adding water once every two days. In general, the addition of the sole plant residue significantly

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

收稿日期:2009-11-13; **修订日期:**2010-09-17

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

increased the contents of SMBC and SMBN. The increasing rates of SMBC and SMBN were higher when the plant residues with low C/N ratios (e.g., *A. adsurgens*, *C. Korshinskii*,) than those with a higher C/N ratio (*R. pseudoacacia*, *Salix psammophila*, *Stipa bungeana*). The dual addition of plant residue and N fertilizer, either as NH_4^+ -N or NO_3^- -N, also increased the contents of SMBC and SMBN, and the increasing rate was significant higher under the NH_4^+ -N treatment, but not under the NH_4^+ -N treatment, compared to the sole plant residue treatment. Our results thus indicated that microorganisms in this Loess soil may prefer to use NH_4^+ -N rather than NO_3^- -N. In addition, the addition of plant residues with higher C/N ratios increased the immobilization of mineral N in the soil, and there was a positively significant relationship between the immobilized N and the C/N ratio in the plant residues. As a consequence, to adjust the processes of soil C and N transformations, our results suggested that both the characteristics of C and N in plant residues and the inorganic form of N fertilizer that applied to the soil should be considered for a better vegetation restoration in the gully and valley region in the Loess Plateau.

Key Words: the Loess Plateau; plant residues; soil microbial biomass carbon & nitrogen; C/N ratios

土壤和植被是一个有机整体,二者相辅相成、互相影响。土壤系统为植被生长提供必需的营养物质,而植物生长产生的凋落物又可改善土壤的肥力状况。土壤微生物作为土壤有机质和养分转化的驱动力,参与有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化和循环等过程,在土壤生态系统的能量流动和养分转化中起着重要作用^[1]。土壤微生物对外界条件诸如土地利用、管理措施等的变化十分敏感,与土壤生态系统的稳定和健康息息相关,能够及时反映土壤质量状况变化^[2-5]。土壤微生物生物量是表征土壤质量时应用较普遍的生物学指标,其大小和活性与来源于植物残体、有机物质以及土壤中氮、磷等营养元素的数量和质量密切相关^[6-8]。

黄土高原丘陵沟壑区地形支离破碎、土壤侵蚀严重,是我国乃至全球水土流失最为严重的地区之一,而植被恢复是治理该地区水土流失的关键措施^[9]。近 10a 来,该区实施的退耕还林、还草、封山育林等植被恢复措施已取得良好的效果,但以往对植被恢复的研究和评价多集中于减少径流泥沙及养分流失等方面^[10]。在植被恢复过程中,植被凋落物增加了有机物质的输入,使土壤有机质等养分含量提高^[11],为微生物提供更为丰富的碳源,这无疑会影响土壤微生物的活性及种群结构^[12-13],而有关不同植物凋落物对土壤微生物量碳、氮影响的研究相对较少。近年来,由于这一地区工农业生产发展,通过干湿沉降进入土壤生态系统中的氮素含量有所增加^[14-15]。但关于高原丘陵沟壑区不同植物凋落物和不同形态氮素配合对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响尚少见报道。

因此,本文选择黄土高原地区几种典型植被类型为研究对象,研究了其凋落物及不同氮素形态加入土壤后对土壤微生物量碳、氮含量及矿质态氮含量的影响,旨在为黄土高原地区以植被恢复为主的生态环境建设提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤及植物凋落物于 2008 年 10 月采自中国科学院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($\text{E}110^{\circ}21'—110^{\circ}23'$, $\text{N}38^{\circ}46'—38^{\circ}51'$),年平均温度 8.4°C ,无霜期 169 d,平均降雨量 437.9 mm,平均干燥度 1.8,属典型的半干旱地区。采集 0—20 cm 土壤样品,前茬作物为黄豆,土壤类型为黄绵土,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 7.92,速效磷 2.56 mg/kg,粘粒 14.7% ($<0.001\text{mm}$),粉沙粒含量 51.1%。

采集了 6 种不同植物的凋落物,其中乔木包括榆树和刺槐,灌木包括柠条和沙柳,草本包括长芒草和沙打旺。这些植物均属当地分布较为广泛的主要植物种类。采样时乔、灌木均采集其叶片,草本采集其整个地上部分。采回后洗涤,自然风干后置 60°C 烘干。将烘干的植物残体粉碎过筛(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 The main chemical properties of the plant residues used

编号 No.	植物凋落物 Plant residues	全碳 TC/(g/kg)	全氮 TN/(g/kg)	C:N ratios
A	榆树 <i>Ulmus pumila</i> L.	422.58	25.36	16.66
B	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	437.73	14.92	29.33
C	柠条 <i>Caragana Korshinskii</i> Kom.	466.85	30.95	15.08
D	沙柳 <i>Salix psammophila</i>	488.22	10.77	45.33
E	长芒草 <i>Stipa bungeana</i> Trin.	499.46	9.86	50.67
F	沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i> Pall.	427.93	27.01	15.84

1.2 培养试验

试验设两个因素,分别为氮素形态和植物凋落物种类(6种),其中氮素形态分别为铵态氮($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)和硝态氮(KNO_3),用量均为 0.1 gN/kg 干土;植物凋落物的加入量为 2.5 g 有机碳/kg 干土。采用完全试验方案,共 21 个处理(包含不添加氮素和植物凋落物的处理作为对照),每个处理重复 3 次。

在培养试验开始前,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%,预培养一周,以恢复土壤微生物活性。然后称取相当于 400 g 风干土的预培养土样于培养盒中,氮素和植物凋落物分别按照上述比例加入土壤,充分混合均匀,将培养盒置于 $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ 暗室中好气培养,在培养的 0、1、7、14、28、84、112 d 从每个培养盒中分别取样,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、35、70、84、98、112 d 取样测定土壤矿质态氮含量。在培养过程中,每隔 2 d 以重量法补充水分,保持土壤含水量相对稳定。

1.3 测定及计算方法

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。土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸浸提法^[16],即 0.5mol/L K_2SO_4 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^[17];土壤可溶性全碳采用 TOC 分析仪(Phoenix8000)测定;土壤矿质态氮(NH_4^+-N 和 NO_3^--N)采用 0.5mol/L K_2SO_4 按水土比为 4:1 浸提,振荡 0.5h,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法比较不同处理间的差异。

2 结果与分析

2.1 不同植物凋落物及氮素形态对土壤微生物量碳的影响

由图 1a 可以看出,未添加氮素只施入植物凋落物后,显著提高了培养期间土壤微生物量碳含量。不同植物凋落物处理相比,沙打旺处理土壤微生物量碳含量在培养开始到第 7 天无差异,从第 7 天到培养结束均高于其它处理,且从第 7 天至 84 天差异达极显著水平($P < 0.01$),到培养试验结束时仍高于其他处理平均达 39.2 mg/kg;榆树凋落物在培养的第 28 天到结束均显著高于除沙打旺以外的其它凋落物($P < 0.05$),其它时期差异均不显著。其余 4 种凋落物处理各时期土壤微生物量碳含量差异均不显著。

氮素和植物凋落物同时施入土壤后,与无氮处理相比,明显增加了土壤微生物量碳的含量,且不同氮素形态对土壤微生物量碳的影响存在差异(图 1b, 1c)。施入铵态氮和植物凋落物后,从培养的第 7 天到结束土壤微生物量碳含量均高于仅施用铵态氮处理(图 1b)。与仅添加植物凋落物处理相比较,施用铵态氮后各植物凋落物处理土壤微生物量碳含量在培养的第 7 天均有不同程度的增加,且在第 28 天差异达极显著水平($P < 0.01$),到培养结束时铵态氮处理平均高出不施氮处理 31.5 mg/kg。沙打旺凋落物处理土壤微生物量碳含

量在培养的第 7 天和第 28 天均极显著高于其他凋落物处理($P < 0.01$)。

与仅添加植物凋落物处理相比较,同时施用硝态氮与植物凋落物后各处理土壤微生物量碳含量在培养的第 7 天和 28 天均有不同程度的增加(图 1c)。到培养结束时土壤微生物量碳含量平均高出仅施用植物凋落物处理 18.3 mg/kg。沙打旺处理土壤微生物量碳含量在培养试验开始后的第 7 天至第 84 天均显著高于其他植物凋落物处理,在第 7 天差异达到最大($P < 0.01$)。

不同形态氮素之间相比较,铵态氮处理土壤微生物量碳在培养的第 28 天均高于硝态氮处理,且除榆树凋落物处理外均达显著水平($P < 0.05$)。培养试验结束时,铵态氮处理的土壤微生物量碳平均比硝态氮处理高 10.3 mg/kg。

由图 1 可以看出,随着所添加凋落物碳氮比的增加,土壤微生物量碳含量在第 7 天的峰值呈现出降低趋势。

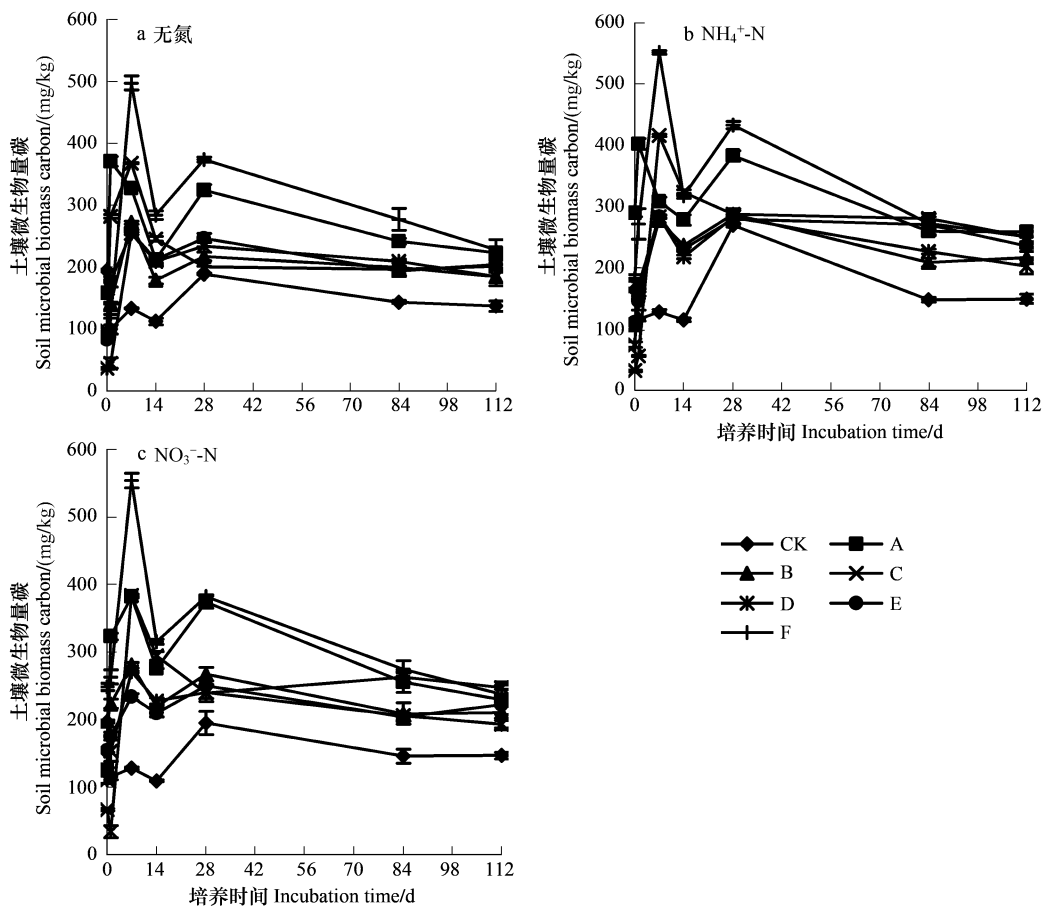


图 1 加入植物凋落物和不同形态氮素对土壤微生物量碳的影响

Fig. 1 Effects of plant residues and nitrogen forms on soil microbial biomass carbon during the incubation

A: 榆树 *Ulmus pumila* L.; B: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* L.; C: 柠条 *Caragana Korshinskii* Kom.; D: 沙柳 *Salix psammophila*; E: 长芒草 *Stipa bungeana* Trin.; F: 沙打旺 *Astragalus adsurgens* Pall.

2.2 不同植物凋落物及氮素形态对土壤微生物量氮的影响

由图 2a 可以看出,施用植物凋落物后在培养试验开始后的第 7 天到结束各处理土壤微生物量氮均显著高于未加入凋落物对照($P < 0.05$),且在第 7 天差异最大,到培养结束时仍高于对照 7.4 mg/kg。不同植物凋落物相比,除柠条处理土壤微生物量氮在培养试验开始后的第 7 天有一个峰值外,其他植物凋落物处理在第 7 天和第 28 天均有峰值;沙打旺凋落物处理土壤微生物量氮高于其他凋落物处理,从第 7 天至第 84 天达显著水平($P < 0.05$),且在第 7 天差异最大,平均为 27.9 mg/kg。

由图 2b 及 2c 可以看出,与无氮素处理相比,同时施用氮素和植物凋落物后明显增加了土壤微生物量氮含量,且不同氮素形态对土壤微生物量氮的影响不同。施用铵态氮和植物凋落物后(图 2b),土壤微生物量氮含量从培养的第 7 天到结束均显著高于仅施铵态氮的处理($P < 0.05$),且在第 7 天差异最大,平均为 27.6 mg/kg。在培养试验开始后的第 7 天和第 28 天,沙打旺凋落物处理的土壤微生物量氮极显著高于其他植物凋落物处理($P < 0.01$)。

同时施用硝态氮和植物凋落物后,土壤微生物量氮从培养的第 7 天至结束均显著高于仅施硝态氮处理($P < 0.05$),在第 7 天差异最大,平均为 27.4 mg/kg,到培养结束时差异有所减小。从培养试验开始到第 84 天,沙打旺处理土壤微生物量氮均高于其他处理,且在第 7 天差异达极显著水平($P < 0.01$)。到培养结束时,除柠条凋落物处理的土壤微生物量氮略高于沙打旺凋落物处理外,其他处理均低于沙打旺凋落物处理。

不同形态氮素对土壤微生物量氮含量有一定的影响作用。在培养的第 28 天,施用铵态氮的土壤微生物量氮平均高出施用硝态氮处理 4.3 mg/kg,且达显著水平($P < 0.05$)。在其他时期不同氮素形态对土壤微生物量氮的影响未达显著水平($P > 0.05$)。

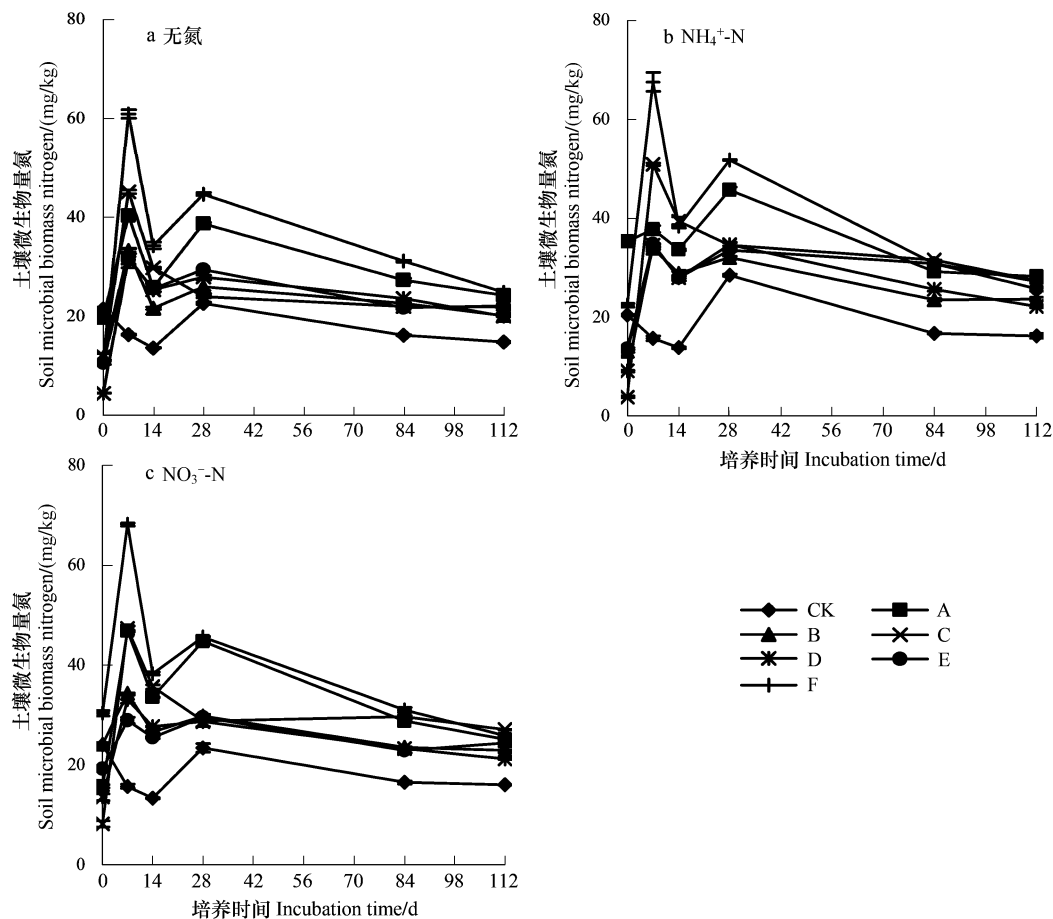


图 2 加入植物凋落物 and 不同形态氮素对土壤微生物量氮的影响

Fig. 2 Effects of plant residues and nitrogen forms on soil microbial biomass nitrogen during the incubation

A: 榆树 *Ulmus pumila* L.; B: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* L.; C: 柠条 *Caragana Korshinskii* Kom.; D: 沙柳 *Salix psammophila*; E: 长芒草 *Stipa bungeana* Trin.; F: 沙打旺 *Astragalus adsurgens* Pall.

2.3 不同植物凋落物及氮素形态对土壤矿质态氮的影响

由图 3a 可以看出,仅添加植物凋落物后,随着所添加植物凋落物碳氮比的增加,土壤矿质态氮含量越低,说明发生氮素的固持作用。添加柠条凋落物($C/N = 15.1$)土壤矿质态氮在整个培养期间均高于无凋落物对

照,且随着培养时间的延长土壤矿质态氮呈增加趋势;添加沙打旺凋落物($C/N = 15.8$),从培养第7天到结束土壤矿质态氮含量高于无凋落物对照处理,到培养试验结束时比对照高 100.4 mg/kg ;榆树($C/N = 16.7$)和刺槐($C/N = 29.3$)凋落物处理土壤矿质态氮分别在培养的第70天和第112天高于对照;而沙柳($C/N = 45.3$)和长芒草($C/N = 50.7$)凋落处理土壤矿质态氮在整个培养期间均低于无植物凋落物对照。

将铵态氮和植物凋落物同时施用后,土壤矿质态氮含量随着所添加的植物凋落物种类的不同而不同(图3b)。添加柠条凋落物的土壤矿质态氮在培养的整个过程中均高于仅施铵态氮处理,到培养试验结束时达最大(高 46.4 mg/kg)。沙打旺处理土壤矿质态氮从培养的第35天到结束均高于仅施铵态氮处理,到培养试验结束时高出仅施铵态氮处理 60.0 mg/kg ,差异达最大($P < 0.01$)。榆树凋落物土壤矿质态氮从培养试验开始后的第70天至结束高于仅施铵态氮处理。而刺槐、沙柳和长芒草凋落物处理的土壤矿质态氮含量在整个培养期间始终低于仅施用铵态氮处理。

由图3c可以看出,同时施用植物凋落物和硝态氮后,从培养的第7天至结束,添加柠条、沙打旺凋落物,土壤矿质态氮均高于仅施硝态氮处理,在培养试验结束时分别高于仅施硝态氮处理 41.4 mg/kg 和 55.9 mg/kg ($P < 0.01$);榆树凋落物土壤矿质态氮从培养的第70天到结束高于仅施硝态氮处理;刺槐、沙柳和长芒草凋落物处理的土壤矿质态氮含量从培养试验开始后的第5天至结束均低于只施用硝态氮处理,到培养结束时仍平均相差 19.7 mg/kg 。

不同形态氮素对土壤矿质态氮含量具有显著的影响。在整个培养期间,同一凋落物分别配合施用不同形

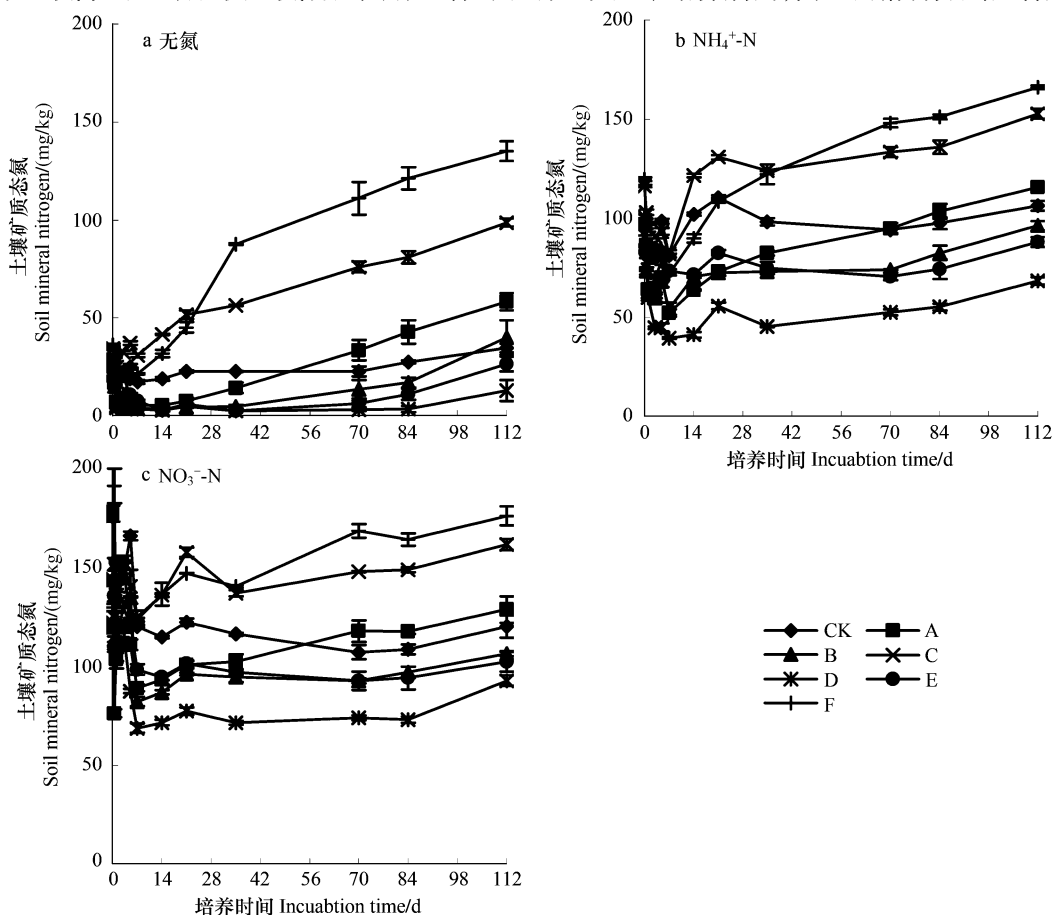


图3 加入植物凋落物和不同形态氮素对土壤矿质态氮的影响

Fig. 3 Effects of plant residues and nitrogen forms on soil mineral nitrogen during the incubation

A: 榆树 *Ulmus pumila* L.; B: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* L.; C: 柠条 *Caragana Korshinskii* Kom.; D: 沙柳 *Salix psammophila*; E: 长芒草 *Stipa bungeana* Trin.; F: 沙打旺 *Astragalus adsurgens* Pall.

态氮素后,土壤矿质态氮含量的差异均达显著水平($P < 0.05$),且规律一致:硝态氮处理 > 铵态氮处理 > 无氮素处理。随着培养时间的延长,施用不同形态氮素的土壤矿质态氮含量差异呈减小趋势。硝态氮处理土壤矿质态氮平均高出不施用氮素处理最高时达 117.6 mg/kg,到培养结束时减小为 68.9 mg/kg。铵态氮处理的土壤矿质态氮平均高出不施氮处理最高时达 73.0 mg/kg,到培养结束时差异有所减小(为 55.4 mg/kg)。

3 讨论

3.1 加入植物凋落物及其与氮素配合施用提高了土壤微生物量碳、氮含量

本研究发现,添加植物凋落物后显著增加了土壤微生物量碳、氮含量,这一结果与前人的研究一致^[18-20]。这与施用植物凋落物后为土壤微生物提供了大量的碳源物质,促进微生物繁殖有关。但不同植物凋落物对土壤微生物量碳、氮含量的影响不同,加入碳氮比低的凋落物,如柠条(碳氮比 15.08)、沙打旺(15.84)处理土壤微生物量碳、氮含量在培养的一定时期内均高于碳氮比高的榆树(碳氮比 16.66)、刺槐(29.33)、沙柳(45.33)和长芒草(50.67)。说明植物凋落物的 C/N 比是其归还土壤后土壤微生物量碳、氮含量差异的主要原因之一。

同时添加植物凋落物和氮素后,显著增加了土壤微生物量碳、氮含量。与未添加氮素和凋落物的对照相比,同时添加凋落物和氮素处理土壤微生物量碳、氮量从培养的第 1 天至结束均显著高于对照($P < 0.05$),且在第 7 天最大,这是因为同时施用氮素和植物凋落物给土壤微生物提供了足够的碳源和氮源,有利于土壤微生物的生长繁殖,从而使微生物量碳、氮含量迅速增加。

本试验中添加柠条、沙打旺和榆树凋落物(碳氮比为 15.84—16.66)后,土壤矿质态氮含量在培养后的第 7 天开始缓慢增加;而添加碳氮比相对较高的刺槐、沙柳和长芒草凋落物(29.33—50.67)处理土壤矿质态氮含量在培养试验开始后的第 7 天到第 84 天基本保持不变,随后缓慢增加。土壤矿质态氮的增加量与凋落物的碳氮比呈显著负相关性($r = -0.660$),与 Rowell^[21]等的研究结果相似。这与加入碳氮比高的植物凋落物后能源物质丰富,微生物对土壤存在的矿质态氮的固持作用较强有关^[22]。

3.2 不同形态氮素与凋落物配合对土壤微生物量碳、氮及矿质氮含量影响不同

研究表明,施用不同形态氮素对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量均有显著的影响作用。培养期间铵态氮处理土壤微生物量碳、氮有高于硝态氮处理的趋势,其中第 28 天的差异达显著水平($P < 0.05$)。这可能与土壤微生物优先利用铵态氮有关^[23-24]。

在整个培养期间,铵态氮处理土壤矿质态氮含量均显著低于硝态氮处理($P < 0.05$),这与铵态氮施入土壤后转化途径多(包括生物固持、晶格固定和挥发作用)有关^[25-27]。随着培养时间的延长,施用硝态氮和铵态氮处理土壤矿质态氮含量的差异逐渐缩小,如试验起始测定两者土壤矿质态氮相差 36.7 mg/kg,到培养结束时的差值为 13.6 mg/kg。这可能与培养起始阶段生物固持及晶格固定铵态氮在培养过程中释放有关^[27-29]。

干旱缺水、土壤贫瘠是黄土高原区植被恢复重建中的主要制约因素。在这一地区退耕还林还草时已根据不同区域的水分状况确定植被恢复的种类^[30-32]。研究表明,黄土高原区不同植物凋落物种类对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响存在明显的差异,因此,在这一地区植被恢复中选择植物种类时,有必要考虑不同植物凋落物的碳、氮转化特性,以协调土壤碳、氮平衡关系,最大限度的发挥生物因素在植被恢复重建中对土壤肥力恢复的作用。

References:

- [1] Zhou J B, Chen Z J, Li S X. Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relation ships with nitrogen supplying ability of soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10):1718-1725.
- [2] Miller M, Dick R P. Dynamics of soil C and microbial biomass in whole soil and aggregates in two cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 1995, 2: 253-261.
- [3] Pascual J A, Garcia C, Hernandez T, Moreno J L, Ros M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32:1877-1883.

- [4] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderon F J, Stromberg M R, Scow K M. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34: 1599-1611.
- [5] Bucher A E, Lanyon L E. Evaluating soil management with microbial community-level physiological profiles. *Applied Soil Ecology*, 2005, 29: 59-71.
- [6] Doran J W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1987, 5: 68-75.
- [7] Smith L J, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations. *Soil Biochemistry*, 1990, 6: 357-359.
- [8] Gunapala N, Scow K M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 805-816.
- [9] Zheng F L. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau. *Pedosphere*, 2006, 16: 420-427.
- [10] Zhang B, Yang Y S, Zepp H. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China. *Catena*, 2004, 57: 77-90.
- [11] Xie J S, Yang Y S, Yang Z J, Huang S D, Chen G S. Seasonal variation of light fraction organic matter in degraded red soil after vegetation restoration. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 557-563.
- [12] 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.
- [13] Harris J A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 801-808.
- [14] Liu X J, Zhang F S. Nutrient from environment and its effect in nutrient resources management of ecosystems — a case study on atmospheric nitrogen deposition. *Arid Zone Research*, 2009, 26(3): 306-311.
- [15] Wei Y, Tong Y A, Duan M, Qiao L, Tian H W, Lei X Y, Ma W J. Atmospheric dry and wet nitrogen deposition in typical agricultural areas of North Shaanxi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 255-259.
- [16] Wu J S. *Methods and Applied of Microbial Biomass*. Beijing: Meteorological Press, 2006.
- [17] 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.
- [18] Li G T, Zhao Z J, Huang Y F, Li B G. Effect of straw returning on soil nitrogen transformation. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 162-167.
- [19] 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 & Biochemistry*, 2008, 40: 1823-1835.
- [20] 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.
- [21] 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: 1401-1410.
- [22] Yang G, He X Y, Wang K L, Huang J S, Chen Z H, Li Y Z, Ai M R. Effects of vegetation types on soil micro-biomass carbon, nitrogen and soil respiration. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 189-191.
- [23] Malhi S S, Nyborg M. Field study of the fate of fall-applied ^{15}N -labelled fertilizers in three Alberta soils. *American Society of Agronomy*, 1983, 75: 71-74.
- [24] Recous S, Mary B. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 1990, 22: 913-922.
- [25] Dentener F J, Crutzen P J. A three-dimensional model of the global ammonia cycle. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1994, 19(4): 331-369.
- [26] Li S X, Liu C Y. Ammonia volatilization from calcareous soil I. Effects of soil properties on N loss by volatilization. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, 11: 125-129.
- [27] Zhang C Y, Li S X. The studies on fixed NH_4^+ and effecting factors on it in soils from west China. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(2): 54-58.
- [28] Li S Q, Ling L, Li S X. Review on the factors affecting soil microbial biomass nitrogen. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(2): 158-162.
- [29] Li Z Y, Li S Q. Change of non-exchangeable ammonium nitrogen in the process of organic nitrogen mineralization of typical soils on Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(2): 306-310, 314.
- [30] Ma Y H, Guo S L, Yang Y L, Wang X L, Yang G. Influence of vegetation types on soil organic C at Yangou catchment in the loess hilly-gully region. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 97-105.
- [31] Zhao H B, Liu G B, Xu M X. Review on vegetation restoration on nutrient changes in watershed of loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water*

Conservation, 2004, 24(2):173-188.

- [32] Zhang X P, Yang G H, Wang D X, Feng Y Z, Ren G X. Effect of different vegetation restoration models on soil microbial characters in the gully region of Loess Plateau. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2008, 36(5):149-159.

参考文献:

- [1] 周建斌,陈竹君,李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用. 生态学报,2001, 21(10):1718-1725.
- [11] 谢锦升,杨玉盛,杨智杰,黄石德,陈光水. 退化红壤植被恢复后土壤轻组有机质的季节动态. 应用生态学报, 2008, 19(3):557-563.
- [12] 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.
- [14] 刘学军,张福锁. 环境养分及其在生态系统养分资源管理中的作用——以大气氮沉降为例. 干旱区研究,2009, 26(3):306-311.
- [15] 魏样,同延安,段敏,乔丽,田红卫,雷小鹰,马文娟. 陕北典型农区大气干湿氮沉降季节变化. 应用生态学报,2010, 21(1):255-259.
- [16] 吴金水. 土壤微生物量的研究方法与应用. 北京:气象出版社, 2006.
- [17] 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.
- [18] 李贵桐,赵紫娟,黄元仿,李保国. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2):162-167.
- [20] 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研究进展. 应用生态学报, 2004, 15(11):2184-2188.
- [22] 杨刚,何寻阳,王克林,黄继山,陈志辉,李有志,艾美荣. 不同植被类型对土壤微生物量碳氮及土壤呼吸的影响. 土壤通报, 2008, 39(1):189-191.
- [26] 李生秀,刘彩云. 石灰性土壤铵态氮的挥发损失 I. 土壤性质对铵态氮挥发损失的影响. 干旱地区农业研究, 1993, 11:125-129.
- [27] 张崇玉,李生秀. 西部农业土壤固定态铵及影响因素的研究. 干旱地区农业研究,2003, 2003, 21(2):54-58.
- [28] 李世清,凌莉,李生秀. 影响土壤中微生物体氮的因子. 土壤与环境, 2000, 9(2):158-162.
- [29] 李紫燕,李世清. 黄土高原典型土壤有机氮矿化过程中非交换性铵态氮的变化. 水土保持研究, 2007, 14(2):306-310, 314.
- [30] 马玉红,郭胜利,杨雨林,王小利,杨光. 植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响. 自然资源学报, 2007, 22(1):97-105.
- [31] 赵护兵,刘国彬,许明祥. 黄土丘陵区植被恢复与流域养分环境演变研究进展. 水土保持通报, 2004, 24(2):173-188.
- [32] 张笑培,杨改河,王得祥,冯永忠,任广鑫. 黄土高原沟壑区不同植被恢复模式对土壤生物学特性的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(5):149-159.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元