

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

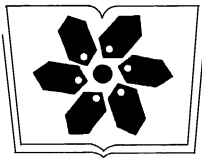
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **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 7 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚 伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘 曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘 琳,赵 晖,清 华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗 毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施 翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭 峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温 璐,董世魁,朱 磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董 丹,倪 健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王 华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐 林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡 剑,姜 东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张 彪,金 鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王 兵,魏江生,胡 文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁 秀,马克明,王 德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘 杰,王 涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁 帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张 阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马 晨,周顺桂,庄 莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王 惠,刘研萍,陶 莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白 杨,欧阳志云,郑 华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵 文,王雅倩,魏 杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙 耀,赵从明,等 (2046)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

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

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库 与微生物的季节变化

龚 伟, 胡庭兴*, 王景燕, 宫渊波, 罗承德

(四川农业大学林业生态工程省级重点实验室, 雅安 625014)

摘要:对川南天然常绿阔叶林及其人工更新成樟木林、柳杉林和水杉林后土壤不同形态氮素含量、微生物数量和脲酶活性进行研究,并探讨了它们之间的相互关系。结果表明:土壤全氮、微生物量氮、铵态氮和硝态氮含量、细菌、真菌和放线菌数量及脲酶活性,各林分均为秋季>春季>冬季>夏季,各季节均为天然常绿阔叶林>樟木林>水杉林>柳杉林。这说明天然常绿阔叶林人工更新后土壤不同形态氮素含量、微生物数量和脲酶活性下降,土壤保肥和供肥能力降低,而各人工林下降程度不同。土壤不同形态氮素含量与微生物数量和脲酶活性之间呈显著正相关,说明微生物数量及脲酶活性的变化能够表征土壤氮素含量变化。研究结果为保护天然常绿阔叶林、选择适宜的更新树种和天然常绿阔叶林人工更新后林地土壤的科学管理提供依据,也为退耕还林中树种的选择提供参考。

关键词:天然常绿阔叶林; 人工更新; 土壤氮库; 微生物; 土壤肥力

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China

GONG Wei, HU Tingxing*, WANG Jingyan, GONG Yuanbo, LUO Chengde

Sichuan Provincial Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

Abstract: Nitrogen (N) along with carbon is the most complex and crucial element essential for life, and plays a critical role in nutrient cycling. In terrestrial ecosystems, N availability is often a limiting factor that controls primary production and C storage. $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and microbial biomass N are different active N pools, and participate in short-term biological cycling within soil. N availability of soils is mostly influenced by these active N pools, which provide the information needed to determine the sustainability of land management. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ are the main soil nitrogen forms that can be directly absorbed and utilized by plants. Microbial biomass plays a critical role in nutrient cycling and is a sensitive indicator of changes in soil quality induced by management practices, and it contains the largest portion of the biologically active N in soil. Soil organic N turns into inorganic nitrogen with the help of soil microorganisms, which have the ability to degrade organic compounds and modify inorganic products, contributing in particular to the mineralization of nutrients. Any changes in the type or amount of organic matter entering the soil could directly affect the structure of the soil microbial community or the functions performed by the various microbial groups in soil. An investigation was carried out to study the differences in soil nitrogen fractions contents, culturable microbial counts and urase activity, and their relationships under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests of *Sassafras tzumu*, *Cryptomeria fortunei* and *Metasequoia glyptostroboides* in southern Sichuan Province, China. Soil samples were collected from each forest to determine soil nitrogen fractions, microbial counts and enzyme activity. Regression analysis was used to determine the

基金项目:国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-06, 2004BA606A-06);四川省教育厅项目(08zb038);四川农业大学211工程创新团队项目“长江上游植被恢复与重建”共同资助

收稿日期:2010-02-26; **修订日期:**2010-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hutx001@yahoo.com.cn

relationship between soil nitrogen fractions, microbial counts and enzyme activity. The results showed that the contents of soil total nitrogen, microbial biomass nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$, the counts of culturable bacteria, fungi and actinomycetes, and the activity of urase of all forests had the same seasonal pattern of autumn > spring > winter > summer, and in all seasons and followed the order of natural evergreen broadleaved forest > *Sassafras tzumu* plantation > *Metasequoia glyptostroboides* plantation > *Cryptomeria fortunei* plantation. Thus, artificial regeneration of natural evergreen broadleaved forest would result in decrease in all soil nitrogen fractions contents, microbial counts and urase activity, as well as the nutrient preserving and supplying capacity, but the size of change varies with regenerated forest types. The soil nitrogen fractions contents were positively and significantly correlated with microbial counts and urase activity, indicating that soil microbial counts and urase activity could be used to evaluate the soil nitrogen fractions contents for natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests. The results are significance in protection of natural evergreen broadleaved forest, tree selection for its artificial regeneration, and soil management, moreover, tree selection when converting farmland to forestland.

Key Words: natural evergreen broadleaved forest; artificial regeneration; soil nitrogen pools; microbes; soil fertility

氮是大气圈中含量最丰富,又是陆地生态系统大多数植物光合作用和初级生产过程中最易受限制的元素之一,在陆地生态系统功能中起着重要作用^[1]。铵态氮、硝态氮、微生物量氮等是土壤活性氮库的重要组分,它们参与土壤氮素的短期生物地球化学循环,很大程度上影响土壤氮素的有效性,对土壤氮素的转化和供应具有重要意义^[2]。铵态氮和硝态氮是植物能够直接吸收和利用的主要氮素形态。微生物生物量在养分循环与转化中起着重要作用,是土壤肥力和土壤质量短期变化的灵敏指标,它含有大量的土壤生物活性氮^[3]。不同群落类型、演替序列和群落中的物种组成及物种多样性可以影响土壤氮素形态,且不同树种组成通过凋落物质量和养分利用效率会对土壤氮素形态造成影响^[4]。另外,森林植被变化在影响环境条件的同时,也通过植物根系的作用、地上和地下凋落物的产生、冠层的截留和淋溶等过程影响土壤中微生物所需的能量,进而影响土壤微生物和土壤酶活性。尽管土壤和植被特征会影响森林中氮素转化,但是对基础的土壤-植物-微生物关系的了解事实上还很不足^[5]。

阔叶林冠层较厚,枝叶较浓密,凋落物量大,易分解,归还林地养分大于吸收养分,具有较高涵养水源、改良土壤的能力^[6]。过去由于为了满足木材生产的需求川南林区大部分天然常绿阔叶林转变成了人工林,使得这一区域生态环境破坏较为严重。川南天然常绿阔叶林更新成不同人工林后土壤不同形态氮素含量和微生物数量,及对氮素转化起催化作用的脲酶活性将发生怎样的变化,及其它它们之间的关系如何,目前有关这方面的研究资料尚未见报道,这难以满足该区植被恢复和建设的需要。鉴于此,本文对川南天然常绿阔叶林及其人工更新成樟木林、柳杉林和水杉林后土壤不同形态氮素含量、微生物数量和脲酶活性季节变化进行研究,并探讨它们之间的相互关系,以期为了保护天然常绿阔叶林,科学合理地经营和利用林地资源和选择适宜的造林树种或更新树种提供科学资料,为退耕还林中造林树种选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况

试验区位于四川省沐川县国有林场(103°47′—103°49′E, 28°29′—28°54′N),距沐川县城 19.5 km。地处五指山东北尾部,地形起伏大,南北走向,地势南高北低,多陡坡、断岩,海拔在 1100—1550 m,坡度 25—35°。属亚热带湿润季风气候,根据沐川县森林经营所气象站(海拔 1097 m)历年气象观测资料统计,全年日平均气温 12.8 °C,最高气温 30 °C,最低气温 -10 °C,全年降水量 1780 mm,年降雨 254 d 左右,7—8 月为雨季,月平均降雨量 331.6 mm。地带性植被属亚热带常绿阔叶林,土壤以黄壤为主,部分地区有黄棕壤和紫色土。试验地林分为天然常绿阔叶林、樟木(*Sassafras tzumu*)林、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)林和水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)林,天然常绿阔叶林乔木层主要由白毛新木姜子(*Neolitsea aurata*)、木荷(*Schima superba*)、总

状山矾 (*Symplocos botryantha*)、润楠 (*Machilus pingii*)、大叶石栎 (*Lithocarpus megalophyllus*)、青榨槭 (*Acer davidii*) 等构成,林下灌木主要有窄叶石栎 (*Lithocarpus confinis*)、四川山茶 (*Camellia szechuanensis*)、硬斗石栎 (*Lithocarpus hancei*)、赛楠 (*Nothaphoebe cavaleriei*)、石楠 (*Photinia serrulata*)、野牡丹 (*Melastoma candidum*) 等,林分密度为 525 株/hm²,平均树高为 21.2 m,平均胸径为 25.1 cm,郁闭度在 0.9 以上;檫木林、柳杉林、水杉林分别是 1988、1990 和 1992 年天然常绿阔叶林皆伐后于 1989、1991、1993 年人工植苗形成的纯林,林分密度分别为 1100、2500、2500 株/hm²,平均树高分别为 27.0、23.9、21.8 m,平均胸径分别为 22.1、19.7、18.9 cm,林分郁闭度分别为 0.9、0.8 和 0.8。

1.2 研究方法

在调查试验地的基础上,根据典型性和代表性的原则分别在坡向、坡度、坡位和海拔高度基本一致的天然常绿阔叶林及其人工更新后形成的檫木林、柳杉林和水杉林中建立 20 m×20 m 的标准地各 3 个。在每个标准地内采用蛇形 5 点取样法按 0—20 cm、20—40 cm 土层取土样,鲜土样带回实验室后分成两份,一份过 2 mm 筛后测定土壤微生物量氮、铵态氮和硝态氮含量及微生物数量,另一份土样自然风干后测定土壤全氮含量和脲酶活性。测定方法:全氮采用半微量凯氏定氮法^[7],微生物量氮采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取法^[8],铵态氮采用靛酚蓝比色法,硝态氮采用酚二磺酸比色法^[7],微生物数量采用稀释平板法^[9],脲酶采用靛酚蓝比色法^[10]。测定时间从 2004 年 4 月—2006 年 1 月,在每年的 1、4、7、10 月中旬采样测定,以代表每个季节土壤氮库与微生物变化,表中数据为两年测定的平均值和标准差,数据的统计和分析采用 SPSS10.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 土壤氮素含量季节变化

微生物量氮是土壤中最活跃的有机氮,与土壤供氮状况密切相关,是土壤氮素形态中最易受环境和管理措施影响而发生改变的组分,可作为评价土壤氮有效性的适宜指标^[11-12]。由于微生物量氮周转的速率较土壤有机氮快 5 倍之多,故大部分矿化氮应来自于微生物量氮^[13]。铵态氮是土壤中各种氮形态在一定条件下动态平衡结果,它能较好地反映出近期内土壤氮素供应状况。土壤中的硝态氮是在通气良好条件下,铵态氮经过生物氧化过程而转变成硝态氮,硝态氮一般不被土壤胶体所吸附,易淋洗损失,也易被植物吸收利用^[14]。天然常绿阔叶林及其人工更新后形成的檫木林、柳杉林和水杉林土壤全氮、微生物量氮、铵态氮和硝态氮含量(图 1),在各季节均为天然常绿阔叶林>檫木林>水杉林>柳杉林,且各林分 0—20 cm 土层均高于 20—40 cm 土层,不同季节各林分土壤各形态氮素含量也具有相同的变化规律,表现为秋季>春季>冬季>夏季。各季节檫木林、柳杉林和水杉林 0—40 cm 土层,全氮含量分别比天然常绿阔叶林降低 5.9%—17.1% (平均为 11.2%)、47.8%—64.3% (平均为 55.3%) 和 10.7%—32.1% (平均为 22.0%),微生物量氮含量分别比天然常绿阔叶林降低 9.2%—23.8% (平均为 16.5%)、66.9%—71.0% (平均为 69.1%) 和 24.9%—37.7% (平均为 29.3%),铵态氮含量分别比天然常绿阔叶林降低 23.7%—37.4% (平均为 31.8%)、59.2%—84.4% (平均为 72.9%) 和 33.3%—54.3% (平均为 42.1%),硝态氮含量分别比天然常绿阔叶林降低 19.0%—32.6% (平均为 25.0%)、66.5%—86.3% (平均为 76.4%) 和 30.8%—53.7% (平均为 39.6%),且降低的百分比均为檫木林<水杉林<柳杉林。这说明天然常绿阔叶林更新为人工林后导致林地土壤全氮、微生物量氮、铵态氮和硝态氮含量下降,由于不同更新树种对林地土壤氮素影响作用不同,使 3 种人工林土壤中各形态氮素含量在各季节均为檫木林>水杉林>柳杉林。

各季节天然常绿阔叶林、檫木林、柳杉林和水杉林 0—40 cm 土层土壤微生物量氮、铵态氮和硝态氮占全氮的比例分别为 0.63%—1.77% (平均为 1.04%)、0.15%—0.59% (平均为 0.33%) 和 0.10%—0.35% (平均为 0.24%)。在无机氮组成中以铵态氮为主,铵态氮占 51.3%—70.0% (平均为 57.9%),而硝态氮占 30.0%—48.7% (平均为 42.1%),铵态氮与硝态氮的比值为 1.05—2.33 (平均为 1.40)。

2.2 土壤微生物数量季节变化

土壤微生物具有较高的转化能力,参与了土壤的碳、氮、磷、硫等元素的循环过程和土壤矿物的矿化过程。

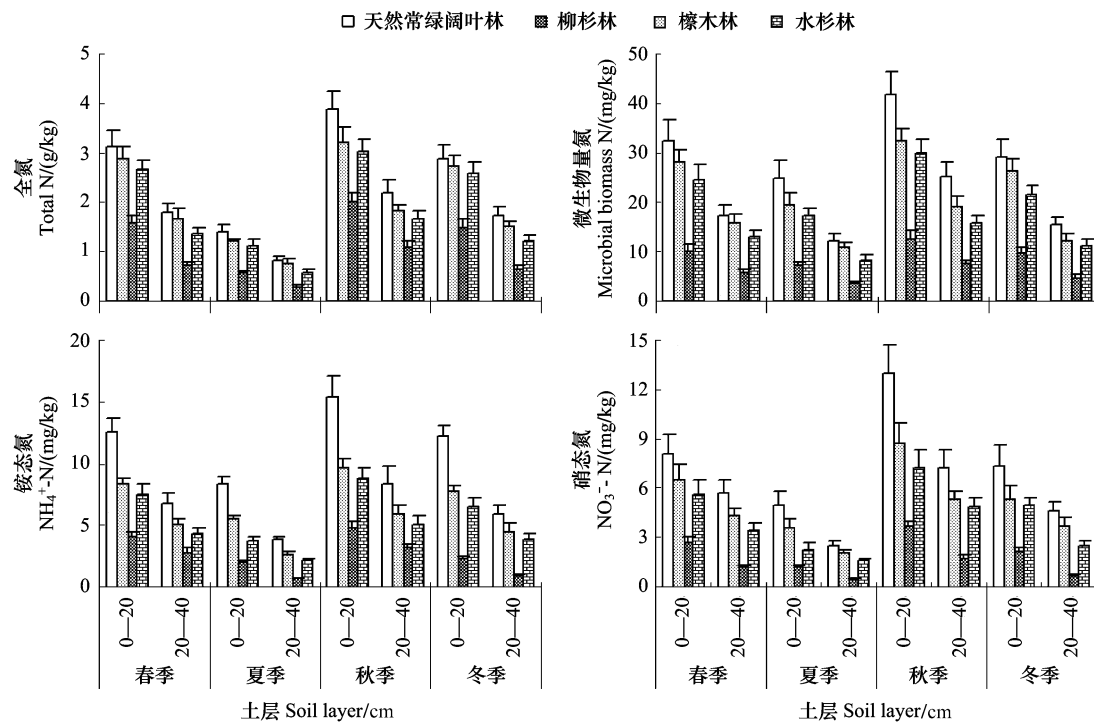


图1 各林分土壤全氮、微生物量氮、铵态氮和硝态氮含量季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of soil total N, microbial biomass N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents in forests

细菌可产生胞外代谢物,如多糖,脂类和蛋白质,可起到胶结作用以稳定团聚体,且在使植物不能直接利用的复杂含氮化合物转化为可给态的含氮无机化合物的氨化作用过程中,细菌的作用尤为重要^[15-16]。真菌能分解纤维素、半纤维素及其它类似化合物,也能分解含氮的蛋白质类化合物而释放出氨,而且真菌具有复杂的酶系统,分解一些植物保存性物质(木质素)的能力也特别强^[17]。放线菌和真菌是参与土壤有机质分解过程的主要成员之一,放线菌能分解多数真菌和细菌不能分解的化合物,还参与难分解有机质的分解过程^[18]。天然常绿阔叶林及其人工更新后形成的樟木林、柳杉林和水杉林土壤细菌、真菌和放线菌数量(图2),在各季节均为天然常绿阔叶林>樟木林>水杉林>柳杉林,且各林分0—20 cm 土层均高于20—40 cm 土层,不同季节各林分土壤细菌、真菌和放线菌数量具有相同的变化规律,表现为秋季>春季>冬季>夏季。各季节樟木林、柳杉林和水杉林0—40 cm 土层,细菌数量分别比天然常绿阔叶林降低19.7%—34.1%(平均为25.4%)、47.9%—61.8%(平均为55.6%)和25.9%—37.9%(平均为32.9%),真菌数量分别比天然常绿阔叶林降低28.8%—44.2%(平均为32.8%)、66.7%—91.0%(平均为79.9%)和36.7%—56.1%(平均为45.8%),放线菌数量分别比天然常绿阔叶林降低9.6%—31.9%(平均为21.0%)、44.1%—64.6%(平均为55.2%)和23.4%—36.0%(平均为28.2%),且降低的百分比均为樟木林<水杉林<柳杉林。这说明天然常绿阔叶林人工更新后林地土壤微生物数量下降,由于不同更新树种对土壤微生物数量影响作用不同,使3种人工林土壤微生物数量在不同季节均为樟木林>水杉林>柳杉林。

各季节天然常绿阔叶林、樟木林、柳杉林和水杉林0—40 cm 土层土壤细菌、真菌和放线菌数量占总微生物数量的比例分别为98.981%—99.953%(平均为99.458%)、0.004%—0.102%(平均为0.052%)和0.044%—0.967%(平均为0.490%)。说明细菌数量在总微生物数量中占有绝对优势,而真菌和放线菌占微生物总数的比例较小。

2.3 土壤脲酶活性季节变化

脲酶是对尿素转化起关键作用的酶,它的酶促反应产物是可供植物利用的氮源,它的活性可以用来表示

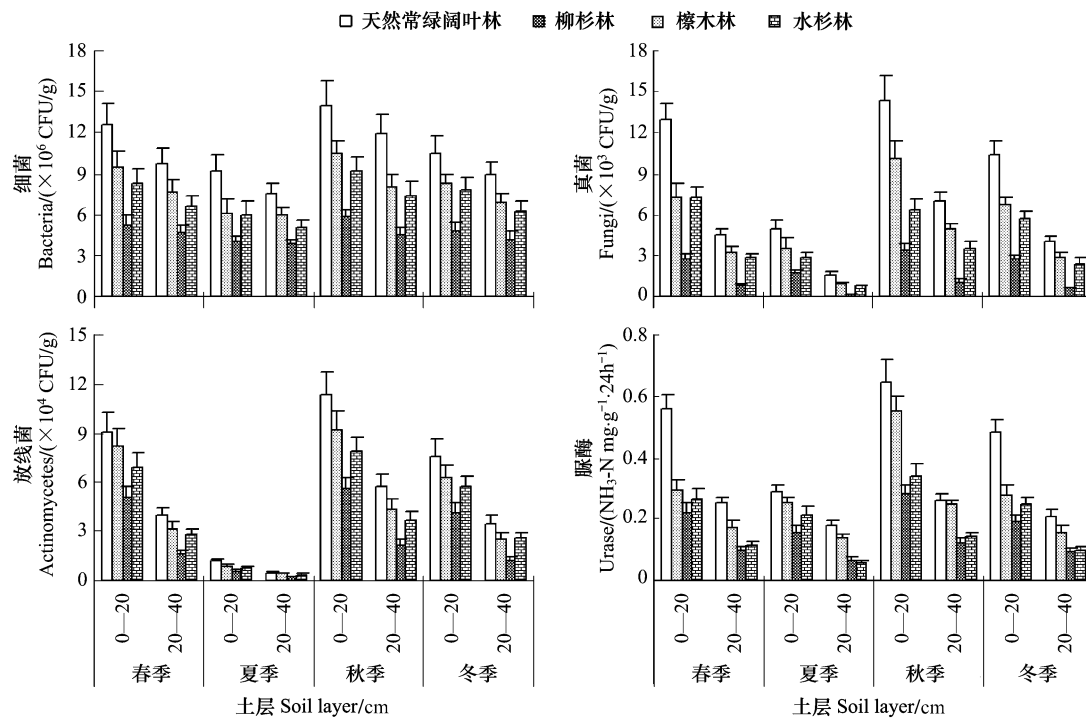


图2 各林分土壤细菌、真菌和放线菌数量及脲酶活性季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of soil bacteria, fungi, actinomycetes counts and urase activity in forests

土壤供氮能力^[10]。天然常绿阔叶林及其人工更新形成的樟木林、柳杉林和水杉林土壤脲酶(图2)活性,在各季节均为天然常绿阔叶林>樟木林>水杉林>柳杉林,且各林分0—20 cm土层均高于20—40 cm土层,不同季节各林分土壤脲酶活性具有相同的变化规律,表现为秋季>春季>冬季>夏季。各季节樟木林、柳杉林和水杉林0—40 cm土层,脲酶活性分别比天然常绿阔叶林降低5.8%—47.7%(平均为25.0%)、46.0%—63.5%(平均为57.3%)、26.6%—68.0%(平均为49.4%),且降低的百分比均为樟木林<水杉林<柳杉林。这说明天然常绿阔叶林人工更新后林地土壤酶活性下降,由于不同更新树种对土壤脲酶活性的影响作用不同,使3种人工林土壤脲酶活性在不同季节均为樟木林>水杉林>柳杉林。

2.4 相关分析

天然常绿阔叶林及其人工更新形成的樟木林、柳杉林和水杉林土壤全氮、微生物量氮、铵态氮和硝态氮含量与细菌、真菌和放线菌数量及脲酶活性之间呈极显著正相关,土壤不同形态氮素之间也呈极显著正相关,细菌、真菌和放线菌数量与脲酶活之间呈极显著正相关(表1)。这说明微生物数量及脲酶活性与土壤不同形态氮素之间关系密切,因此通过对土壤微生物数量及脲酶活性的研究可以预测天然常绿阔叶林人工更新后土壤

表1 土壤不同形态氮素与微生物和脲酶的关系

Table 1 Relationship between soil nitrogen fractions, microbes and urase

指标 Index	全氮 Total N	微生物量氮 Microbial biomass N	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	脲酶 Urase
全氮 Total N	1.000	0.920 **	0.912 **	0.928 **	0.837 **	0.931 **	0.968 **	0.873 **
微生物量氮 Microbial biomass N	0.920 **	1.000	0.962 **	0.952 **	0.913 **	0.947 **	0.837 **	0.904 **
铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	0.912 **	0.962 **	1.000	0.963 **	0.941 **	0.969 **	0.851 **	0.926 **
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	0.928 **	0.952 **	0.963 **	1.000	0.949 **	0.947 **	0.880 **	0.897 **
脲酶 Urase	0.873 **	0.904 **	0.926 **	0.897 **	0.834 **	0.951 **	0.846 **	1.000

P<0.01

氮素变化。

3 讨论

土壤中氮素绝大部分为有机形态,无机形态的含量一般较少。土壤中有机态氮可分为半分解有机质、微生物躯体和腐殖质,而主要是腐殖质^[19],且土壤中有有机物质又是土壤微生物的能源物质。据报道,天然常绿阔叶林人工更新成檫木林、柳杉林和水杉林后,各季节 0—40 cm 土层土壤有机碳含量均有不同程度降低,降低值呈现出柳杉林>水杉林>檫木林变化规律^[20]。天然常绿阔叶林每年有大量的枯落物归还土壤,对林地覆盖较好,有利于保护林地土壤免受降雨击溅、减少水土流失和养分的淋失,且枯落物易分解,有较多养分和有机物质归还土壤;檫木属于阔叶落叶树种,每年有大量的落叶归还土壤,林下枯落物丰富且分解快^[21];水杉也属于落叶树种,每年也有大量的枯落物归还土壤;柳杉属于常绿树种,归还土壤的枯落物量较少,柳杉与前两者相比,其幼树生长缓慢,郁闭时间较长^[22],而且地表枯落物层蓄积量较少,雨滴直接冲击地表,易造成水土流失和养分的淋失。据调查,天然常绿阔叶林枯落物层蓄积量分别是檫木林、柳杉林和水杉林的 2.58、22.73、1.42 倍^[23]。因此,天然常绿阔叶林人工更新后林地土壤不同形态氮素含量和微生物数量降低及其明显的季节变化应该与各林分土壤机碳含量降低及其季节变化,枯落物对林地土壤的归还和补充减少,以及枯落物对地表的保护作用降低有关。天然常绿阔叶林人工更新成檫木林、柳杉林和水杉林初期,由于枯落物输入减少和林木对氮的吸收较少,氮的流失加剧,这可能是更新后林地氮库减少的主要原因,同时氮素的大量流失可能会导致水体生态系统酸化和富营养化^[24]。

土壤无机氮的动态变化很大程度上是依赖于土壤微生物对土壤有机质的分解速率和微生物固持、气态损失和淋溶等多种过程的相互竞争^[25]。有机形态氮大部分必须经过土壤微生物的转化作用,变成无机形态氮,才能为植物吸收利用,其矿化顺序为:不溶性有机氮化合物(蛋白质、胡敏酸等)→可溶性氮化合物(以氨基酸与酰胺类为主)→铵态氮→亚硝态氮→硝态氮,这个变化只有通气良好和湿度、酸度适宜的土壤,才能顺利进行,而在嫌气条件下,其矿化作用仅进行到铵态氮为止^[19]。研究区地处华西雨屏区年降雨量较大,使土壤氮素易于淋失及在土壤剖面中迁移。夏季正置多雨季节土壤含水量较高使得潜在土壤通气性较差,微生物活动受阻从而影响氮素的生物固定及有机形态氮素向无机形态氮素的转化,及其在转变成铵态氮后较难向硝态氮转变,加之夏季是植物生长旺盛期,对氮素营养的需求较大,使得有机态氮转变为铵态氮后较多地被吸收使转化为硝态氮的底物减少,以及硝态氮中的 NO_3^- 易被淋失。因此,夏季植物对土壤氮素的强烈吸收、土壤氮素淋失及随径流流失等是导致夏季土壤氮素含量低于其它季节的主要原因。Yang 等^[26]对森林和草地土壤的研究表明,铵态氮与硝态氮含量的比值为 2.1—64.0;Laverman 等^[27]对森林土壤的研究表明,由于硝态氮易于淋失导致土壤中铵态氮含量高于硝态氮含量。本研究结果与之相同,各林分土壤铵态氮含量均高于硝态氮含量,铵态氮与硝态氮含量的比值为 1.05—2.33,这可能也与硝态氮易于淋失和反硝化损失有关。

据报道,植物通过光合作用固定的同化产物约有 20%—50% 通过根系死亡及根系分泌输入土壤^[28],有研究认为根系分泌物是微生物的主要碳源之一^[29]。夏季是植物旺盛生长的季节,根系分泌物应该较其它季节多,对微生物的影响也应该较其它季节大,也就是说夏季土壤有较多的碳源输入,其土壤微生物生物量和微生物数量应该高于其它季节,但恰好相反,夏季微生物生物量和微生物数量均为各季节中最低的季节。这可能与夏季土壤含水率较高限制了微生物的正常生长有关,因为微生物只有在温度、水分等环境因子适宜的生态环境中,才能保证其正常的生命活动力,才能在自然界的物质循环中,充分发挥其分解者的作用^[18]。秋冬季节形成的枯落物经过一定时间的分解释放后,在夏季淋溶到土壤中的有效碳源数量及质量与初期相比可能会明显降低,而且土壤中被微生物较好利用的水溶性有机质在夏季也容易被降雨淋失,这是导致夏季微生物数量降低的另一因素。另外,秋季温度适宜,且有大量的枯落物归还林地,给微生物提供了大量的碳源物质,促进微生物生长,导致秋季微生物数量最高,微生物数量的增加进而促进枯落物的分解及土壤中氮素的转化和补充,加之秋季降雨量降低、养分淋溶相对较低且植物对养分的需求较少,使得土壤氮素含量增加并表现出秋季氮素含量最高;冬季和春季地表枯落物也较多且植物对养分的需求也较少,但冬季和春秋温度较低,其中

冬季最低,对微生物的生长及其对枯落物的分解和土壤氮素转化具有一定限制作用,使得土壤氮素含量和微生物数量表现出春季高于冬季。

各林分土层土壤微生物数量中,细菌数量占绝对优势,真菌和放线菌数量在整个微生物数量组成中占有比例较小,且真菌小于放线菌。出现这种现象的原因可能是因为细菌喜欢湿润并能耐受低氧,真菌耐干且对土壤中氧气含量较敏感,而放线菌具有喜热耐旱的特性,在土壤含水量高,氧气扩散作用较低的土壤中,真菌是首先的受害者^[30]。由于研究区降雨量较大,尤其是在夏季,导致土壤含水率较高,而且在其它季节也是如此,虽略有下降,但仍保持较高的土壤自然含水量,从而影响真菌和放线菌的正常活动,可能是导致各林分土壤真菌和放线菌数量较少的原因。杨玉盛等^[31]的研究发现,格氏栲天然林根际和全土壤养分、土壤微生物区系、生理类群数量和土壤酶活性均比相应人工林的大;张萍等^[32]的研究发现,森林被纯林替代后,土壤微生物数量及活性迅速降低,森林植被的过度砍伐和利用也使土壤微生物数量和活性降至较低水平。本研究中也发现,天然常绿阔叶林人工更新后土壤不同形态氮素含量、微生物数量和脲酶活性降低,各林分 0—20 cm 和 20—40 cm 土层均为天然常绿阔叶林>檫木林>水杉林>柳杉林,且 0—20 cm 土层高于 20—40 cm 土层,微生物数量及脲酶活性与土壤不同形态氮素含量呈极显著正相关。说明天然常绿阔叶林人工更新后土壤有机质和含氮有机化合物的分解和转化及土壤保肥和供肥能力降低,微生物数量及脲酶活性的高低能够表征土壤氮素含量高低。

4 结论

天然常绿阔叶林及其人工更新成檫木林、柳杉林和水杉林后土壤不同形态氮素含量、微生物数量和脲酶活性下降,各林分均为秋季>春季>冬季>夏季及 0—20 cm 土层高于 20—40 cm 土层,且各季节均为天然常绿阔叶林>檫木林>水杉林>柳杉林。各季节不同林分土壤无机氮含量中以铵态氮为主;土壤细菌数量在微生物总数中占有绝对的优势,真菌和放线菌数量在土壤微生物总数中占有的比例较小。土壤不同形态氮素含量之间,以及不同形态氮素含量与微生物数量和脲酶活性之间具有显著的相关关系。因此,目前应加强对日益减少的天然常绿阔叶林的保护并开展相应的研究,以保持和提高地带性常绿阔叶林生物多样性,充分发挥其改善环境的生态功能,而且在天然常绿阔叶林人工更新过程中应选择适宜造林树种并使之在短期内达到郁闭以保护和维持原有林地土壤的生态功能。

References:

- [1] Cabrera M L, Kissel D E, Vigil M F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34(1): 75-79.
- [2] Duxbury J M, Lauren J G, Fruci J R. Measurement of the biologically active soil nitrogen fraction by a ¹⁵N technique. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1991, 34(1/4): 121-129.
- [3] Deng S P, Moore J M, Tabatabai M A. Characterization of active nitrogen pools in soils under different cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 32(4): 302-309.
- [4] Li G C, Han X G, Huang J H. Dry-season dynamics of soil inorganic nitrogen pools in primary *Lithocarpus xylocarpus* forest and degraded vegetations in Ailao mountain, Yunnan province. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(2): 210-217.
- [5] Cai C Y, Huang J H. Seasonal dynamics of soil N pools under *Phoebe zhennan*, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) and evergreen broad-leaved forests in Dujiangyan Region, Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2540-2548.
- [6] Liu J F, Hong W, Wu C Z. Fractal features of soil clusters under some precious hardwood stands in the central subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 197-205.
- [7] Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [8] Brookes P C, Landman A, Pruden G, Jenkinson D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(6): 837-842.
- [9] Xu G H, Zheng H Y. Soil microbe analysis method handbook. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [10] Guan S Y. Soil enzyme and its study methods. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [11] Patra D D, Bhandari S C, Misra A. Effect of plant residues on the size of microbial biomass and nitrogen mineralization in soil incorporation of

- cowpea and wheat straw. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1992, 39: 1-6.
- [12] Li G T, Zhao Z J, Huang Y F, Li B G. Effect of straw returning on soil nitrogen transformation. *Plant Nutrition and Fertilization Science*, 2002, 8 (2): 162-167.
- [13] Peng Y, Yi J H, Pu W X, Zhang X Y. Effect of rice straw returning on tobacco field soil nitrogen mineralization. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(10): 230-233.
- [14] Chen X W, Chen L X, Liu W Q. Nitrogen mineralization in different forest soil. *Journal of Northeast Forestry University*, 1999, 27 (1): 5-9.
- [15] Lynch J M, Bragg E. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science*, 1985, 2: 134-170.
- [16] Gong W, Yan X Y, Wang J Y, Hu T X, Gong Y B. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. *Geoderma*, 2009, 149(3/4): 318-324.
- [17] Shao Y Q, Zhao J, Bao Q H. Vertical distribution of soil microbial biomass in the stabilized sand dune of the Hobq desert. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(1): 88-92.
- [18] Chen S, Zhang C Z, Liu D B, Zhang Z Y, Yang J C, Wang Z X. Seasonal variation in the biomass of soil decomposer microbes and its relationship to the soil habitat in the *Leymus chinensis* grasslands in northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(1): 91-94.
- [19] Nanjing Soil Sciences Institute, Chinese Academy of Sciences. Physical and chemical analysis methods of soils. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1978.
- [20] Gong W, Hu T X, Wang J Y, Gong Y B, Ran H. Soil carbon pool and fertility under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in southern Sichuan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2536-2545.
- [21] Chen Z M, Zheng Y S, Huang X H, Wang S F, Dong L S, Chen L G. A study on water conservation function of mixed forests of *Taiwania flossiana* Gaussen. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2002, 22(3): 266-269.
- [22] Editorial Board of China Tree Annals. Afforestation techniques of main tree species in China. Beijing: China Agriculture Press, 1977.
- [23] Gong W, Hu T X, Wang J Y, Gong Y B, Ran H. Water holding characteristics of litter layer after natural evergreen broadleaved forest artificial regeneration in southern Sichuan province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 51-55.
- [24] Sha L Q, Meng Y, Feng Z L, Zheng Z, Cao M, Liu H M. Nitrification and net N mineralization rate of soils under different tropical forests in Xishuangbanna, southwest China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(2): 152-156.
- [25] Lovell R D, Hatch D J. Stimulation of microbial activity following spring applications of nitrogen. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 26(1): 28-30.
- [26] Yang L L, Zhang F S, Mao R Z, Ju X T, Cai X B, Lu Y H. Conversion of natural ecosystems to cropland increases the soil net nitrogen mineralization and nitrification in Tibet. *Pedosphere*, 2008, 18 (6): 699-706.
- [27] Laverman A M, Zoomer H R, van Verseveld H W, Verhoef H A. Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in a coniferous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11/12): 1661-1670.
- [28] Lambers H. Growth, respiration, exudation and symbiotic associations: the fate of carbon translocated to the roots // Gregory P J, Lake J V, Rose D A, eds. Root development and function. Cambridge: Cambridge University Press, 1987: 125-145.
- [29] Lin W H, Zhang F S, Bai K Z. Effects of elevated atmospheric CO₂ on plant rhizosphere microecosystem. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44 (16): 1690-1696.
- [30] Zhang P, Feng Z L. Biological nutrient cycling of secondary forests in Xishuangbanna. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 418-426.
- [31] Yang Y S, He Z M, Zou S Q, Yu X T. A study on soil microbes and biochemistry of rhizosphere and total soil natural forest and plantation of *Castanopsis kauakamii*. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 198-202.
- [32] Zhang P, Guo H J, Yang S X, Dao Z L. Ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms in Gaoligong mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(1): 74-78.

参考文献:

- [4] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉. 哀牢山木果柯林及其退化植被下土壤无机氮库的干季动态特征. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 210-217.
- [5] 蔡春轶, 黄建辉. 四川都江堰地区桢楠林、杉木林和常绿阔叶林土壤 N 库的季节变化. *生态学报*, 2006, 26 (8): 2540-2548.
- [6] 刘金福, 洪伟, 吴承祯. 中亚热带几种珍贵树种林分土壤团粒结构的分维特征. *生态学报*, 2002, 22(2): 197-205.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [12] 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.
- [13] 彭宇, 易建华, 蒲文宣, 张新要. 长期稻草还田对烟田土壤氮素矿化特征的影响. *中国农学通报*, 2006, 22(10): 230-233.

- [14] 陈祥伟, 陈立新, 刘伟琦. 不同森林类型土壤氮矿化的研究. 东北林业大学学报, 1999, 27 (1): 5-9.
- [17] 邵玉琴, 赵吉, 包青海. 库布齐固定沙丘土壤微生物生物量的垂直分布研究. 中国沙漠, 2001, 21(1): 88-92.
- [18] 陈珊, 张常钟, 刘东波, 张镇瑗, 杨靖春, 王志霞. 东北羊草草原土壤微生物生物量的季节变化及其与土壤生境的关系. 生态学报, 1995, 15 (1): 91-94.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 科学技术出版社, 1978.
- [20] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕, 宫渊波, 冉华. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤碳库与肥力的变化. 生态学报, 2008, 28(6): 2536-2545.
- [21] 陈卓梅, 郑郁善, 黄先华, 王舒凤, 董林水, 陈礼光. 秃杉混交林水源涵养功能的研究. 福建林学院学报, 2002, 22(3): 266-269.
- [22] 中国树木志编委会主编. 中国主要树种造林技术. 北京: 农业出版社, 1977.
- [23] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕, 宫渊波, 冉华. 川南天然常绿阔叶林人工更新后枯落物层持水特性研究. 水土保持学报, 2006, 20(3): 51-55.
- [24] 沙丽清, 孟盈, 冯志立, 郑征, 曹敏, 刘宏茂. 西双版纳不同热带森林土壤氮矿化和硝化作用研究. 植物生态学报, 2000, 24 (2): 152-156.
- [29] 林伟宏, 张福锁, 白克智. 大气 CO₂ 浓度升高对植物根际微生态系统的影响. 科学通报, 1999, 44(16): 1690-1696.
- [30] 张萍, 冯志立. 西双版纳热带雨林次生林的生物养分循环. 土壤学报, 1997, 34 (4): 418-426.
- [31] 杨玉盛, 何宗明, 邹双全, 俞新妥. 格氏栲天然林与人工林根际土壤微生物及其生化特性的研究. 生态学报, 1998, 18(2): 198-202.
- [32] 张萍, 郭辉军, 杨世雄, 刀志灵. 高黎贡山土壤微生物生态分布及其生化特性的研究. 应用生态学报, 1999, 10(1): 74-78.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

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 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 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