

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第9期 Vol.34 No.9 **2014**

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 34 卷 第 9 期

2014 年 5 月 (半月刊)

## 目次

### 前沿理论与学科综述

- 基于土壤食物网的生态系统复杂性-稳定性关系研究进展 ..... 陈云峰,唐政,李慧,等 (2173)
- 滇西北高原入湖河口退化湿地生态修复效益分析 ..... 符文超,田昆,肖德荣,等 (2187)
- 典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系——案例研究 .....  
..... 李阳兵,罗光杰,白晓永,等 (2195)
- 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原麝鼠的相关性 ... 金樑,孙莉,崔慧君,等 (2208)
- 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响 ..... 黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,等 (2216)

### 个体与基础生态

- 三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响 ..... 葛晓改,肖文发,曾立雄,等 (2228)
- 芦苇、香蒲和蘆草 3 种挺水植物的养分吸收动力学 ..... 张熙灵,王立新,刘华民,等 (2238)
- 沙化程度和林龄对湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 化学计量特征影响 ... 胡启武,聂兰琴,郑艳明,等 (2246)
- 内蒙古典型草原小叶锦鸡儿灌丛化对水分再分配和利用的影响 ..... 彭海英,李小雁,童绍玉 (2256)
- 遮阴对米槠和杉木原位排放甲烷的影响 ..... 陈细香,杨燕华,江军,等 (2266)
- 桔小实蝇和番石榴实蝇对 6 种寄主果实的产卵选择适应性 ..... 刘慧,侯柏华,张灿,等 (2274)
- 鼠尾草属东亚分支的传粉模式 ..... 黄艳波,魏宇昆,葛斌杰,等 (2282)

### 种群、群落和生态系统

- 养分资源脉冲供给对几种微藻种间竞争的影响 ..... 李伟 (2290)
- 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价 ..... 李静鹏,徐明锋,苏志尧,等 (2297)
- 黄土丘陵区植物功能性状的尺度变化与依赖 ..... 丁曼,温仲明,郑颖 (2308)
- 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征 ..... 徐露燕,田大伦,王光军,等 (2316)
- 黄土高原春小麦农田蒸散及其影响因素 ..... 阳伏林,张强,王文玉,等 (2323)
- 尾矿区不同植被恢复模式下高效固氮菌的筛选及 Biolog 鉴定 ..... 李雯,阎爱华,黄秋娟,等 (2329)
- 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价 ..... 李东胜,罗达,史作民,等 (2338)

### 景观、区域和全球生态

- 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性 ..... 蔡建堤,苏国强,马超,等 (2347)
- 面向土系调查制图的小尺度区域景观分类——以宁镇丘陵区中一小区域为例 .....  
..... 卢浩东,潘剑君,付传城,等 (2356)

气候变化对华北冬小麦生育期和灌溉需水量的影响..... 胡 玮,严昌荣,李迎春,等 (2367)

## 资源与产业生态

基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析 ..... 刘 源,李向阳,林剑艺,等 (2378)

可持续生计目标下的生态旅游发展模式——以河北白洋淀湿地自然保护区王家寨社区为例.....

..... 王 瑾,张玉钧,石 玲 (2388)

荔枝树干液流速率与气象因子的关系 ..... 凡 超,邱燕萍,李志强,等 (2401)

肿腿蜂类寄生蜂室内控害效能评价——以松脊吉丁肿腿蜂为例 ..... 展茂魁,杨忠岐,王小艺,等 (2411)

## 城乡与社会生态

内蒙古草原人类福祉与生态系统服务及其动态变化——以锡林郭勒草原为例.....

..... 代光烁,娜日苏,董孝斌,等 (2422)

基于农业面源污染分区的三峡库区生态农业园建设研究 ..... 刘 涓,谢 谦,倪九派,等 (2431)

“交通廊道蔓延”视角下山地城市典型样带空间格局梯度分析 ..... 吕志强,代富强,周启刚 (2442)

## 学术信息与动态

美国地理学家协会 2014 年会述评 ..... 孙然好,肖荣波 (2450)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 280 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 30 \* 2014-05



**封面图说:** 峰丛洼地石漠化——峰丛主要分布在云贵高原的边缘部分及桂西、桂西北地区,相对高度一般为 200—300m,高的可达 600m 以上。在峰丛之间,岩溶洼地、漏斗、落水洞很发育,常形成峰丛洼地或峰丛漏斗的组合形态。峰丛洼地中的土地相当贫瘠,由于当地人们依靠这些土地种植庄稼为生,石漠化的发展趋势已经越来越明显。尤其在土地承载力低、人口压力大的区域石漠化相当严重,研究峰丛洼地耕地资源分布、土地利用强度和石漠化发育状况之间的机理,有助于从本质上认识石漠化的发生,对石漠化治理实施科学指导。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201308012004

徐露燕, 田大伦, 王光军, 罗赵慧, 叶生晶, 梁贵. 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征. 生态学报, 2014, 34(9): 2316-2322.

Xu L Y, Tian D L, Wang G J, Luo Z H, Ye S J, Liang G. N and P stoichiometry of *Koelreuteria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2316-2322.

## 湘潭锰矿栎树叶片和土壤 N、P 化学计量特征

徐露燕<sup>1,2</sup>, 田大伦<sup>1,2,\*</sup>, 王光军<sup>1,2</sup>, 罗赵慧<sup>1,2</sup>, 叶生晶<sup>1,2</sup>, 梁 贵<sup>1,2</sup>

(1. 中南林业科技大学, 长沙 410004; 2. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 长沙 410004)

**摘要:**湘潭锰矿区废弃地是一个典型的退化生态系统, 针对矿区废弃地植被恢复中 3 个不同林龄的栎树林(3 年生、5 年生和 9 年生), 测定了林木叶片以及相应土壤的 N、P 含量, 综合分析了不同林龄土壤和林木叶片的化学计量特征。结果表明, 随着年龄的增长土壤中 N 含量呈递增趋势, 而 P 含量为递减趋势, 在 3 个林龄中均表现出显著性差异; 3 个林龄叶片的 N、P 含量以及 N:P 比值差异显著, N、P 含量在年龄增长梯度上表现为降低, 而 N:P 比值却表现为升高; 3 个林龄叶片中 N 含量与 N:P 比值之间表现出显著正相关, 而 P 含量与 N:P 比值之间却为显著负相关关系; 土壤中 N、P 含量与叶片 N:P 比值之间分别存在显著正相关和负相关关系。通过对 3 个林龄叶片和土壤 N、P 含量及化学计量特征研究, 发现 P 很有可能成为湘潭锰矿退化生态系统植被恢复过程中植物生长的限制性因子。研究结果可为矿区废弃地植被恢复和经营管理以及森林可持续发展提供科学依据。

**关键词:**退化生态系统; N:P 比值; 化学计量特征; 相关性分析

## N and P stoichiometry of *Koelreuteria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland

XU Luyan<sup>1,2</sup>, TIAN Dalun<sup>1,2,\*</sup>, WANG Guangjun<sup>1,2</sup>, LUO Zhao-hui<sup>1,2</sup>, YE Shengjing<sup>1,2</sup>, LIANG Gui<sup>1,2</sup>

1 Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2 National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

**Abstract:** To reveal the N:P stoichiometry of foliar and soil in *Koelreuteria paniculata* forests, the N and P concentrations and their stoichiometry features were investigated in 3-, 5- and 9-year-old stands in Xiangtan Manganese Mine wasteland, a typical degraded ecosystem in southern China.

The results showed that soil N concentrations increased with the aged stands, but soil P concentrations exhibited an opposite trend. The N、P concentrations and N:P ratios were significantly different in leaves in the studied forests. The N and P concentrations in leaves decreased with the aged stands, while the N:P ratios increased. Leaf N concentration was positively correlated with N:P ratios, while P concentration was negatively correlated with N:P ratios. There was a significant positive correlation between the soil N concentration and the leaf N:P ratios and a strongly negative correlation between the soil P concentration and the leaf N:P ratios. Our results indicated that P was probably the limiting factor controlling the process of plant growth in Xiangtan Manganese Mine wasteland. The results provided scientific references for vegetation restoration, management and sustainable development in the abandoned mine lands.

**Key Words:** degraded ecosystem; N:P ratios; stoichiometry; correlation analysis

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201104009); 湖南省教育厅项目(湘财教字[2010]70号); 长沙市科技局创新平台项目(K1003009-61)

收稿日期: 2013-08-01; 修订日期: 2013-11-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csuft\_tandalun@126.com

N、P 是植物生长必需的元素,对植物各种生理活动起着重要的作用<sup>[1-2]</sup>,它们是限制陆地生态系统植物生长的主要元素<sup>[3]</sup>。而植物叶片的 N:P 比值也被认为是环境判断因子,甚至可以作为土壤的养分供给状况的指标<sup>[4-6]</sup>。

近年来,生态化学计量学已经成为研究热点,学者们通过生态化学计量方法来研究 N、P 的区域分布状况及规律<sup>[7]</sup>。国外率先对此进行研究,他们的相关研究起源于海洋生态系统,后来逐渐扩展到湖泊、草地、森林等生态系统<sup>[8-14]</sup>。我国的研究虽然起步较晚,但是近几年来发展迅速。虽然对植物叶片 N、P 含量与 N:P 比值的化学计量特征的分析,以及它们是如何限制植物生长以及被广泛报道,但是这些研究一般是基于大尺度调查,而且大多是对近自然生态系统的研究,分析了不同生长阶段、演替阶段、森林类型等条件下的化学计量特征<sup>[15-24]</sup>。

虽然目前的研究能在一定程度上反映生态系统中的主要限制因子。但是,针对矿区退化生态系统不同林龄植物与土壤的 N、P 化学计量特征的研究鲜有报道,而通过对该类生态系统植物与土壤 N、P 化学计量特征的研究,不仅可以深入探讨除重金属元素以外其它限制矿区植物生长的元素,而且可以了解在恢复过程中,植物对土壤的改良效果。因此,本文以湖南省典型矿区退化生态系统(湘潭锰矿矿区废弃地)为研究对象,探讨了植被恢复过程中 3 个林龄的栎树叶片与土壤 N、P 化学计量特征,并分析不同林龄植物叶片与土壤 N、P 之间的相关性,从生态化学计量角度为矿区废弃地植被恢复和经营管理以及森林可持续发展提供科学依据。

## 1 实验方法

### 1.1 试验地概况

试验地设置在湖南省湘潭锰矿矿区,该区域地处 112°45'—112°55' E, 27°53'—28°03' N。锰矿区属于丘陵地带,位于湘潭市北部约 14 km 处,海拔为 62—165 m,气候湿润,四季分明,多年年平均气温 17.4℃,最高气温可达 42.2℃,最低气温可达-8℃;多年年平均降水量为 1431.4 mm;多年年平均蒸发量为 1321.7 mm,属典型亚热带季风气候。

20 世纪 60 年代初,由于采矿后的煤气灰、尾矿泥、城市生活垃圾以及矿石废弃物、矿渣等的积累,

形成的退化生态系统。区域内锰含量极为丰富,水资源相对贫乏,所以植被生长受到很大限制,其中主要有艾蒿(*Artemisia argyi*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、灯芯草(*Medulla Junci*)等草本植物和经过多年恢复后少量的黄荆(*Vitex negundo*)、枫杨(*China Wingnut*)、乌桕(*Chinese tallow*)等灌木和乔木。

田大伦等<sup>[25]</sup>根据矿区土壤理化性质的基本状况以及现有植被的生长状况,通过盆栽实验发现,栎树(*Koelreuteria paniculata*)对矿区植被的恢复效果最为有效,因此分别在 2004 年、2008 年以及 2010 年在矿区设置样地并栽种 2 年生栎树幼苗,形成了 3 个不同林龄的栎树林样地,即 3 年生、5 年生和 9 年生栎树林样地。

3 年生栎树林样地由于造林时间较短,对锰矿矿区土壤改良效果还未显现,因此样地中只有少量的狗牙根(*Cynodon dactylon*)、飞蓬(*Erigeron acer*)、扛板归(*Polygonum perfoliatum*)等地被物;5 年生栎树林样地中,栎树对样地产生一定程度的恢复作用,因此样地中地被物种类比较多,出现的新物种有猪殃殃(*Galium aparine*)、枸杞(*Lycium chinense*)、耳草(*Hedyotis auricularia*)、繁缕(*Stellaria media*)等;由于 9 年生栎树林对矿区恢复时间最久,土壤恢复效果最为明显,因此样地中植被含量最为丰富,除了长出新的植物之外,如金银花(*Flos Lonicerae*)、麦冬(*Radix Ophiopogonis*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)等,还生长出较多的栎树苗。

### 1.2 材料与方法

#### 1.2.1 植物和土壤样品采集

本研究于 2011 年 10 月在研究区 3 个林龄的栎树林中,选择 6 株标准木,每株栎树取 3 份叶子,并将其装袋,置于 80℃ 烘箱中烘至恒重,用粉碎机粉碎后装好用于测定植物叶片 C、N、P 含量。

在样地内选取的标准木周围 1m 以内设置 1 个采样点,由于采样地属于锰矿废弃地,土层约 40—50 cm 厚,矿渣含量很高,因此在取样地采用环刀法,分别按 0—15、15—30、30—45 cm 3 个层次,每层取土样 1 kg,共采土样 54 个。土样在室温条件下自然风干,风干后去除根、石头等杂物,研磨,过 0.25 mm 筛,保存好用于测定 C、全 N 和全 P 含量。

#### 1.2.2 分析方法

叶片和土壤 C 含量用重铬酸钾外加热法测定,

全 N 用凯氏定氮法测定,全 P 用硝酸-高氯酸消煮-钼锑抗分光光度法测定。

1.2.3 数据分析

不同林龄林木叶片的 N、P 含量,土壤的 N、P 含量,土壤 N:P 比值和叶片 N:P 比值通过单因素方差分析(One-Way ANOVA)的 LSD 法进行显著性检验。叶片 N、P 含量之间以及叶片与土壤 N、P 相关性采用 Pearson 分析,以上数据分析均用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 实现的,图形采用 Sigmaplot 12.3 制作。

2 结果

2.1 栎树叶片的养分含量特征

植物叶片养分特征的统计结果表明,叶片中 C、N、P 含量的几何平均值分别为 521.38 g/kg、9.85 g/kg 和 0.49 g/kg;叶片 C:N、N:P 比值和 C:P 含量的

算术平均值分别是 52.95、20.04 和 1061.22(表 1)。C、N 间和 C、P 间均呈现不显著的负相关关系( $P>0.05$ ),而 N、P 之间存在极显著的负相关性( $P<0.01$ )。通过分析植物叶片中养分含量的变异系数,C 含量的变异系数只有 10.65%,而 N、P 分别达到 22.33%和 74.83%。

2.2 不同林龄栎树林地土壤养分含量变化

图 1 中显示,3 块林地中 N 含量随着土层的加深变化不显著,而在各个土层中含量随着林龄的增加而呈现递增趋势,即呈“金字塔”状分布,并且差异性极显著( $P<0.01$ );P 含量在土层上差异不明显,基本是稳定状态,呈“圆柱体”分布,但在年龄梯度上是递减趋势,即呈“倒金字塔”状分布,并且差异极显著( $P<0.01$ );相关性分析表明 3 块林龄林地土壤的 N、P 含量都存在正相关性,但是不显著( $P>0.05$ )。

表 1 栎树林叶片养分含量特征  
Table 1 Descriptive statistics of leaf nutrients of *Koelreuteria paniculata* stands

|                                       | C/(g/kg) | N/(g/kg) | P/(g/kg) | C/N   | N/P   | C/P     |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|-------|-------|---------|
| 算术平均值 Arithmetical Mean(A.M)          | 524.28   | 10.11    | 0.69     | 55.03 | 25.75 | 1619.56 |
| 标准差 Standard Deviation (SD)           | 55.85    | 2.26     | 0.52     | 15.57 | 19.63 | 1652.15 |
| 变异系数 Coefficients of Variation (CV)/% | 10.65    | 22.33    | 74.83    | 28.29 | 76.25 | 102.01  |
| 几何平均值 Geometric Average               | 521.38   | 9.85     | 0.49     | 52.95 | 20.04 | 1061.22 |

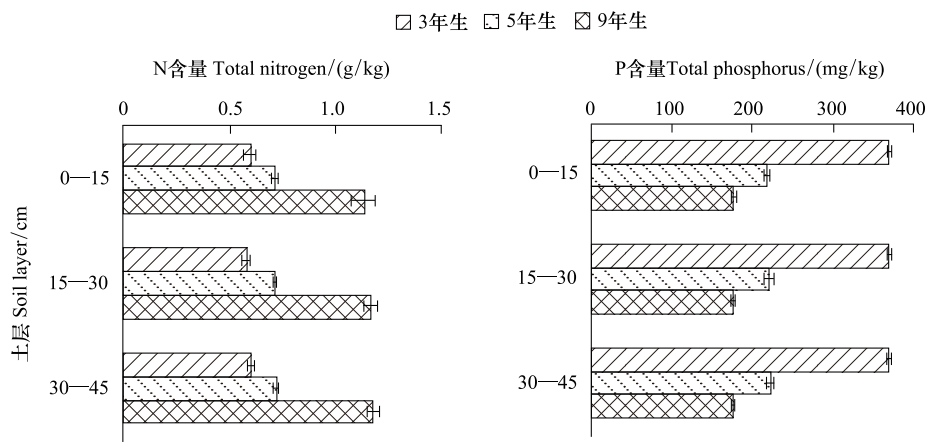


图 1 湘潭锰矿 3 个林龄土壤 N、P 含量  
Fig.1 Soil total nitrogen and phosphorus concentrations among three forest ages in Xiangtan manganese mine

2.3 不同林龄栎树叶片养分含量特征

如图 2 所示,3 年生、5 年生和 9 年生栎树叶片 N 含量的算术平均值分别为 22.59、11.56 g/kg 和 7.22 g/kg;叶片 P 含量的几何平均值分别为 1.34、0.52 g/kg 和 0.17 g/kg;叶片 N:P 比值分别为 16.67、22.4

和 2.75。通过相关性分析,可以得到 3 个不同林龄栎树叶片的 N、P 含量以及 N:P 比值均具有极显著差异( $P<0.01$ ),但是 N、P 含量随着年龄的增加均呈下降趋势,而 N:P 比值却呈现相反趋势。

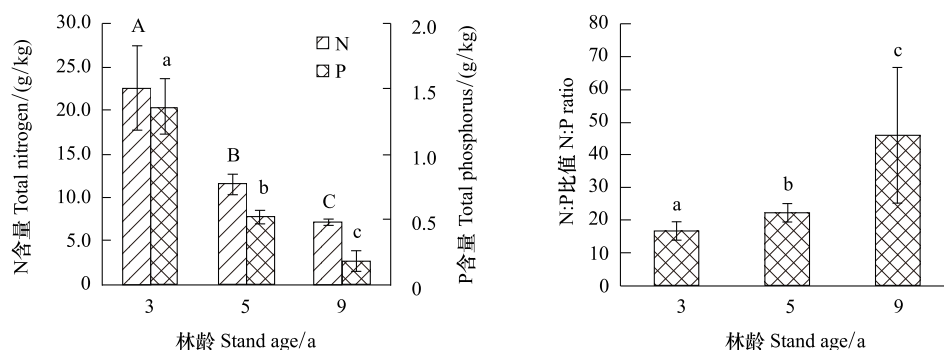


图2 不同林龄栎树叶片 N、P 含量和 N:P 比值

Fig.2 Leaf total nitrogen and phosphorus concentrations and N:P ratio among three *Koelreuteria paniculata* forest ages柱状图顶部字母的不同表示显著性差异 ( $P < 0.05$ )

3 年生栎树叶片 N 含量和 N:P 比值之间呈显著正相关, 相关系数  $R^2 = 0.456$ , 而 P 与 N:P 比值之间存在负相关关系, 但不显著; 5 年生栎树叶片 N 含量与 N:P 比值之间呈现显著正相关关系,  $R^2 = 0.370$ ,

P 与 N:P 比值则表现出显著性负相关,  $R^2 = 0.386$ ; 9 年生栎树叶片 N 含量与 N:P 比值之间关系不显著, 而 P 与 N:P 比值为显著负相关关系,  $R^2 = 0.753$  (图 3)。

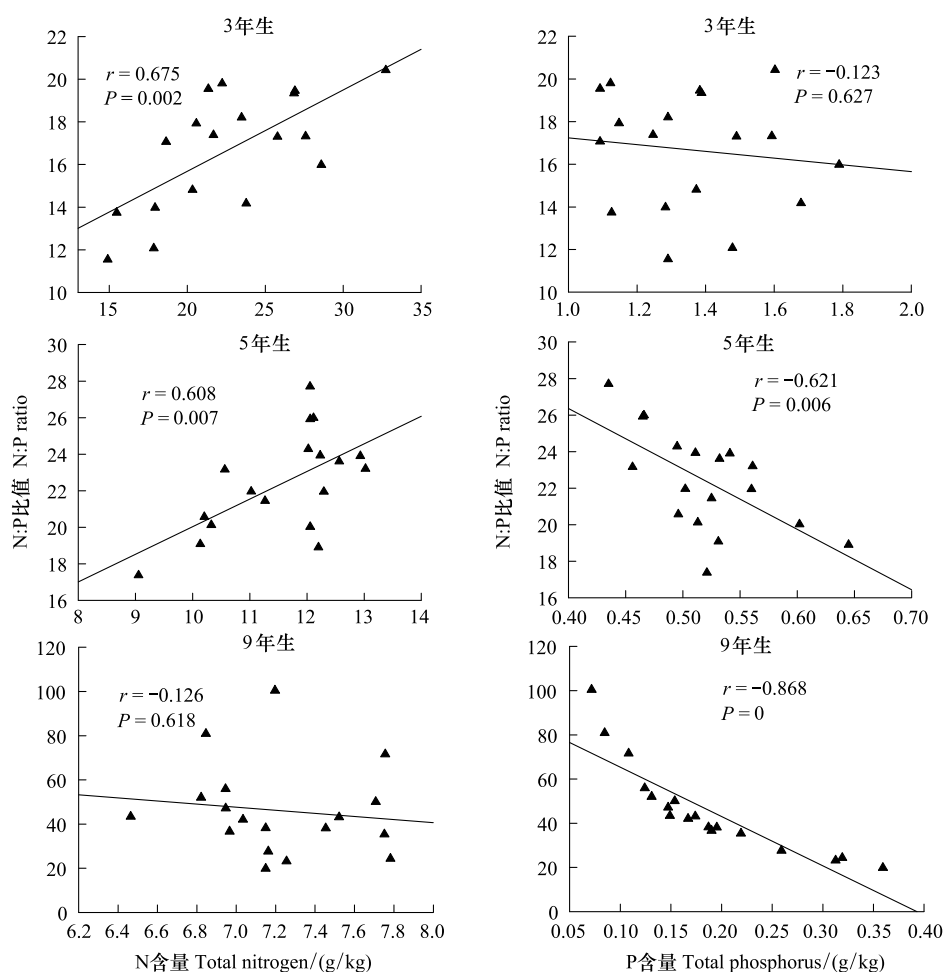


图3 叶片 N、P 含量与 N:P 比值的相关性

Fig.3 The relationship between leaf N, P concentrations and N:P ratios

## 2.4 叶片与土壤中 N、P 含量以及 N:P 比值的关系

分别对 3 个林龄栎树叶片的养分浓度和土壤 N、P 含量进行 Pearson 相关性分析,结果表明:3 个林龄叶片和土壤 N、P 含量之间均没有显著相关性。使用相同的方法对其 N:P 比值和土壤 N、P 含量进行分析,发现也无显著相关性。

虽然每个林龄中植物叶片与土壤 N、P 含量以及 N:P 比值之间不存在显著相关关系,但是从整体看,叶片 N:P 比值与土壤 N 含量之间存在极显著的正相关关系 ( $P < 0.01$ ),线性方程为  $y = 0.0101x + 0.5376$ ,相关系数  $R^2 = 0.5091$ ;而与 P 含量之间存在极显著的负相关关系 ( $P < 0.01$ ),线性方程为  $y = -122.09x + 59.579$ ,相关系数  $R^2 = 0.339$ 。

## 3 结论与讨论

### 3.1 不同林龄栎树叶片 N、P 含量和 N:P 比值之间的相关性分析

本文对不同林龄栎树叶片 N、P 含量及化学计量特征研究发现每个林龄均在 N 含量与 P 含量、N 含量与 N:P 比值、P 含量与 N:P 比值之间相关性分析上表现出一致性,即:N 含量与 P 含量、N:P 比值均呈正相关关系,而 P 含量与 N:P 比值呈现出显著负相关关系 ( $P < 0.05$ )。这与 Gueswell<sup>[6]</sup>、Gueswell 和 Koerselman<sup>[26]</sup>的研究结论类似。表明随着林龄变化,P 含量的变化很可能主导 N:P 比值的变化<sup>[27]</sup>。

大量研究表明,叶片的 N:P 比值能够反映土壤养分的限制性情况<sup>[3]</sup>,Koerselman 和 Meuleman<sup>[28]</sup>早前就总结一些沼泽、欧石楠荒原、湿草地和沙丘等生态系统的施肥实验的结果得出结论:当 N:P 比值  $< 14$ ,则认为是受到 N 的限制;当 N:P 比值  $> 16$  则表明是受到 P 含量限制。这个结论被广泛地应用于判断生态系统限制因子的<sup>[29]</sup>。也有学者认为不同地区有不同阈值,但是普遍认为较高的 N:P 比值意味着受到 P 含量的限制,较低的 N:P 比值则是受到 N 的限制。湘潭锰矿区废弃地植被恢复中 3 个林龄栎树叶片 N:P 比值分别 16.7、22.4 和 46.1,均高于 16,因此其生长将受到 P 含量的限制。并且栎树林年龄越大叶片中 P 含量越少,N:P 比值就越高,这就说明,随着栎树的生长,P 很有可能是限制性因子。

### 3.2 不同林龄栎树叶片与土壤 N:P 比值特征

土壤是植物养分的主要来源,所以其分布和变

化从很大程度上影响着植物的生长。随着土层的变化(0—15,15—30,30—45 cm),N、P 含量均呈“圆柱体”分布,而刘兴诏等<sup>[16]</sup>学者对南亚热带森林土壤 N 含量的研究结论是:N 含量在土层变化时呈现倒金字塔形,P 含量呈现“圆柱体”分布。N 含量的分布很可能是因为湘潭锰矿区废弃地是退化生态系统,土中含有大量的矿渣,还属于前期恢复阶段,凋落物含量比较少,也鲜有地被物覆盖,所以在土层上 N 含量差异不显著;而由于 P 来源于岩石分化,因此在 0—45 cm 土层上差异并不大。随着林龄的增长土壤中 N、N:P 比值元素含量均呈现“金字塔”的分布,这可能是由于该研究地处于植被恢复阶段,随着林龄的增长植被丰富度变大,凋落物归还很有可能导致 N 含量在 3 个样地的差异显著;而 P 含量呈现“倒金字塔”分布,这是因为植物在生长过程中对 P 的需求变大,也说明了该区域栎树在生长过程中 P 是限制性因子。

叶片是植物贮藏养分的主要部位,随着栎树年龄的增加,叶片中 N、P 含量分布均为“倒金字塔”形,3 个林龄叶片 N:P 比值分别是相对应的土壤 N:P 比值的 10.4、6.9 和 6.7 倍。这表明叶片 N:P 比值与土壤中呈现一致变化。虽然植物与土壤各自执行的功能不同<sup>[16]</sup>,N、P 含量以及 N:P 比值上有显著性差异,但是在年龄变化梯度上,N:P 比值的变化是同步的。

土壤和叶片在养分循环中扮演不同角色,因此它们之间必然存在一定联系。本文分析得到 3 个林龄土壤与植物叶片 N、P 含量不存在显著相关关系,可能是由于该矿区土壤由生活垃圾及矿渣等废弃物组成,以及该人工林处于恢复的前期阶段,人为干扰比较大。另外,从整体看,土壤中 N 与栎树叶片 N:P 比值存在极显著正相关关系,而 P 含量与叶片 N:P 比值存在极显著的负相关关系,这说明土壤作为养分的输入端,很大程度决定了植物对养分的吸收能力,同时从另一个角度验证了 P 对该区域植物生长的限制性作用。

综上所述,限制湘潭锰矿区植物生长的原因除了锰矿以外,还有可能是 P 元素的限制,因此,在植被恢复过程中可以通过添加 P 元素以帮助植被更好的恢复。然而,由于根系作为土-植系统的输入端,在植物生长发育中起着重要作用,而且刘兴诏

等<sup>[16]</sup>认为根系和叶片之间 N:P 比值大小能够指示生态系统的稳定性,因此,结合湘潭锰矿矿区根系,对整个土-植系统的 N、P 化学计量特征的研究显得尤为必要。

## References:

- [ 1 ] Elser J J, Bracken M E S, Cleland E E, Gruner D S, Harpole W S, Hillebrand H, Ngai J T, Seabloom E W, Shurin J B, Smith J E. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 2007. 10(12):1134-1142.
- [ 2 ] Cai Y, Zhang Y, Liu H, Zhang X Z. Study on C, N, P Content in Leaf of Evergreen and Deciduous Trees in Evergreen Broad-leaved Forest at E'mei Mountain. *Journal of Zhejiang for science and technology*, 2009, 29(3):9-13.
- [ 3 ] Han W X, Wu Y, Tang L Y, Chen Y H, Li L P, He J S, Fang J Y. Leaf carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry across plant species in Beijing and its periphery. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, 45(05):855-860.
- [ 4 ] Wassen M J, Olde Venterink H G M, de Swart E O A M. Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, 1995. 6(1):5-16.
- [ 5 ] Aerts R, Chapin F S III. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, 1999. 30:1-67.
- [ 6 ] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004. 164(2):243-266.
- [ 7 ] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Application of N:P stoichiometry to ecology studies. *Acta Botanica Sinica*, 2003. 45(9):1009-1018.
- [ 8 ] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 1958. 46(3):205-221.
- [ 9 ] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, Dobberfuhl D R, Folarin A, Huberty A, Interlandi S, Kilham S S, McCauley E, Schulz K L, Siemann E H, Sterner R W. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature*, 2000. 408:578-580.
- [ 10 ] He J S, Fang J Y, Wang Z H, Guo D L, Flynn D F B, Geng Z. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China. *Oecologia*, 2006. 149(1):115-122.
- [ 11 ] He J S, Wang L, Flynn D F B, Wang X P, Ma W H, Fang J Y. Leaf nitrogen: phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, 2008. 155(2):301-310.
- [ 12 ] McGroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial redfield-type ratios. *Ecology* 2004. 85(9):2390-2401.
- [ 13 ] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004. 101(30):11001-11066.
- [ 14 ] Han W X, Fang J Y, Guo D L, Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005. 168(2):377-385.
- [ 15 ] Li Z, Han L, Liu Y H, An S Q, Leng X. C. N and P stoichiometric characteristics in leaves of *Suaeda salsa* during different growth phase in coastal wetlands of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(10):1054-1061.
- [ 16 ] Liu X Z, Zhou G Y, Zhang D Q, Liu S Z, Chu G W, Yan J H. N and P stoichiometry of plant and soil in lower subtropical forest successional series in southern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(01):64-71.
- [ 17 ] Liu W D, Su J R, Li S F, Zhang Z J, Li Z W. Stoichiometry study C, N and P in plant and soil at different successional stages of monsoon evergreen broad-leaved forest in Pu'er, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23):6581-6590.
- [ 18 ] Wang J Y, Wang S Q, Li R L, Yan J H, Sha L Q, Han S J. C:N:P stoichiometric characteristics of four forest types' dominant tree species in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(6):587-595.
- [ 19 ] Yan E R, Wang X H, Guo M, Zhong Q, Zhou W. C:N:P stoichiometry across evergreen broad-leaved forests, evergreen coniferous forests and deciduous broad-leaved forests in the Tiantong region, Zhejiang Province, eastern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1):48-57.
- [ 20 ] Yan K, Fu D G, He F, Duan C Q. Leaf nutrient stoichiometry of plants in the phosphorus-enriched soils of the Lake Dianchi watershed, southwestern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(4):353-361.
- [ 21 ] Wu T G, Wu M, Liu L, Xiao J H. Seasonal variations of leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of three herbaceous species in Hangzhou Bay coastal wetlands, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(01):23-28.
- [ 22 ] Wang K B, Shanguan Z P. Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17):4985-4991.
- [ 23 ] Song Y T, Zhou D W, Li Q, Wang P, Huang Y X. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in 80 herbaceous plant species of Songnen grassland in Northeast China. *Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(3):222-230.
- [ 24 ] Ren S J, Yu G R, Tao B, Wang S Q. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(12):2665-2673.
- [ 25 ] Fang X, Tian D L, Kang W X. Analysis of Potted Plant Test of Plant Restoration in the Slag Wasteland in Xiangtan Manganese

- Mine. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27(1):14-19.
- [26] Gueswell S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2002, 5(1):37-61.
- [27] Vanni M J, Flecker A S, Hood J M, Headworth J L. Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in a tropical stream: linking biodiversity and ecosystem function. Ecology Letters, 2002, 5(2):285-293.
- [28] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. The Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6):1441-1450.
- [29] Yan E R, Wang X H, Zhou W. N:P stoichiometry in secondary succession within evergreen broad-leaved forest Tiantong, east China. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(01):13-22.
- 参考文献:**
- [2] 蔡艳, 张毅, 刘辉, 张锡洲. 峨眉山常绿阔叶林常绿和落叶物种叶片 C、N、P 研究. 浙江林业科技, 2009, 29(03):9-13.
- [3] 韩文轩, 吴漪, 汤璐瑛, 陈雅涵, 李利平, 贺金生, 方精云. 北京及周边地区植物叶的碳氮磷元素计量特征. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(05):855-860.
- [15] 李征, 韩琳, 刘玉虹, 安树青, 冷欣. 滨海盐地碱蓬不同生长阶段叶片 C、N、P 化学计量特征. 植物生态学报, 2012, 36(10):1054-1061.
- [16] 刘兴诏, 周国逸, 张德强, 刘世忠, 褚国伟, 闫俊华. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征. 植物生态学报, 2010, 34(01):64-71.
- [17] 刘万德, 苏建荣, 李帅锋, 张志钧, 李忠文. 云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征. 生态学报, 2010, 30(23):6581-6590.
- [18] 王晶苑, 王绍强, 李纫兰, 闫俊华, 沙丽清, 韩士杰. 中国四种森林类型主要优势植物的 C:N:P 化学计量学特征. 植物生态学报, 2011, 35(06):587-595.
- [19] 阎恩荣, 王希华, 郭明, 仲强, 周武. 浙江天童常绿阔叶林、常绿针叶林与落叶阔叶林的 C:N:P 化学计量特征. 植物生态学报, 2010, 34(01):48-57.
- [20] 阎凯, 付登高, 何峰, 段昌群. 滇池流域富磷区不同土壤磷水平下植物叶片的养分化学计量特征. 植物生态学报, 2011, 35(04):353-361.
- [21] 吴统贵, 吴明, 刘丽, 萧江华. 杭州湾滨海湿地 3 种草本植物叶片 N、P 化学计量的季节变化. 植物生态学报, 2010, 34(01):23-28.
- [22] 王凯博, 上官周平. 黄土丘陵区燕沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化. 生态学报, 2011, 31(17):4985-4991.
- [23] 宋彦涛, 周道玮, 李强, 王平, 黄迎新. 松嫩草地 80 种草本植物叶片氮磷化学计量特征. 植物生态学报, 2012, 36(03):222-230.
- [24] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 王绍强. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究. 环境科学, 2007, 28(12):2665-2673.
- [25] 方晰, 田大伦, 康文星. 湘潭锰矿矿渣废弃地植被修复盆栽试验. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(1):14-19.
- [29] 阎恩荣, 王希华, 周武. 天童常绿阔叶林演替系列植物群落的 N:P 化学计量特征. 植物生态学报, 2008, 32(01):13-22.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.9 May ,2014( Semimonthly )

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on ecosystem complexity-stability relationships based on soil food web ..... CHEN Yunfeng, TANG Zheng, LI Hui, et al (2173)
- The ecological restoration effort of degraded estuarine wetland in Northwest Yunnan Plateau, China ..... FU Wenchao, TIAN Kun, XIAO Derong, et al (2187)
- The correlations among arable land, settlement and karst rocky desertification-cases study based on typical peak-cluster depression ... LI Yangbing, LUO Guangjie, BAI Xiaoyong, et al (2195)
- Correlation between the distribution characteristics of poisonous plants and *Ochotona curzoniae*, *Myospalax baileyi* in the East of Tibetan Plateau Alpine meadow ecosystem ..... JIN Liang, SUN Li, CUI Huijun, et al (2208)
- Effects of the surrounding habitat on the spider community and leafhopper population in tea plantations ..... LI Jianlong, TANG Jingchi, LI Xiudi, et al (2216)

### Autecology & Fundamentals

- Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir Area ..... GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (2228)
- Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triquetra* ..... ZHANG Xiling, WANG Lixin, LIU Huamin, et al (2238)
- Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii* plantation ..... HU Qiwei, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, et al (2246)
- Effects of shrub (*Caragana microphalla* Lam.) encroachment on water redistribution and utilization in the typical steppe of Inner Mongolia ..... PENG Haiying, LI Xiaoyan, TONG Shaoyu (2256)
- Effects of shadowing on methane Emissions from *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* ..... CHEN Xixiang, YANG Yanhua, JIANG Jun, et al (2266)
- Oviposition preference and offspring performance of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* and guava fruit fly *B. correcta* (Diptera: Tephritidae) on six host fruits ..... LIU Hui, HOU Bohua, ZHANG Can, et al (2274)
- Pollination Mechanisms of genus *Salvia* (Lamiaceae) in East Asia (China) ..... HUANG Yanbo, WEI Yukun, GE Binjie, et al (2282)

### Population, Community and Ecosystem

- The effect of resource pulse supply on interspecific competition of a few algal species ..... LI Wei (2290)
- Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns ..... LI Jingpeng, XU Mingfeng, SU Zhiyao, et al (2297)
- Scale change and dependence of plant functional traits in hilly areas of the loess region, Shaanxi Province, China ..... DING Man, WEN Zhongming, ZHENG Ying (2308)
- N and P stoichiometry of *Koeleria paniculata* leaf and soil in Xiangtan Manganese Mine wasteland ..... XU Luyan, TIAN Dalun, WANG Guangjun, et al (2316)
- Evapotranspiration and factors influencing evapotranspiration in the spring wheat farmland of China's Loess Plateau ..... YANG Fulin, ZHANG Qiang, WANG Wenyu, et al (2323)
- Isolation and Biolog identification of the high-efficiency azotobacter from iron tailing under different vegetation restoration modes ..... LI Wen, YAN Aihua, HUANG Qiuxian, et al (2329)
- Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li county of Sichuan Province ..... LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al (2338)

### Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape diversity of *Paerargyrops edita* Tanaka stock in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground ..... CAI Jiandi, SU Guoqiang, MA Chao, et al (2347)
- Landscape classification in a small area for soil series survey and mapping: a case study in the Ningzhen hills, China ..... LU Haodong, PAN Jianjun, FU Chuancheng, et al (2356)
- Impacts of climate change on winter wheat growing period and irrigation water requirements in the north china plain ..... HU Wei, YAN Changrong, LI Yingchun, et al (2367)

### Resource and Industrial Ecology

- Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI method ..... LIU Yuan, LI Xiangyang, LIN Jianyi, et al (2378)
- Evaluation index system of sustainable livelihoods ecotourism strategy: a case study of wangjiazhai community in baiyangdian wetland nature reserve, Hebei ..... WANG Jin, ZHANG Yujun, SHI Ling (2388)
- Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters ..... FAN Chao, QIU Yanping, LI Zhiqiang, et al (2401)
- Evaluation on control efficiency of bethylid parasitoids on pest insects indoor: a case of *Sclerodermus* sp. (Hymenoptera: Bethylidae) ..... ZHAN Maokui, YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, et al (2411)

### Urban, Rural and Social Ecology

- The dynamic change of herdsmen well-being and ecosystem services in grassland of Inner Mongolia: take Xilinguole League as example ..... DAI Guangshuo, NA Risu, DONG Xiaobin, et al (2422)
- The construction of the eco-agricultural yards in three gorges reservoir area based on agricultural non-point source pollution zones ..... LIU Juan, XIE Qian, Ni Jiupai, et al (2431)
- Spatial pattern gradient analysis of a transect in a hilly urban area in China from the perspective of transportation corridor sprawl ..... LÜ Zhiqiang, DAI Fuqiang, ZHOU Qigang (2442)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 于贵瑞

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 34 卷 第 9 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 9 (May, 2014)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编           | 王如松                                                                                                                | Editor-in-chief | WANG Rusong                                                                                                                                                                       |
| 主 管           | 中国科学技术协会                                                                                                           | Supervised by   | China Association for Science and Technology                                                                                                                                      |
| 主 办           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                  |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                 |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                          |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@ cspg. net                       | Distributed by  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China                                                                                         |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                   |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元