

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

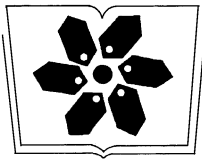
Acta Ecologica Sinica



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/stxb201306081471

胡启武, 聂兰琴, 郑艳明, 吴琴, 尧波, 郑林. 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. 生态学报, 2014, 34(9): 2246-2255.

Hu Q W, Nie L Q, Zheng Y M, Wu Q, Yao B, Zheng L. Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii* plantation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2246-2255.

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, 吴琴, 尧波, 郑林

(江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022)

摘要:为阐明沙化程度和林龄对湿地松(*Pinus elliottii*)叶片及林下土壤碳(C)、氮(N)、磷(P)化学计量特征影响,探讨 C、N、P 化学计量比对沙山植被恢复的指示意义,在鄱阳湖多宝沙山沿沙化梯度测定了不同林龄湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 含量。结果表明:1)在叶片 C、N、P 及其化学计量比中叶 N 与 C:N 对沙化程度和林龄变化反应最为敏感。对于轻度与中度沙化区的 5 年生与 10 年生湿地松林,林龄、林龄与沙化程度的交互作用均对叶 N 及 C:N 产生显著影响;对于中度与重度沙化区的 2 年生和 10 年生湿地松林,林龄和沙化程度均显著影响叶 N 与 C:N。2)叶片与土壤二者 C、N、P 及化学计量比对沙化程度与林龄变化的响应不完全一致。林龄、林龄与沙化程度的交互作用对轻度与中度沙化区 5 年生和 10 年生湿地松林土壤全 N 有显著影响;对于中度与重度沙化区 2 年生和 10 年生湿地松林,仅沙化程度对土壤全磷以及林龄对土壤有机碳影响显著。3)10 年生湿地松叶片 N:P 平均值为 20.63,10 年生以下湿地松叶片 N:P 平均值为 15.61,随着林龄的增加,湿地松生长由 N、P 共同限制逐渐转向更受 P 的限制。

关键词:鄱阳湖;沙山;湿地松;化学计量学

Effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Pinus elliottii* plantation

HU Qiwu*, NIE Lanqin, ZHENG Yanming, WU Qin, YAO Bo, ZHENG Lin

Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

Abstract: There are some sandy hills distributed along Poyang Lake, which belong to typical southern desertification. As located in subtropical climate zone, the sandy hills differed in vegetation and soil from northern deserts. During the past ten to twenty years, *Pinus elliottii* was introduced in sandy hills for vegetation restoration. Since carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) stoichiometry are critical indicators of biogeochemical coupling in terrestrial ecosystems, the nutrients stoichiometry has been successfully used in indicating community succession and vegetation restoration in recent years. However, our knowledge of the temporal variability of carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry is much less developed than its spatial pattern. Besides, it remains unknown whether there is consistent temporal pattern for various ecosystem components, such as plants and soil. In this study, leaf and soil organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in *Pinus elliottii* plantation were measured along desertification gradient in a typical sandy hill close to Poyang Lake. The objectives were (1) to clarify effects of desertification intensity and stand age on leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry, as well as the role of nutrients stoichiometry in indicating vegetation restoration in sandy hills,

基金项目:江西省教育厅科技落地计划资助项目(鄱阳湖沙化土地与水土流失治理技术推广与示范 2012);国家自然科学基金资助项目(31270522)。

收稿日期:2013-06-08; **修订日期:**2013-11-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huqiwu1979@gmail.com

and (2) to discuss the temporal variation pattern of leaf and soil nutrients stoichiometry during stand development. Results showed that mean concentrations of leaf carbon, nitrogen and phosphorus were (437.48 ± 16.96) mg/g, (6.09 ± 1.51) mg/g and (0.71 ± 0.66) mg/g, respectively. The counterparts for top 0–10 cm soil were (3.48 ± 0.63) mg/g, (0.117 ± 0.032) mg/g and (0.050 ± 0.012) mg/g, respectively. The mean ratio of C:N, C:P and N:P was 75.70, 1297.86 and 17.76 for leaf, and 32.45, 74.04 and 2.52 for soil, respectively. Leaf carbon, nitrogen and phosphorus concentrations were all lower than the means of global plants. However, the ratio of N:P was comparable to other researches. Leaf nitrogen and ratio of C:N were most sensitive to changes in desertification intensity and stand age. For 5-year and 10-year *Pinus elliottii* plantation distributed at low and medium desertification area, both leaf nitrogen and C:N ratio were significantly affected by stand age and interaction of stand age plus desertification intensity. By comparison, stand age and desertification intensity significantly influenced leaf nitrogen and C:N ratio for 2-year and 10-year *Pinus elliottii* plantation distributed at medium and high desertification area. Leaf nutrients stoichiometry differed from soil in response to changes of stand age and desertification intensity. For 5-year and 10-year *Pinus elliottii* plantation distributed at low and medium desertification area, stand age and interaction of stand age plus desertification intensity significantly affected soil total nitrogen. However, for 2-year and 10-year *Pinus elliottii* plantation distributed at medium and high desertification area, desertification intensity significantly affected soil total phosphorus, and stand age significantly affected soil organic carbon. Additionally, leaf N:P ratios were 20.63 and 15.61 for 10-year and less than 10-year *Pinus elliottii*, respectively, which suggested growth of *Pinus elliottii* was firstly limited by both nitrogen and phosphorus, however, *Pinus elliottii* plantation would change to phosphorus limitation during stand development.

Key Words: Poyang Lake; sandy hills; *Pinus elliottii*; stoichiometry

生态化学计量学反映碳(C)、氮(N)、磷(P)等生命元素的平衡与耦合关系,为探索从个体到生态系统的统一化理论提供了新思路,因而受到国内外学者的广泛关注^[1-3]。研究表明化学计量比在生态学不同组织尺度上具有内稳性的特征^[4-6],并且通过调节生物对环境因子的响应,化学计量内稳性成为生态系统结构、功能和稳定性维持的重要机制^[7]。近年来,国内学者先后从全国^[6,8-11]、地区^[12-20]等尺度上研究了不同生态系统类型植物叶片、凋落物及土壤 C、N、P 化学计量学特征,探讨了化学计量比的空间分布格局与驱动因素。此外,C、N、P 及其化学计量比随时间变化的信息亦见于植物年际或年内不同生长阶段^[21-23]、群落演替^[24-26]、植被恢复或退化^[27-28]等报道中。这些研究大多表明 C、N、P 及其化学计量比随时间变化表现出明显的动态特征,且 C:N、N:P 具有随群落正向演替或恢复而呈现增加的趋势,从而能很好的指示植被的演替或恢复状况^[27,29]。迄今,C、N、P 化学计量学基于时间变化的信息仍十分缺乏,并且生态系统不同组分或不同元素化学计量比基于时间的变化是否具有一致的模式仍然不能定论^[30-31]。因此,在不同空间尺度上开展

化学计量比随时间变化的研究显得十分必要。

鄱阳湖滨湖地区分布着一些主要由松散沙粒组成的岗岭和丘群,当地人以及一些学者称之为“沙山”^[32]。由于地处亚热带湿润区,鄱阳湖沙山生境条件有别于我国干旱、半干旱区的荒漠类型。自 20 世纪 80 年代湿地松(*Pinus elliottii*) 在江西岗上与厚田沙地引种成功以来^[33],鄱阳湖湖滨沙山的植被恢复中陆续引种了湿地松,以都昌县多宝沙山为例,近十多年来,当地政府以及一些科研机构先后进行了大规模的湿地松种植,使得沙山呈现不同林龄湿地松共存的格局。本研究通过沿沙化梯度测定不同林龄湿地松叶片及林下土壤 C、N、P 含量,以阐明沙化程度和林龄变化对叶片与土壤养分化学计量特征影响,探讨 C、N、P 化学计量比对沙山植被恢复的指示意义,为理解区域化学计量学时空分异提供基础数据,为鄱阳湖沙山植被恢复提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验地设置在江西省都昌县多宝乡沙山,位于江西省北部($29^{\circ}21'22''$ — $29^{\circ}27'18''$ N, $116^{\circ}3'$ — 116°

7°42' E), 属亚热带湿润性季风气候, 年均温 17.5 °C, 多年平均降水 1310 mm。多宝沙山按地表裸露程度大致可分为 3 个部分: (1) 重度沙化区, 主要分布于湖滨地带, 地表裸露面积比例大, 主要由流动沙丘、半流动沙丘组成, 呈面状、条带状分布, 植被稀疏, 覆盖率低于 10%; (2) 中度沙化区, 地表裸露呈斑块状, 主要为半固定沙丘, 植被覆盖率 20%—40% 左右; (3) 轻度沙化区, 以固定沙丘为主, 地表裸露呈斑点状零散分布, 植被覆盖率 40%—50% 左右。沙山本地优势植物主要有狗牙根 (*Cynodon dactylon*), 单叶蔓荆 (*Vitex trifolia* Linn. var. *simplicifolia* Cham.), 美丽胡枝子 (*Lespedeza formosa*), 檵木 (*Loropetalum chinense*), 山楂 (*Crataegus pinnatifida*), 算盘子 (*Glochidion wilsonii*), 小叶女贞 (*Ligustrum quihoui*) 等。

1.2 样品采集与分析

2011 年 9 月在研究区, 对分布于重度、中度及轻度沙化区树龄分别为 10、5、2a 的 3 个年龄组的湿地松叶片及林下土壤进行了样品采集。其中, 重度沙化区采集了 10、2a 两个年龄组; 中度沙化区采集了 10、5、2a 3 个年龄组; 轻度沙化区采集了 10、5a 两个年龄组。10 年生湿地松为当地政府所种植, 在研究区重度沙化区, 10 年生湿地松仅有零星分布, 未形成郁闭林; 在中度与轻度沙化区则形成湿地松纯林, 林下基本无其它植被。5 年生与 2 年生湿地松则是笔者所在单位分别于 2008 年、2010 年春季以 2 年生与 1 年生苗木在研究区所种植。在不同林龄湿地松分布区采用多点混合采样方法, 随机采集 3—5 株湿地松阳生枝条无病虫害且当年生针叶混合作为 1 个重复, 每个年龄组共计采集 5 个重复。在植物样品采集的同时, 利用挖取土壤剖面且随机多点混合方法, 采集了不同年龄组湿地松林下 0—10 cm、10—30 cm 土壤样品共计 42 个。所采植物、土壤样品带回实验室后, 植物样品烘干 (70 °C/48 h) 磨碎, 以 4 分法取其中一部分进行叶片有机碳、全氮、全磷的测定。其中有机碳含量利用重铬酸钾氧化外加热法, 全氮含量采用凯氏定氮法, 全磷含量采取钼锑抗比色法。土壤样品经风干磨碎, 利用上述方法测定有机碳、全氮、全磷。测定结果均以单位质量的养分含量表示 (mg/g)。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2003 软件进行数据处理及制图, 图

表数据以平均值±标准差表示; 利用 SPSS 11.5 软件, 对同一沙化强度下湿地松叶片及土壤 C、N、P 含量与化学计量比进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 并采用 LSD 多重比较分析不同年龄组的差异。由于本研究在轻度、中度与重度沙化区取样的湿地松年龄不完全一致, 因此, 分别采用 GLM (General Linear Model) 模型分析了沙化程度和林龄对轻度与中度沙化区的 5 年和 10 年生以及中度和重度沙化区的 2 年和 10 年生湿地松叶片、土壤养分含量及化学计量比的影响。文中显著性水平均设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 湿地松叶片 C、N、P 含量及化学计量比

2.1.1 叶片 C、N、P 含量

湿地松叶片有机 C 含量变化范围为 395.77—484.96 mg/g, 平均值 (±标准差) 为 (437.48 ± 16.96) mg/g。同一沙化程度下, 不同树龄湿地松叶片有机碳含量差异均不显著 (图 1); 3 种沙化程度区湿地松叶片有机碳含量变异程度均较小, 最大变异系数仅为 6.63%。湿地松叶 N 含量随树龄增加有增加趋势, 变化范围为 3.82—11.06 mg/g, 平均值为 (6.09 ± 1.51) mg/g。轻度沙化与中度沙化分布区不同年龄组的湿地松叶片 N 含量差异显著, 重度沙化下叶 N 含量差异不显著 (图 1)。湿地松叶 P 含量变异程度较大, 变异系数范围为 39.90%—108.44%。叶 P 变化范围为 0.11—2.52 mg/g, 平均值为 (0.71 ± 0.66) mg/g。不同沙化程度下各年龄组湿地松叶片 P 含量均未达到显著性差异 (图 1)。

2.1.2 叶片 C、N、P 化学计量比

湿地松叶片 C:N 随树龄增加有降低趋势, 变化范围为 41.85—113.25, 平均值为 75.70 ± 16.99。轻度与中度沙化程度下的各年龄组湿地松叶片 C:N 差异显著, 重度沙化程度下的 2 年龄组湿地松叶片 C:N 差异不显著 (图 2)。湿地松叶片 C:N 与叶 C 含量相关性不显著, 与叶 N 含量呈显著负相关 ($r = -0.937$, $n = 35$, $P < 0.01$)。叶片 C:P 变化范围为 183.32—4109.59, 平均值为 1297.86 ± 960.37。由于叶 P 含量的变异程度较大, 导致 C:P 比的变异系数变化范围达到 66%—103%。C:P 与叶 P 含量呈显著负相关 ($r = -0.787$, $n = 35$, $P < 0.01$)。3 种沙化程

度下各年龄组湿地松叶片 C:P 均未达到显著性差异 (图 2)。叶片 N:P 变化范围为 2.09—72.53, 平均值为 17.76 ± 14.37 , 变异系数为 55%—108%。3 种沙化程度分布区不同年龄组湿地松叶片 N:P 差异未达

显著性水准 (图 2)。N:P 与叶 N 含量相关性不显著, 与叶 P 含量呈显著负相关 ($r = -0.709$, $n = 35$, $P < 0.01$)。

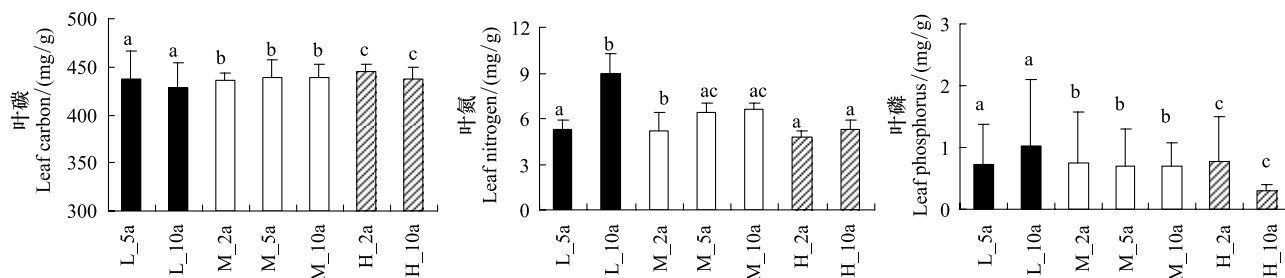


图 1 不同沙化程度下湿地松叶片 C、N、P 含量

Fig.1 Leaf carbon, nitrogen and phosphorus concentrations of *Pinus elliotii* in sites with different desertification intensity

L 为轻度沙化区, M 为中度沙化区, H 为重度沙化区, a 为湿地松年龄; 柱状图上方小写字母相同表示差异不显著, 不同表示差异显著

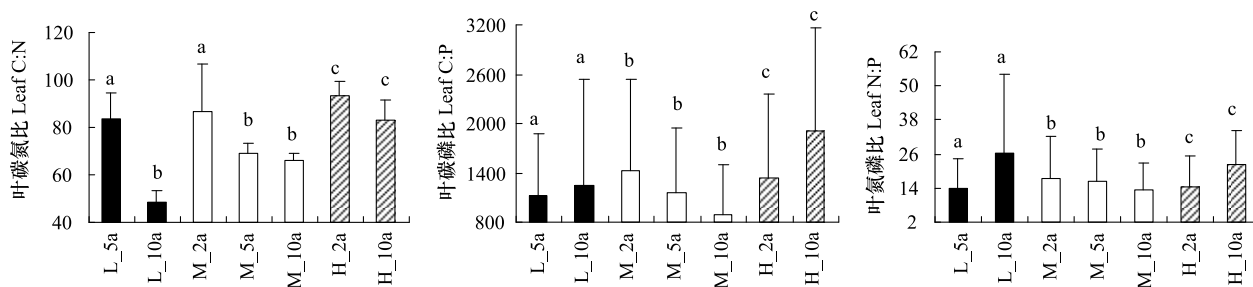


图 2 不同沙化程度下湿地松叶片 C:N、C:P 与 N:P

Fig.2 Leaf C:N, C:P and N:P ratio of *Pinus elliotii* in sites with different desertification intensity

L 为轻度沙化区, M 为中度沙化区, H 为重度沙化区, a 为湿地松年龄; 柱状图上方小写字母相同表示差异不显著, 不同表示差异显著

2.1.3 沙化程度和林龄对湿地松叶片 C、N、P 及化学计量比的影响

GLM 分析表明对于轻度与中度沙化区的 5 年和 10 年生湿地松林, 林龄、林龄与沙化程度的交互作用对湿地松叶 N 及 C:N 有显著影响; 沙化程度、林龄及沙化程度与林龄的交互作用对叶片其他养分元素

及其计量比无显著影响 (表 1)。对于中度与重度沙化区的 2 年和 10 年生湿地松林, 沙化程度和林龄均显著影响湿地松叶 N 与 C:N, 叶片其它养分元素及其计量比未受沙化程度、林龄及沙化程度与林龄交互作用的显著影响 (表 2)。

表 1 轻度与中度沙化区 5 年生和 10 年生湿地松叶片及土壤 C、N、P 化学计量特征 GLM 分析

Table 1 GLM analysis of leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in stands with Low and medium desertification intensity

自变量 Variable	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	统计量 F	显著性 P	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	统计量 F	显著性 P
沙化程度 Desertification intensity	叶碳	1.76	1	1.76	0.35	0.56	土壤有机碳	0.23	1	0.23	0.59	0.46
	叶氮	1.83	1	1.83	2.93	0.11	土壤全氮	0.00	1	0.00	0.70	0.43
	叶磷	0.18	1	0.18	0.34	0.57	土壤全磷	4.02×10^{-5}	1	4.02×10^{-5}	0.13	0.73
	叶碳氮比	14.72	1	14.72	0.33	0.58	土壤碳氮比	199.35	1	199.35	2.11	0.18
	叶碳磷比	121911.0	1	121911.00	0.15	0.70	土壤碳磷比	260.29	1	260.29	0.32	0.59
	叶氮磷比	129.74	1	129.74	0.47	0.50	土壤氮磷比	0.01	1	0.01	0.01	0.93
林龄 Stand age	叶碳	0.91	1	0.91	0.18	0.68	土壤有机碳	0.01	1	0.01	0.02	0.90

续表

自变量 Variable	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	统计量 <i>F</i>	显著性 <i>P</i>	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	统计量 <i>F</i>	显著性 <i>P</i>
沙化程度× 林龄 Desertification intensity×Stand age	叶氮	18.88	1	18.88	30.19	0.00 **	土壤全氮	0.00	1	0.00	5.59	0.05 *
	叶磷	0.11	1	0.11	0.21	0.65	土壤全磷	0.00	1	0.00	1.59	0.24
	叶碳氮比	1777.74	1	1777.74	39.58	0.00 **	土壤碳氮比	275.16	1	275.16	2.92	0.13
	叶碳磷比	23667.20	1	23667.20	0.03	0.87	土壤碳磷比	955.41	1	955.41	1.16	0.31
	叶氮磷比	103.79	1	103.79	0.37	0.55	土壤氮磷比	2.97	1	2.97	4.39	0.07
	叶碳	1.04	1	1.04	0.21	0.65	土壤有机碳	0.19	1	0.19	0.49	0.51
	叶氮	14.16	1	14.16	22.65	0.00 **	土壤全氮	0.00	1	0.00	5.32	0.05 *
	叶磷	0.11	1	0.11	0.20	0.66	土壤全磷	8.78×10 ⁻⁶	1	8.78×10 ⁻⁶	0.03	0.87
	叶碳氮比	1278.72	1	1278.72	28.47	0.00 **	土壤碳氮比	192.74	1	192.74	2.04	0.19
	叶碳磷比	194458.92	1	194458.92	0.24	0.63	土壤碳磷比	20.89		20.89	0.03	0.88
	叶氮磷比	283.20	1	283.20	1.02	0.33	土壤氮磷比	0.18	1	0.18	0.26	0.63

* *P*<0.05 水平下显著, * * *P*<0.01 水平下显著

表 2 中度与重度沙化区 2 年生和 10 年生湿地松叶片及土壤 C、N、P 化学计量特征 GLM 分析

Table 2 GLM analysis of leaf and soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in stands with medium and high desertification intensity

自变量 Variable	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	统计量 <i>F</i>	显著性 <i>P</i>	因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	统计量 <i>F</i>	显著性 <i>P</i>
沙化程度	叶碳	0.63	1	0.63	0.56	0.47	土壤有机碳	3.08	1	3.08	4.24	0.07
Desertification	叶氮	3.76	1	3.76	7.58	0.01 **	土壤全氮	6.08×10 ⁻⁵	1	6.08×10 ⁻⁵	0.03	0.87
intensity	叶磷	0.20	1	0.20	0.59	0.46	土壤全磷	0.00	1	0.00	5.71	0.04 *
林龄 Stand age	叶碳氮比	643.45	1	643.45	4.99	0.04 *	土壤碳氮比	88.13	1	88.13	0.59	0.46
	叶碳磷比	1061130.7	1	1061130.7	1.00	0.33	土壤碳磷比	227.77	1	227.77	0.43	0.53
	叶氮磷比	38.92	1	38.92	0.28	0.61	土壤氮磷比	0.43	1	0.43	0.36	0.57
	叶碳	0.10	1	0.10	0.09	0.78	土壤有机碳	4.34	1	4.34	5.98	0.04 *
	叶氮	4.90	1	4.90	9.87	0.01 **	土壤全氮	0.01	1	0.01	4.01	0.08
	叶磷	0.36	1	0.36	1.03	0.33	土壤全磷	5.63×10 ⁻⁵	1	5.63×10 ⁻⁵	0.67	0.44
	叶碳氮比	1208.81	1	1208.81	9.37	0.01 **	土壤碳氮比	7.27	1	7.27	0.05	0.83
	叶碳磷比	1063.83	1	1063.83	0.00	0.98	土壤碳磷比	2436.75	1	2436.75	4.57	0.07
	叶氮磷比	18.96	1	18.96	0.13	0.72	土壤氮磷比	4.44	1	4.44	3.65	0.09
	叶碳	1.42	1	1.42	1.25	0.28	土壤有机碳	0.14	1	0.14	0.19	0.67
Desertification	叶氮	0.99	1	0.99	1.99	0.18	土壤全氮	0.00	1	0.00	0.07	0.80
intensity * Stand age	叶磷	0.22	1	0.22	0.64	0.44	土壤全磷	5.63×10 ⁻⁵	1	5.63×10 ⁻⁵	0.67	0.44
沙化程度 * 林龄 Desertification intensity * Stand age	叶碳氮比	135.12	1	135.12	1.05	0.32	土壤碳氮比	70.86	1	70.86	0.48	0.51
	叶碳磷比	1516002.6	1	1516002.6	1.43	0.25	土壤碳磷比	273.80	1	273.80	0.51	0.49
	叶氮磷比	170.91	1	170.91	1.21	0.29	土壤氮磷比	0.26	1	0.26	0.22	0.65

* *P*<0.05 水平下显著, * * *P*<0.01 水平下显著

2.2 湿地松林下土壤有机碳、全氮、全磷含量及化学计量比

2.2.1 土壤有机碳、全氮、全磷

土壤 0—10 cm、10—30 cm 有机碳含量变化范围分别为 1.53—6.45 mg/g 和 1.56—4.41 mg/g, 平均值分别为 (3.48±0.63) mg/g 和 (2.99±0.55) mg/g。轻度与重度沙化分布区各年龄组湿地松林下 0—10

cm、10—30 cm 土壤有机碳含量差异均不显著, 中度沙化区不同年龄组湿地松下 0—10 cm 土壤有机碳含量差异不显著而 10—30 cm 处差异显著(图 3)。土壤 0—10 cm、10—30 cm 全氮含量变化范围分别为 0.045—0.194 mg/g 和 0.011—0.196 mg/g, 平均值分别为 (0.117±0.032) mg/g 和 (0.116±0.049) mg/g。轻度沙化、中度沙化与重度沙化分布区不同年龄

组湿地松下 0—10 cm、10—30 cm 土壤全氮含量差异均不显著(图 3)。两剖面层次土壤全磷含量分别为 0.032—0.088 mg/g 和 0.029—0.085 mg/g, 平均值分别为 (0.050 ± 0.012) mg/g 和 (0.052 ± 0.011) mg/g。轻度沙化、中度沙化与重度沙化分布区各年龄组

湿地松下 0—10 cm、10—30 cm 土壤全磷含量差异亦不显著(图 3)。土壤有机碳与全氮呈显著正相关关系($r = 0.36$, $n = 42$, $P < 0.05$)、与全磷相关性不显著。

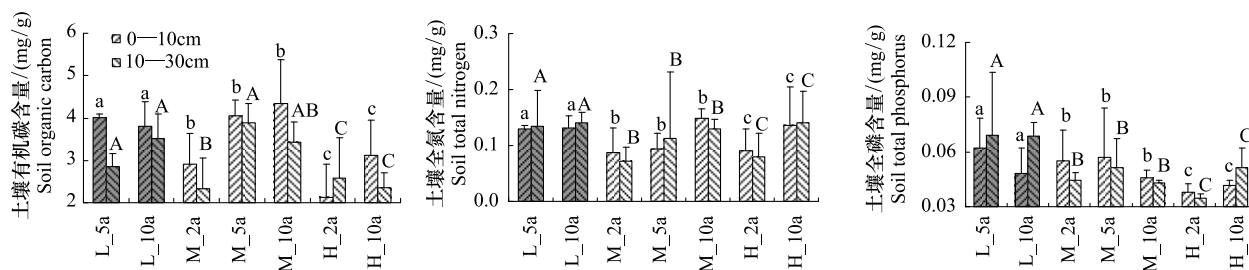


图 3 不同沙化程度湿地松林下土壤 C、N、P 含量

Fig.3 Soil carbon, nitrogen and phosphorus concentrations of *Pinus elliotii* in sites with different desertification intensity

L 为轻度沙化区, M 为中度沙化区, H 为重度沙化区, a 为湿地松年龄; 柱状图上字母相同表示差异不显著, 不同表示差异显著

2.2.2 土壤 C、N、P 化学计量比

土壤 0—10 cm、10—30 cm 层 C:N 变化范围分别为 14.60—64.76 和 14.05—68.80, 平均值分别为 32.45 ± 9.51 和 28.90 ± 12.04 。同一沙化程度下各年龄组湿地松林土壤 0—10 cm、10—30 cm 层 C:N 均未达到显著性差异(图 4)。土壤 C:N 与土壤有机 C 含量相关性均不显著, 与土壤全 N 含量均呈显著负相关($r = -0.636$, $n = 42$, $P < 0.01$)。0—10 cm、10—30 cm 土壤 C:P 变化范围为 35.47—137.21 和 29.93—105.90, 平均值分别为 74.04 ± 25.48 和 62.46 ± 17.46 。同一沙化程度下, 不同林龄湿地松下 0—10

cm、10—30 cm 层土壤 C:P 差异均不显著(图 4)。土壤 C:P 与土壤有机 C 含量呈显著正相关($r = 0.628$, $n = 42$, $P < 0.01$), 与土壤全 P 含量呈显著负相关($r = -0.572$, $n = 42$, $P < 0.01$)。土壤 N:P 变化范围分别为 0.76—4.93 和 0.59—3.79, 平均值分别为 2.52 ± 0.93 和 2.13 ± 0.75 。与土壤 C:P 一致, 同一沙化程度下, 不同林龄湿地松下 0—10 cm、10—30 cm 层土壤 N:P 差异亦不显著(图 4)。土壤 N:P 与土壤全 N 含量均呈显著正相关($r = 0.761$, $n = 42$, $P < 0.01$), 与土壤 P 含量相关性不显著。

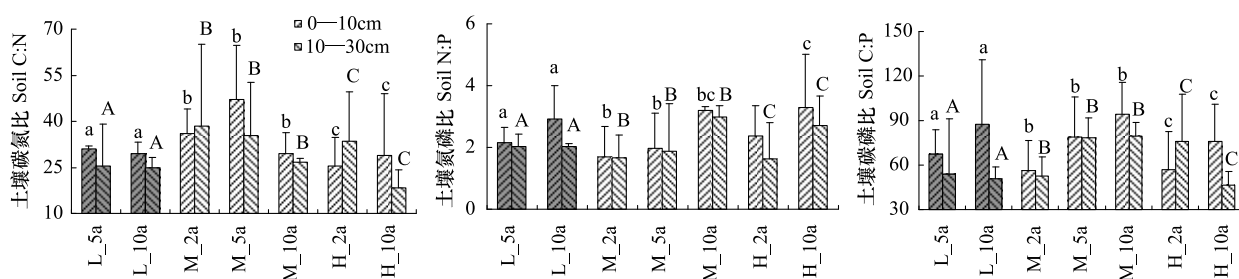


图 4 不同沙化程度湿地松林下土壤 C:N、C:P 与 N:P

Fig.4 Soil C:N, C:P and N:P ratio of *Pinus elliotii* in sites with different desertification intensity

L 为轻度沙化区, M 为中度沙化区, H 为重度沙化区, a 为湿地松年龄; 柱状图上字母相同表示差异不显著, 不同表示差异显著

2.2.3 沙化程度和林龄对湿地松林下土壤 C、N、P 及化学计量比的影响

林龄、林龄与沙化程度的交互作用对轻度与中度沙化区的 5 年生和 10 年生湿地松林下表层土壤全 N 有显著影响, 沙化程度、林龄及沙化程度与林龄交互作用对土壤有机碳、全磷及 3 种土壤养分元素

化学计量比的影响未达到显著性水平(表 1)。对于中度与重度沙化区的 2 年生和 10 年生湿地松林, 仅沙化程度对土壤全磷以及林龄对土壤有机碳影响显著, 其它无显著影响(表 2)。

3 讨论

3.1 鄱阳湖沙山湿地松叶片 C、N、P 化学计量学特征

湿地松叶片有机碳含量略低于全球植物平均含碳量(476.1 mg/g),叶氮、叶磷含量则明显低于全球植物叶片氮(17.4 mg/g)、磷(1.23 mg/g)平均水平^[34]。为进一步说明湿地松叶片 N、P 及其化学计量比特征,我们比较了研究区湿地松与亚热带其它地区的湿地松、鄱阳湖沙山本地物种、北方干旱荒漠区植物、以及其它不同空间尺度下的针叶树种叶片 N、P 及化学计量比(表 3)。

从种内水平看,本研究区湿地松叶 N 平均含量低于亚热带其它地区的湿地松,叶 P 含量介于二者之间。从种间水平看,鄱阳湖沙山湿地松叶片 N、P

含量明显低于北方典型荒漠地区植物叶片 N、P 含量。与其它地区针叶树种相比较,本研究区湿地松的 N、P 含量亦明显偏低。即使与同一研究区的沙山本地物种相比较,湿地松叶片 N、P 含量亦明显偏低。尽管湿地松叶片 N、P 含量与其它地区差异较大,但叶片 N:P 与多数研究区具有可比性,特别是与同处中亚热带的千烟洲十分接近(表 3)。受叶 N 含量偏低的影响,湿地松叶片 C:N(75.70)明显高于全球植物 C:N 平均值(23.4)^[34]。湿地松较低的叶片 N、P 含量与沙山荒漠化生境下的土壤 N、P 含量密切相关,本研究结果表明湿地松林下土壤有机 C、全 N、全 P 含量均远低于全国土壤有机 C(11.12 mg/g)、全 N(1.06 mg/g)、全 P(0.65 mg/g)平均水平,与温带荒漠区相应养分含量比较也明显偏低^[10]。

表 3 鄱阳湖沙山湿地松叶片 N、P 化学计量学特征与其它地区比较

Table 3 Comparison of leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of *Pinus elliotii* in sandy hill along Poyang Lake and plant species elsewhere

研究区 Study area	物种类别 Species	物种数 Species number	叶 N Leaf nitrogen /(mg/g)	叶 P Leaf phosphorus /(mg/g)	N:P	参考文献 References
鄱阳湖沙山 Sandy hill along Poyang Lake	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	1	6.09	0.71	17.76	本研究 This study
千烟洲 Qianyanzhou	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	1	10.02	0.62	16.16	[35]
珠江三角洲 Zhujiang river delta	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	1	9.00	0.87	10.34	[13]
鄱阳湖沙山 Sandy hill along Poyang Lake	本地主要物种 Local dominant species	14	10.21	1.24	9.0	[36]
北方典型荒漠 Northern typical desert	主要物种 Dominant species	214	24.45	1.74	15.77	[12]
全球 Global scale	针叶树 Coniferous trees	150	15.73	1.53	10.28	[34]
中国 China	针叶树 Coniferous trees	27	12.19	1.05	16.04	[8]
中国东部南北样带 North-south transect of eastern China	针叶树 Coniferous trees	44	13.13	1.20	13.16	[37]

3.2 叶片与土壤 C、N、P 及化学计量比随林龄变化

GLM 分析结果表明林龄对不同沙化区湿地松叶 N 及 C:N 均有显著影响,对其他叶片养分元素及化学计量比无显著影响。不同沙化区叶 N 含量随林龄的增长均呈现增加趋势,这主要有 2 个方面的原因,一方面,随着林龄增加,湿地松生长速率降低,叶 N 含量相对累积;另一方面随着林龄的增长,林下土壤有机质、全氮含量增加,土壤养分含量的增加也会在

植物叶片中有所体现。叶片 C:N 与叶 C 含量相关性不显著,与叶 N 含量呈显著负相关,因而随林龄增加呈降低趋势。叶片与土壤 C、N、P 及其化学计量比随林龄变化的响应不完全一致,林龄仅对轻度与中度沙化区土壤全氮以及中度与重度沙化区土壤有机碳有显著影响,对土壤 C:N、C:P、N:P 影响均不显著。

Ågren^[30] 基于自然群落中植物生长的养分与化

学计量学综述认为对元素化学计量比随时间的变化模式尚不能做出任何定论。本研究中湿地松叶片与土壤 C:N、C:P、N:P 随林龄变化即表现出不完全同步的模式,这与其它地区的研究结果一致。例如,在生态系统不同组分上,Yang 等^[31]报道随着林分年龄的增加,植物组织的 C:N 显著增加,但枯枝落叶、凋落物以及土壤的 C:N 保持相对稳定。在年际动态上,杨阔等^[21]报道青藏高原草地植物群落叶片 N、P 含量及 N:P 比值存在显著的年际差异,但不同年份的变化趋势不一致。在植物群落演替研究中,刘万德等^[26]对云南普洱季风常绿阔叶林演替系列的研究表明:植物 N:P 随演替呈增加趋势,但土壤 N:P 及 C:P 则随演替呈减小趋势;而刘兴诏等^[29]对南亚热带森林群落演替的研究表明:植物和土壤的 N:P 均随正向演替而呈现增加趋势。潘复静等^[15]则报道不同演替阶段群落凋落物 N:P 值随植被正向演替而升高,C:N 值和 C:P 值随植被正向演替而下降。生态系统不同组分或不同元素化学计量比随时间变化的差异性机理有待于进一步研究。

3.3 湿地松叶片 C、N、P 化学计量比对沙山植被恢复的指示作用

湿地松因其适应性强、抗旱耐脊薄、成活率高、前期生长迅速等特征已成为鄱阳湖周边沙山植被恢复过程中引种的主要乔木树种。叶片 C:N 和 C:P 代表着植物吸收营养元素时所能同化碳的能力,反映了植物营养元素的利用效率,同时也代表着不同群落或植物固碳效率的高低^[2]。本研究中湿地松叶片 C:N、C:P 平均值分别为 75.70、1297.86,均明显高于分布于研究区沙山的 11 种本地优势灌木或小乔木的 C:N(40.39)与 C:P(351.23)^[36],显示了湿地松在养分贫瘠的沙山生境中的固碳优势。此外,湿地松叶 N、C:N 对林龄及沙化程度的变化均反应敏感,因而对于诊断或评估湿地松在沙山的生长状况具有一定的指示作用。

研究表明叶片 N:P 可以指示植物氮受限或磷受限,N:P 值小于 14 通常意味着氮受限,而 N:P 值大于 16 则意味着植物更多的受到磷的限制,介于两者中间表明受到氮、磷元素的共同限制作用^[38-39]。沙山湿地松叶片 N:P 平均值为 17.76,湿地松生长整体更多的受磷的限制。如果把湿地松按年龄划分成 10 年生湿地松组及 10 年生以下湿地松组,则发现

10 年生湿地松组叶片 N:P 平均值为 20.63,10 年生以下湿地松组叶片 N:P 平均值为 15.61,意味着随着湿地松林龄的增加,由早期的 N、P 共同限制逐渐转向更加受 P 的限制。

References:

- [1] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: the Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [2] He J S, Han X G. Ecological stoichiometry: searching for unifying principles from individuals to ecosystems. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 2-6.
- [3] Ågren G I, Weih M. Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. New Phytologist, 2012, 194(4): 944-952.
- [4] 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(6812): 578-580.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Yu Q, Chen Q S, Elser J J, He N P, Wu H H, Zhang G M, Wu J G, Bai Y F, Han X G. Linking stoichiometric homeostasis with ecosystem structure, functioning and stability. Ecology Letters, 2010, 13(11): 1390-1399.
- [8] 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.
- [9] Qin H, Li J X, Gao S P, Li C, Li R, Shen X H. Characteristics of leaf element contents for eight nutrients across 660 terrestrial plant species in China. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(5): 1247-1257.
- [10] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, Melillo J M, Hall C A S. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data. Biogeochemistry, 2010, 98(1/3): 139-151.
- [11] Zhang S B, Zhang J L, Ferry-Slik J W, Cao K F. Leaf element concentrations of terrestrial plants across China are influenced by taxonomy and the environment. Global Ecology and Biogeography, 2012, 21(8): 809-818.
- [12] Li Y L, Mao W, Zhao X Y, Zhang T H. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in typical desert and desertified regions North China. Environmental Science, 2010, 31(8): 1716-1725.
- [13] Wu T G, Chen B F, Xiao Y H, Pan Y J, Chen Y, Xiao J H. Leaf stoichiometry of trees in three forest types in Pearl River

- Delta, South China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 58-63.
- [14] Lu J, Zhou H X, Tian G Y, Liu G H. Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 709-715.
- [15] Pan F J, Zhang W, Wang K L, He X Y, Liang S C, Wei G F. Litter C : N : P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(2): 335-343.
- [16] Wang W Q, Xu L L, Zeng C S, Tong C, Zhang H L. Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7119-7124.
- [17] Wang W Q, Wang C, Zeng C S, Tong C. Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of *Phragmites australis* wetlands in different reaches in Minjiang River estuary. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4087-4093.
- [18] Ding X H, Luo S Z, Liu J W, Li K, Liu G H. Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3467-3476.
- [19] Ding X H, Gong L, Wang D B, Wu X, Liu G H. Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mogolia. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4722-4730.
- [20] 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. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(3): 222-230.
- [21] Yang K, Huang J H, Dong D, Ma W H, He J S. Canopy leaf N and P stoichiometry in grassland communities of Qinghai-Tibetan Plateau, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 17-22.
- [22] 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(1): 23-28.
- [23] 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.
- [24] Gao S P, Li J X, Xu M C, Chen X, Dai J. Leaf N and P stoichiometry of common species in successional stages of the evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 947-952.
- [25] Yan E R, Wang X H, Zhou W. N:P stoichiometry in secondary succession in evergreen broad-leaved forest, Tiantong, East China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008, 32(1): 13-22.
- [26] Liu W D, Su J R, Li S F, Zhang Z J, Li Z W. Stoichiometry study of 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.
- [27] Yin X R, Liang C Z, Wang L X, Wang W, Liu Z L, Liu X P. Ecological stoichiometry of plant nutrients at different restoration succession stages in typical steppe of Inner Mongolia, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 39-47.
- [28] Luo Y Y, Zhang Y, Zhang J H, Ka Z J, Shang L Y, Wang S Y. Soil stoichiometry characteristics of alpine meadow at its different degradation stages. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(2): 254-260.
- [29] Liu X Z, Zhou G Y, Zhang D Q, Liu S Z, Zhu 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(1): 64-71.
- [30] Ågren G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2008, 39(1): 153-170.
- [31] Yang Y H, Luo Y Q. Carbon: nitrogen stoichiometry in forest ecosystems during stand development. Global Ecology and Biogeography, 2011, 20(2): 354-361.
- [32] Ren L X, He Y, Yang D Y. Study on the evolution of sandy hills along Poyang Lake area for the last 100,000 years. Geographical Research, 2008, 27(1): 128-134.
- [33] He X D. Apreliminary study on Slash Pine afforestation on subtropical sandy land-Taking Houtian and Gangshang areas of Nanchang in Jiangxi as an example. Journal of Desert Research, 1993, 13(1): 57-63.
- [34] Kattge J, Díaz S, Lavorel S, Prentice I C, Leadley P, Bönsch G, Garnier E, Westoby M, Reich P B, Wright I J, Cornelissen J H C, Violle C, Harrison S P, Van Bodegom P M, Reichstein M, Enquist B J, Soudzilovskaia N A, Ackerly D D, Anand M, Atkin O, Bahn M, Baker T R, Baldocchi D, Bekker R, Blanco C C, Blonder B, Bond W J, Bradstock R, Bunker D E, Casanoves F, Cavender-bares J, Chambers J Q, Chapin iii F S, Chave J, Coomes D, Cornwell W K, Craine J M, Dobrin B H, Duarte L, Durka W, Elser J, Esser G, Estiarte M, Fagan W F, Fang J, Fernández-Méndez F, Fidelis A, Finegan B, Flores O, Ford H, Frank D, Freschet G T, Fyllas N M, Gallagher R V, Green W A, Gutierrez A G, Hickler T, Higgins S I, Hodgson J G, Jalili A, Jansen S, Joly C A, Kerkhoff A J, Kirkup D, Kitajima K, Kleyer M, Klotz S, Knops J M H, Kramer K, Kühn I, Kurokawa H, Laughlin D, Lee T D, Leishman M, Lens F, Lenz T, Lewis S L, Lloyd J, Llusià J, Louault F, Ma S, Massad T, Medlyn B E, Messier J, Moles A T, Müller S C, Nadrowski K, Naeem S, Ninemets Ü, Nöller S, Nüske A, Ogaya R, Oleskyn J, Onipchenko V G, Onoda Y, Ordoñez J, Overbeck G, Ozinga W A, Patiño S, Paula S, Pausas J G, Peñuelas J, Phillips O L, Pillar V, Poorter L, Poschlod P, Prinzing A, Proulx R, Rammig

- A, Reinsch S, Reu B, Sack L, Salgado-negret B, Sardans J, Shiodera S, Shipley B, Siefert A, Sosinski E, Soussana J F, Swaine E, Swenson N, Thompson K, Thornton P, Waldram M, Weiher E, White M, White S, Wright S J, Yguel B, Zaehle S, Zanne A E, Wirth C. TRY-a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 2011, 17(9): 2905-2935.
- [35] 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.
- [36] Hu Q W, Zheng L, Wu Q, Li X F, Cao Y, Ding M J. Study on nitrogen and phosphorus content in the leaves of dominant plant species in sandy hills along Poyang Lake. *Ecological Science*, 2010, 29(2): 97-101.
- [37] Ren S J, Yu G R, Tao B, Wang S Q. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Environmental Science*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [38] 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.
- [39] Gueswell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- 参考文献:**
- [2] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 2-6.
- [9] 秦海, 李俊祥, 高三平, 李铨, 李蓉, 沈兴华. 中国 660 种陆生植物叶片 8 种元素含量特征. *生态学报*, 2010, 30(5): 1247-1257.
- [12] 李玉霖, 毛伟, 赵学勇, 张铜会. 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷化学计量特征研究. *环境科学*, 2010, 31(8): 1716-1725.
- [13] 吴统贵, 陈步峰, 肖以华, 潘勇军, 陈勇, 萧江华. 珠江三角洲 3 种典型森林类型乔木叶片生态化学计量学. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 58-63.
- [14] 鲁静, 周虹霞, 田广宇, 刘贵华. 洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征. *生态学报*, 2011, 31(3): 709-715.
- [15] 潘复静, 张伟, 王克林, 何寻阳, 梁士楚, 韦国富. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征. *生态学报*, 2011, 31(2): 335-343.
- [16] 王维奇, 徐玲琳, 曾从盛, 仝川, 张林海. 河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征. *生态学报*, 2011, 31(23): 7119-7124.
- [17] 王维奇, 王纯, 曾从盛, 仝川. 闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征. *生态学报*, 2012, 32(13): 4087-4093.
- [18] 丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 李魁, 刘国华. 呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化. *生态学报*, 2012, 32(11): 3467-3476.
- [19] 丁小慧, 宫立, 王东波, 伍星, 刘国华. 放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响. *生态学报*, 2012, 32(15): 4722-4730.
- [20] 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(3): 222-230.
- [21] 杨阔, 黄建辉, 董丹, 马文红, 贺金生. 青藏高原草地植物群落冠层叶片氮磷化学计量学分析. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 17-22.
- [22] 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 化学计量学的季节变化. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 23-28.
- [23] 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.
- [24] 高三平, 李俊祥, 徐明策, 陈熙, 戴洁. 天童常绿阔叶林不同演替阶段常见种叶片 N、P 化学计量学特征. *生态学报*, 2007, 27(3): 947-952.
- [25] 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 化学计量学特征. *植物生态学报*, 2008, 32(1): 13-22.
- [26] 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.
- [27] 银晓瑞, 梁存柱, 王立新, 王炜, 刘钟龄, 刘小平. 内蒙古典型草原不同恢复演替阶段植物养分化学计量学. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 39-47.
- [28] 罗亚勇, 张宇, 张静辉, 卡召加, 尚伦宇, 王少影. 不同退化阶段高寒草甸土壤化学计量特征. *生态学杂志*, 2012, 31(2): 254-260.
- [29] 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(1): 64-71.
- [32] 任黎秀, 和艳, 杨达源. 鄱阳湖湖滨十万年来沙山的演化. *地理研究*, 2008, 27(1): 128-134.
- [33] 何兴东. 亚热带沙地湿地松造林的初步研究—以江西南昌市厚田和岗上地区为例. *中国沙漠*, 1993, 13(1): 57-63.
- [35] 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(6): 587-595.
- [36] 胡启武, 郑林, 吴琴, 李晓峰, 曹昀, 丁明军. 鄱阳湖沙山优势植物种叶片氮磷特征. *生态科学*, 2010, 29(2): 97-101.
- [37] 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.

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 Qiwu, 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 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	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 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

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元