

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

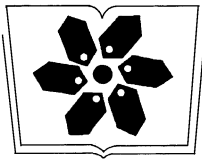
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **2012**

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 32 卷 第 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
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·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态经济系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一, 它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧, 延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中, 海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下, 来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升, 给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时, 山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布, 翠峰直插云霄, 森林茂密苍郁, 溪流碧澄清澈, 奇花异葩繁多, 风景美如画卷, 气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105020571

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.

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.

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

丁小慧^{1,2}, 罗淑政^{1,2}, 刘金巍^{1,2}, 李 魁³, 刘国华^{1,*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 内蒙古自治区呼伦贝尔市环境科学研究所, 呼伦贝尔 021008)

摘要: 植物化学计量学特征在大尺度上主要受纬度和经度两个因素影响。纬度梯度上温度因子变化对植物化学计量特征的影响已有大量研究, 但是关于经度梯度上降雨因子变化对植物化学计量特征影响的研究却较少。选取呼伦贝尔草原, 研究经度梯度上植物化学计量特征和土壤养分指标的变化规律, 从经度梯度和养分供给两方面分析植物群落化学计量特征的变化规律, 研究结果如下: 1) 植物群落叶片 C 含量变化范围为 440.76—452.72 mg/g, N 含量变化范围为 17.79—30.88 mg/g, P 含量变化范围为 1.31—1.71 mg/g; 群落叶片 C 含量、C/N 随经度升高显著增加; 群落叶片 N 含量随经度升高显著下降; 植物群落 P 含量也呈下降趋势, 但是关系不显著; 植物群落 C、N 和 P 元素总量随着经度升高而显著增加。2) 0—10 cm 土壤全碳、全氮、全磷、有机碳受降雨量变化和植物群落元素总量影响, 随着经度梯度升高而增加; 但土壤铵态氮、硝态氮在经度梯度上没有表现出规律性的变化趋势。3) 土壤全碳、有机碳、全氮、全磷和速效磷与植物群落叶片 C、N 和 P 含量没有显著相关关系, 但与植物群落 C、N 和 P 元素总量呈显著正相关关系。该区土壤有效磷含量(8.13 mg/kg) 高于全球平均值(7.65 mg/kg), 但植物群落叶片磷含量平均值(1.5 mg/g) 低于全球平均值(1.77 mg/g)。通过研究结果推测: 植物通过对气候条件的长期适应, 群落水平 C、N 和 P 含量沿经度梯度形成一定的分布格局; 降雨量影响植物群落元素积累的总量, 从而与土壤养分含量呈显著正相关关系; 植物叶片 P 含量低的原因并非是由于土壤中磷的供给不足所致, 而是植物对环境长期适应形成的策略。

关键词: 草地生态系统; 经度梯度; 降雨量; 化学计量学; 呼伦贝尔

Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir

DING Xiaohui^{1,2}, LUO Shuzheng^{1,2}, LIU Jinwei^{1,2}, LI Kui³, LIU Guohua^{1,*}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Institute of Environmental Science of Inner Mongolia, Hulunbeir 021008, China

Abstract: In large scale, plant stoichiometry is mainly affected by latitude and longitude. Many works have been done to study the effects of temperature on plant stoichiometry along the latitude gradient, while researches on the precipitation along the longitude gradient are rare. In this research, we studied the stoichiometry characteristics of grassland communities along the longitude gradient in Hulunbeir. The results showed as follow: 1) the range of leaf carbon was 440.76—452.72 mg/g, leaf nitrogen was 17.79—30.88 mg/g, and leaf phosphorous was 1.31—1.71 mg/g. Both the leaf carbon and C/N

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060104)

收稿日期: 2011-05-02; 修订日期: 2012-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ghliu@cees.ac.cn

ratio significantly increased with the increasing longitude. Leaf nitrogen significantly decreased with the increasing longitude, and leaf phosphorous showed an increasing tendency, however, the relationship between leaf phosphorous and longitude was not significant. The amount of carbon, nitrogen and phosphorous of grassland communities significantly increased with the increasing longitude. 2) For the 0—10cm soil depth, total carbon, total nitrogen, total phosphorus and organic carbon were significantly affected by precipitation and increased with longitude; however, soil ammonium nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) and nitrate nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) were less affected by precipitation and didn't change significantly with longitude. 3) Soil total carbon, organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and available phosphorus did not have significant effects on plant leave carbon, nitrogen and phosphorus, but had a significant effects on the amount of carbon, nitrogen and phosphorous of grassland communities. In this studied region, soil available phosphorus was 8.13 mg/kg, which was higher than the Global Average Value (7.65 mg/kg), but the average leaf phosphorous was 1.5 mg/g and lower than the Global Average Value (1.77 mg/kg). Our research suggested that variation in leaf carbon, leaf nitrogen and leaf phosphorus concentration and its strong correlation with precipitation reveal that, to some extent, stoichiometry characteristics at the community level are adaptive to local precipitation condition. The amount of carbon, nitrogen and phosphorus of grassland communities have a high relationship with the local precipitation, and have a significant correlation with soil total carbon, total nitrogen, total phosphorus. The shortage in soil available phosphorus is not the major factor for the low plant leaf phosphorus concentration in our studied region, and the low plant leaf phosphorus is a result of adaptation.

Key Words: grassland ecosystem; longitude; precipitation; stoichiometry; Hulunbeier

生态化学计量学结合了生态学和化学计量学的基本原理,是研究生态系统能量平衡和多重化学元素平衡的学科,是分析多重化学元素的质量平衡对生态交互作用影响的一种理论^[1],它主要强调活有机体 C、N、P 三种主要组成元素的关系^[2]。植物体叶片 C、N、P 元素化学计量学特征与环境因子关系的研究是当前生态学和地学研究的主要热点之一^[3],尤其是在区域或是更大尺度探讨其变化规律和影响因素更为引起重视。很多研究表明,植物体内的 C、N、P 特征在不同尺度上具有变异性^[3-6]。而植物化学计量学特征区域尺度效应的研究,实际上就是探讨区域尺度上温度或水分等环境因子的变化对植物生理生态过程的影响。Reich 和 Oleksyn^[3]通过分析全球 1280 种植物叶片的 N、P 含量数据发现:在全球尺度上,随着纬度降低温度升高,植物 N、P 含量下降,而 N/P 升高;Han 等^[4]研究了中国 753 种陆生植物,发现中国植物 N、P 含量分布格局与 Reich 和 Oleksyn 的研究结果相一致;任书杰^[7]分析中国东部南北样带 654 种植物叶片 N 和 P 含量,结果也表明:叶片 N、P 含量随纬度的升高和年均温的降低显著增加。He^[6]在对中国草地 213 种植物的研究显示:气候要素的变异对叶片 P 含量和 N/P 比只有微弱的影响。杨阔等^[8]结合温度和降水对青藏高原草地植物群落冠层叶片化学计量学特征与环境因子的关系研究认为:叶片 N、P 含量与年均温有极显著的相关关系。

对于纬度梯度上温度变化对植物叶片 N、P 含量影响的研究,在不同研究尺度上得到的结果基本相同,即:随着温度降低,植物叶片 N、P 含量增加;但水分变化对植物叶片元素含量特征的影响却较少报导。我国的草地生态系统产草量受水、热因子的影响,其中水分因子是最主要的限制性因子。呼伦贝尔草原位于内蒙古东侧,自西向东降雨量逐渐增加,降雨量范围为 230.12—360.18 mm,蒸发量远大于降雨量,可见水分是影响该地区草地植物群落的重要因子。因此,本文选择呼伦贝尔草原作为研究区,沿经度梯度设置样地,分析植物群落叶片 C、N 和 P 化学计量学特征以及土壤的养分含量特征,探讨植物群落化学计量学特征沿经度梯度(降雨量梯度)变化规律,以期为我国草地生态系统化学计量特征的区域性变化研究提供基础数据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况和样地设置

研究区位于内蒙古自治区呼伦贝尔市大兴安岭山脉以西地区(48°04′0.2″—50°11′29″N, 116°32′42″—

120°18′29″E)。地处内蒙古东部,总体属于高原型地貌,是亚洲中部蒙古高原的组成部分。由于纬度偏高,远离海洋,属于温带大陆性季风气候。年均温-5—2℃,多年平均降水量339mm,年蒸发量950—1900mm,无霜期40—130d^[9]。该地区草地类型丰富,主要代表群系有日阴营(*Carex pediformis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)等。

沿经度梯度在呼伦贝尔草原自西向东设置7个研究样地(表1,图1),尽量选取人类干扰少草地作为研究对象。每个样地开展草地生物量测定、群落结构、植物取样和土壤调查研究。

表1 呼伦贝尔草原沿经度梯度的样地概况

Table 1 Basic information of sample sites in the grasslands at Hulunber along the longitudinal gradient			
样地 Site	经度 Longitude	纬度 Latitude	群落类型 Community
1	117°2′32.1″E	48°29′25.3″N	麻花头+冷蒿草原
2	117°25′11.6″E	48°26′14.9″N	大针茅草原
3	117°46′29″E	48°21′13″N	大针茅+杂草草原
4	118°4′9.4″E	48°20′33″N	糙隐子草草原
5	118°49′17″E	48°5′41″N	贝加尔针茅+杂草草原
6	118°59′25″E	48°4′0.2″N	羊草+杂草草原
7	119°39′20″E	48°28′00″N	羽茅+羊草+杂草草原

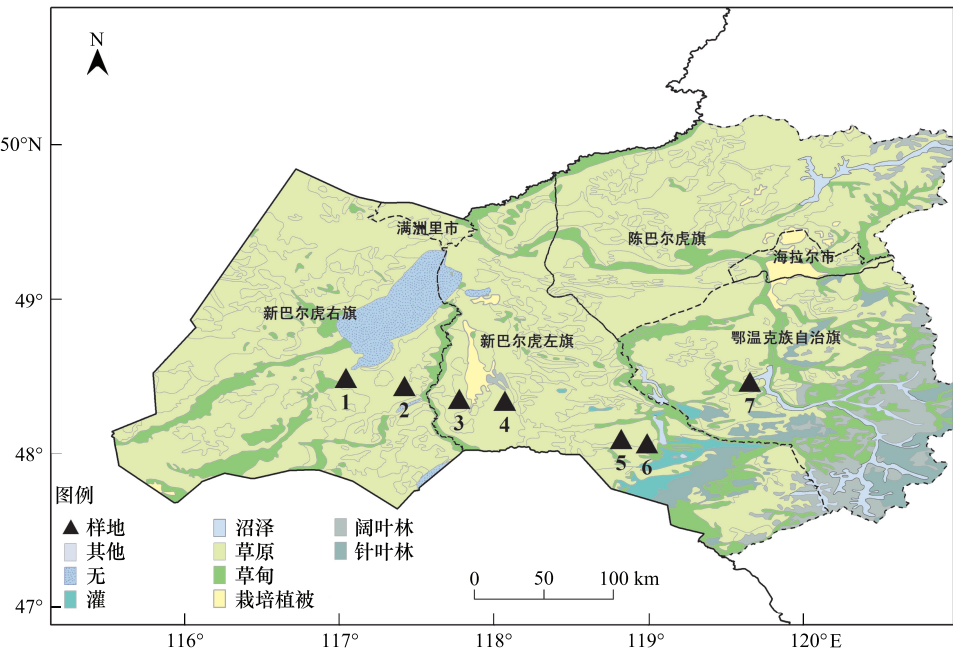


图1 研究区植被类型图
Fig. 1 Vegetation map of studied region

1.2 试验方法

植物调查和取样时间为2009年8月5—18日。在每个样地设置一条50m的样带,沿样带每隔10m设置一个1m×1m的样方,共5个样方。在样方中开展草地生物量测定、群落结构和土壤调查研究。群落调查包括物种组成、高度、盖度、丛数等。物种地上生物量用收割法获取,随机挑选3个样方齐地面分物种将植物剪下,称量其鲜重,装入纸信封。植株带回实验室后,在80℃下烘至恒重,称量干重,获取每个物种的含水率和生物量,最后得到样地中草地的总生物量。

土壤样品取样时间为2010年7月16日—8月2日。由于土壤养分在年际间的变异不大^[10-14],因此取

2010 年土壤数据作为补充。在每个样地沿样方调查设置的样线随机挖 3 个土壤剖面,采集 0—10 cm 土层的土壤样品 100 g,装入土袋中,共采集土壤样品 21 个。用环刀采集 0—10 cm 土层的土壤样品,装入铝盒中。将土壤样品带回实验室,放至通风干燥处,剔除石粒和草根等杂物,自然风干备用。

1.3 样品的分析测定

1.3.1 植物样品的分析测定

从采回的植物样品中挑选足够的健康叶片使用研磨仪粉碎,利用 C/N 元素分析仪,进行 C、N 含量测定。植物 P 含量采用全谱直读等离子体发射光谱仪测定,用微波消解萃取系统 (CEM) 进行前处理,样品回收率 84%—90%。

1.3.2 土壤样品的分析测定

土壤样品使用研磨仪粉碎,分别过 2 目和 100 目筛,备用。利用 C/N 元素分析仪,进行 C、N 含量测定。土壤全磷使用浓硝酸,氢氟酸,高氯酸消解 ICP-OES 测定;速效磷使用 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 提取,ICP-OES 测定;有机碳使用重铬酸钾容量法测定;硝态氮和铵态氮分别采用 1:5 水土比水杨酸钠法和 1:5 水土比硫酸脲还原法测定。土壤 pH 值采用 1:2.5 电位法测定。土壤含水量采用烘干法测定。

1.4 统计方法

为方便与国内外参考文献比较,植物各养分含量均用质量份数表示。植物群落养分含量采用的是群落植物的加权平均值,权重因子为重要值。采用 SPSS 17.0 统计软件对数据进行统计分析,相关分析采用的是 Pearson 相关法。

重要值计算公式:重要值 = (相对生物量 + 相对高度 + 相对盖度) / 3

式中,相对生物量 = 物种生物量 i / 总生物量;相对高度 = 物种高度 i / 总高度;相对盖度 = 物种盖度 i / 总盖度。

2 研究结果

2.1 植物群落叶片生态化学计量学特征沿经度变化

植物群落叶片生态化学计量学指标呈现不同的变化趋势(图 2)。群落叶片 C 含量(440.76—452.72 mg/g)随着经度增加而显著升高($P=0.0029$),但群落叶片 N 含量(17.79—30.88 mg/g)随经度的升高而显著降低($P=0.0038$),群落叶片 P 含量(1.31—1.71 mg/g)则随经度增加降低,但变化趋势不显著($P=0.073$)。群

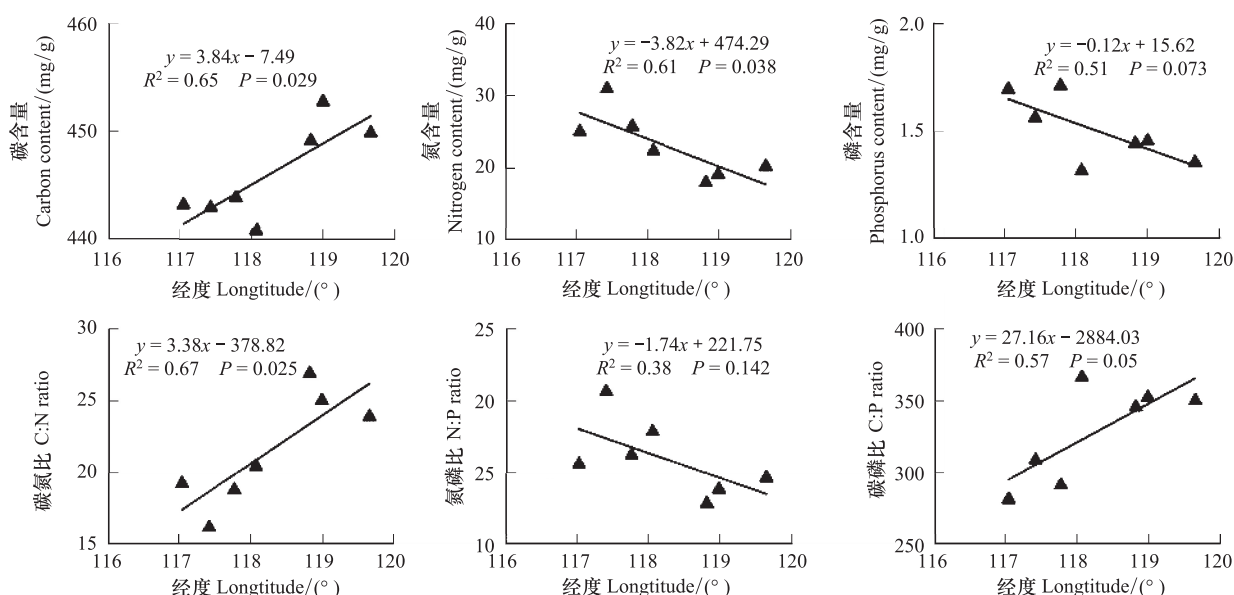


图 2 植物群落生态化学计量学特征沿经度变化规律

Fig. 2 The trend of eco-stoichiometry traits of plant community along the longitudinal gradient

落叶片 C、N 和 P 中变异最大的是 N 含量(变异系数为 19.9%),其次为 P 含量(10.4%),C 含量变异最小(1.0%)。群落叶片 C/N(16.12—26.92)经度的升高显著增加($P=0.025$),C/P(281.06—366.43)与 C/N 比表现出相同的变化趋势($P=0.05$),但群落叶片 N/P(12.79—20.64)随经度升高而下降($P=0.14$)。植物群落全 C、全 N 和全 P 随着经度梯度的升高极显著增加(图 3)。

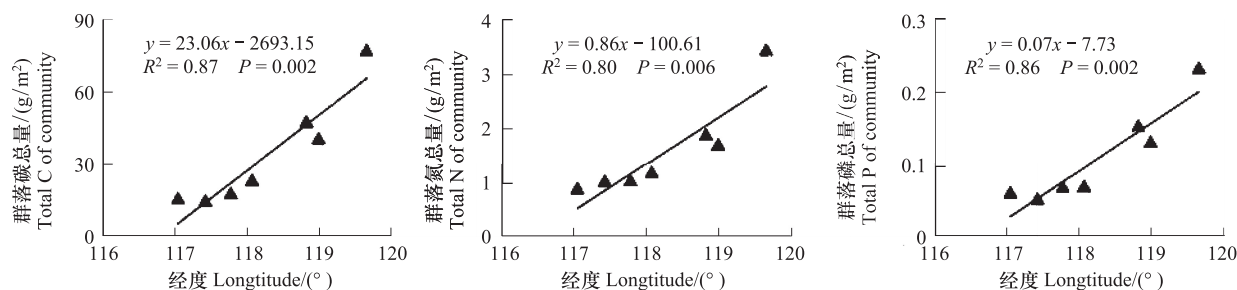


图 3 植物群落水平 C、N 和 P 总量沿经度梯度变化规律

Fig. 3 The trend of total C, N and P of grassland community along the longitudinal gradient

1.4 0—10 cm 土壤理化性质沿经度变化

0—10 cm 表层土壤的全 C(9.31—33.23 mg/g)、全 N(1.30—3.06 mg/g) 和全 P(280.56—592.8 mg/g) 含量随着经度升高而增加,土壤速效养分指标没有表现出相同变化趋势(图 4)。其中土壤全碳和土壤有机 C(8.04—35.08 mg/g)变化趋势相同,随着经度升高而增加。土壤全 N 含量随着经度升高而显著增加($P=0.034$),但土壤铵态 N(3.50—5.60 mg/kg)和硝态 N(1.23—3.18 mg/kg)含量没有显著变化。土壤全 P 随着

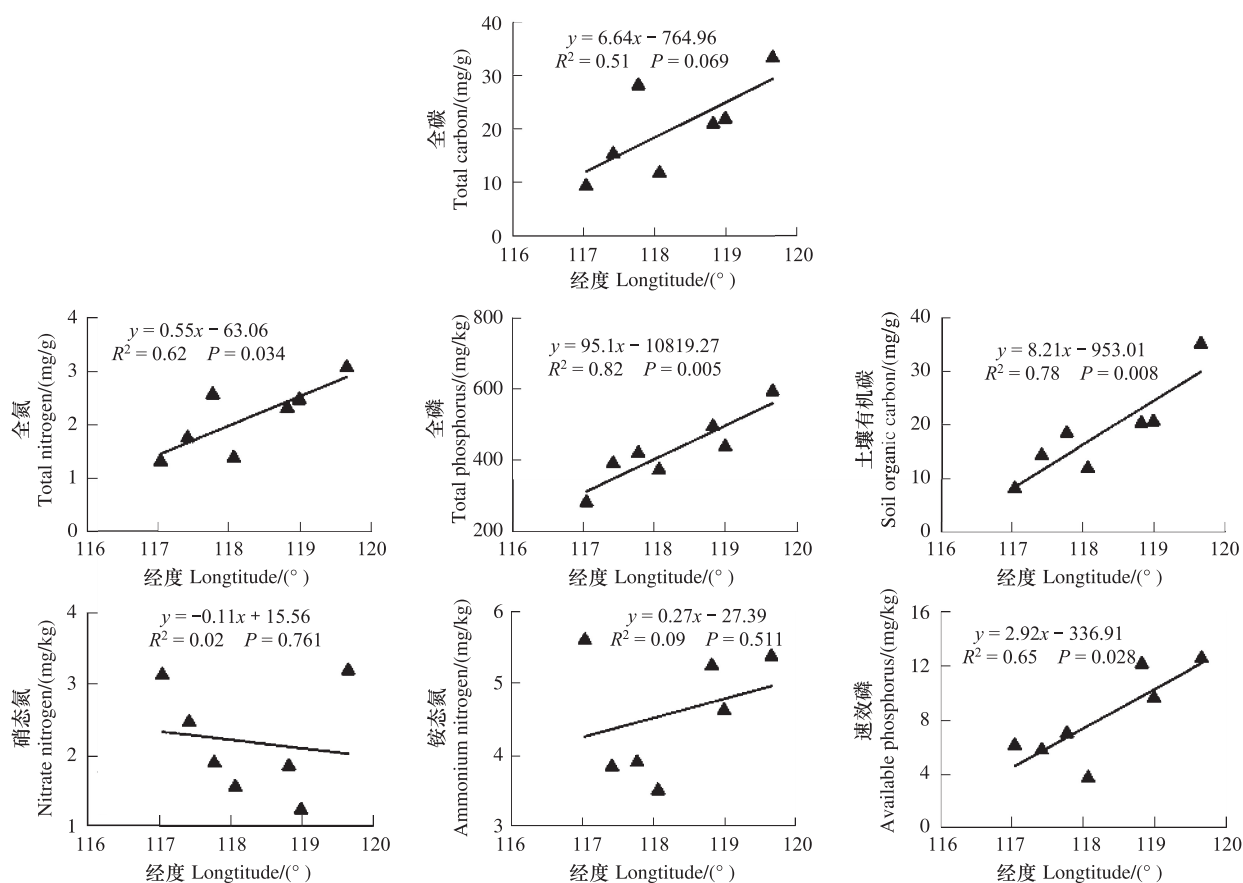


图 4 0—10cm 土壤养分含量沿经度变化规律

Fig. 4 The trend of soil total and available nutrient concentrations along the longitudinal gradient

经度梯度升高而显著增加 ($P = 0.005$), 土壤速效 P ($3.69\text{--}12.56\text{ mg/kg}$) 也表现出相同的变化趋势 ($P = 0.008$)。

土壤 pH 值和土壤含水量是影响土壤理化性质的重要指标之一。本文的研究结果表明(图 5), 随着经度梯度的升高土壤 pH 值下降, 但关系不显著; 土壤含水量随着经度梯度的升高而显著增加。研究表明(表 2), 土壤 pH 值与土壤铵态 N 显著相关, 而土壤含水量与土壤有机 C、土壤全 P 呈极显著正相关关系, 与土壤全 N 呈显著正相关关系。

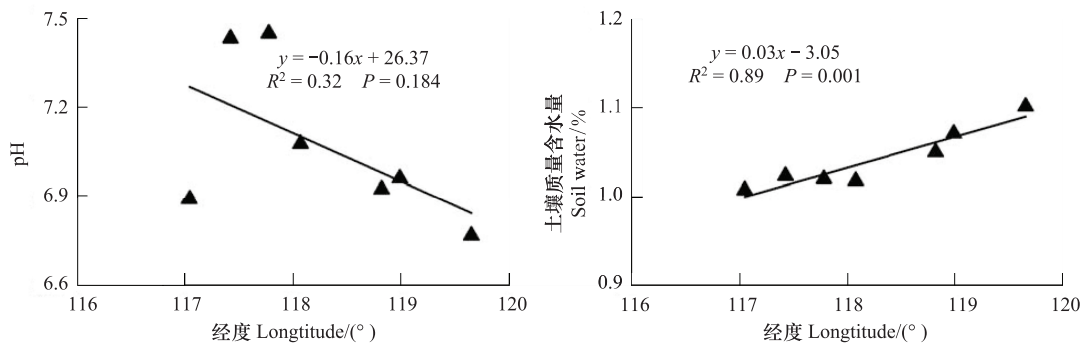


图 5 土壤 pH 值和土壤含水量沿经度梯度变化规律

Fig. 5 The trend of pH and water content of soil along the longitudinal gradient

表 2 土壤 pH 值、土壤含水量与 0—10 cm 土壤养分的相关关系

Table 2 Correlations between pH and 0—10cm soil's nutrient content, water content of soil and 0—10cm soil's nutrient content

	STC	SOC	STN	SNO	SNH	STP	SP
pH	-0.078	-0.375	-0.167	-0.272	-0.778 *	-0.324	-0.43
θm	0.744	0.93 **	0.821 *	0.086	0.421	0.886 **	0.842 *

STN: 土壤总氮; STC: 土壤全氮; STP: 全磷; SOC: 土壤有机氮; SP: 速效磷; SNO: 硝态氮; SNH: 铵态氮; * 表示达到显著水平, $P < 0.05$; ** 代表达到极显著水平, $P < 0.01$

2.3 植物群落化学计量学特征与 0—10 cm 土壤养分的关系

植物群落叶片 C、N、P 含量与土壤养分元素含量无显著相关关系(表 3)。植物群落全 C 含量与土壤全 C 和有机 C 含量正相关, 与土壤有机 C 含量相关关系极显著; 植物群落全 N 含量与土壤全 N、硝态 N 和铵态 N 量呈正正相关, 但只与土壤全 N 含量相关关系显著; 植物群落全 N 含量与土壤全 P 和速效 P 含量均呈极显著正相关关系。

表 3 植物群落水平全 C、全 N 和全 P 含量与 0—10 cm 土壤养分的相关关系

Table 3 Correlations between plant eco-stoichiometry traits of community and 0—10cm soil's nutrient content

	STC	SOC	STN	SNO	SNH	STP	SP
C	0.690	0.590	—	—	—	—	—
PTC	0.701	0.916 **	—	—	—	—	—
N	—	—	-0.455	0.303	-0.530	—	—
PTN	—	—	0.759 *	0.210	0.564	—	—
P	—	—	—	—	—	-0.283	0.064
PTP	—	—	—	—	—	0.903 **	0.896 **

STN: 土壤总氮; STC: 土壤全氮; STP: 全磷; SOC: 土壤有机氮; SP: 速效磷; SNO: 硝态氮; SNH: 铵态氮; PTC: 植物全碳; PTN: 植物全氮; PTP: 植物全磷; C、N 和 P 代表植物群落叶片质量浓度; * 表示达到显著水平, $P < 0.05$; ** 代表达到极显著水平, $P < 0.01$

3 结论与讨论

3.1 植物群落化学计量特征沿经度梯度变化规律

元素之间的相互作用及与外界环境的关系共同决定着植物的营养水平和生长发育过程^[15-16]。已有的研

究表明,不论在全球尺度还是区域尺度,植物个体和群落水平叶片 N 和 P 的含量都与温度呈负相关关系。已有尺度研究表明,气候因子虽然对植物叶片元素含量有显著影响,但无论是气候还是土壤对植物 N、P 含量变异解释量十分有限^[6,17]。

呼伦贝尔草原的降雨量自东向西逐渐减少从 360 mm 降低到 230 mm^[22-23],因此经度梯度上植物群落化学计量学变化特征,也反映了沿水分梯度的变化。研究结果表明,随着经度升高,植物叶片 C 含量显著升高、N 和 P 含量呈降低的趋势,这也在一定程度上反应了植物群落 C、N 和 P 含量沿水分梯度的变化趋势,植物群落 C 含量随着降雨量的增加显著上升,而 N 和 P 含量随着降雨量的增加而降低。在东北样带的研究结果中也观测到随着经度的增加植物叶片 N 含量增加,但是植物叶片 C 含量没有显著变异^[18],这可能与东北样带的研究中叶片 C 含量基于物种尺度的原因,而本研究的植物群落 C 含量是通过物种 C 含量加权而来。植物群落 C 含量虽然随着降雨量的增加显著上升,但 C 含量的变化范围为 440.76—452.72 mg/g,变异系数只有 1.0%,C 在植物体内主要起到骨架的作用,因此在植物群落水平变异很小。目前,关于植物体内 C 含量的研究较少,可能是 C 不直接参与生产活动有关。

干旱的条件下,植物通过增加叶片内部非光合器官或组织 N 的投入,提高细胞内部的渗透压,增强对体内水分的保护作用^[19-21],提高自身对水分的利用效率,从而适应干旱少雨的环境。在本研究区内,随着经度的升高,降雨量也随之增加,水分胁迫作用逐渐减缓,因此植物不在需要分配大量的 N 叶片内部非光合器官或组织中,叶片 N 含量下降。植物群落叶片 P 呈下降趋势,但是变化不显著。

植物群落 C、N 和 P 含量高低,在一定程度上体现了植物群落对当地气候条件的一种适应;植物群落全 C、全 N 和全 P 含量则是反映植物群落元素积累总量在环境梯度上的变化。本文研究结果表明,植物群落全 C、全 N 和全 P 含量随经度梯度显著增加。在呼伦贝尔草原,水分是植物生产力的主要限制因素^[22-23],随着经度梯度的升高,降雨量显著增加,植物群落元素总量在经度梯度上也呈现出显著增加的趋势。

由于植物群落 C 含量随经度梯度升高,而 N 含量随经度梯度下降,因此 C/N 比呈现显著的上升趋势。群落 C/P 变化与 C/N 比变化趋势相同。一般认为植物具有较低 C/N 比、C/P 比时,通常具有较高的生长速率^[24],但是在群落水平上则不能简单的用 C/N 比、C/P 比高低来预测植物的生长速率。

3.2 土壤养分指标沿经度梯度变化规律与植物群落元素计量学特征的关系

植物地上部分元素特征通常与土壤养分含量具有一定相关性^[25-27]。土壤碳素含量取决于进入土壤的有机质数量及其腐殖化系数的大小,土壤氮素主要来源是生物固氮和随降水进入土壤中的氮,土壤磷素主要是来自岩石风化^[28]。

本文通过对植物群落 C、N 和 P 元素的总量与土壤养分含量的相关性分析,以及植物群落 C、N 和 P 质量浓度与土壤养分含量的相关性分析进行分析表明,植物群落 C、N 和 P 的质量浓度与土壤养分含量之间没有显著的相关关系,但植物群落 C、N 和 P 元素的总量与土壤养分含量之间存在显著的相关关系。降雨量沿经度梯度逐渐增加,植物群落养分全量也自西向东显著增加,使得每年向土壤中输入的凋落物中 C、N 和 P 的全量也显著增加。同时,随着经度升高土壤含水量也显著增加,土壤湿度对凋落物的分解速率、土壤的矿化速率及硝化速率、岩石的风化速率都有显著地影响^[29-30]。因此,植物群落元素 C、N 和 P 总量与土壤元素全碳、全氮和全磷呈显著正相关关系。

植物群落元素总量的增加,也必然导致植物生长过程中对从土壤中吸收的养分含量需求增大。植物根系吸收作用是土壤速效养分输出的重要组成部分,植物可以直接利用铵态氮、硝态氮和速效磷。因此土壤速效养分含量除了要考虑外界环境养分输入和气候因子对成土过程的影响两个方面,还要考虑植物对土壤速效养分的吸收作用。周才平^[30]研究表明,土壤氮的矿化速率和消化速率与温度和湿度成正相关,但是在本研究区,随着土壤湿度的增加,硝态氮和铵态氮并没有呈现出一致的变化规律。植物在长期的进化中,对 N 素的需求相对稳定,但是土壤铵态氮和硝态氮含量除了植物影响以外,还有受到土壤温度和湿度的影响,过程更复杂,没有呈现出一定的规律。土壤有效磷来自土壤有机磷的矿化和无机磷的释放。随着降雨量的增加,土壤

pH 值下降,氧化还原电位降低,土壤中金属离子对 P 的吸附作用降低,从而速效磷的含量增加。植物吸收对速效磷的影响比较微弱。本文研究结果显示,土壤铵态氮和硝态氮含量随经度梯度的变化没有显著性规律,但土壤有机碳和速效磷含量随经度梯度的升高显著增加。

3.3 植物群落 N、P 质量浓度特征与土壤 N、P 养分指标关系

Ordoñez 等^[31]收集了全球 99 个地点 474 种植物叶片和土壤全磷含量的数据,发现在全球尺度上土壤全 P 解释了叶片 P 变异的 48%。但本文研究结果表明土壤全磷、速效磷含量与植物群落叶片 P 含量没有显著相关性;土壤氮素含量与植物叶片 N 含量之间也没有显著相关性。这主要因为植物对土壤中矿质元素的吸收及其在体内的运输、储藏、利用是一个复杂而精细的过程,不仅仅受营养元素影响,还且受土壤水分、温度、pH、微生物活性及种内、种间竞争等多种因子调控^[32-35]。其次,土壤全 N、全 P 含量只是代表了土壤中这些元素的总量,对植物来说只是一个潜在的元素库,而且只有部分是能被植物直接利用,元素的转化和吸收还涉及到土壤微生物以及土壤其他性质。再者,植物叶片 N、P 含量没有受土壤速效养分含量影响,可能是因为植物叶片 N、P 含量由植物的系统位置、进化历史、生活史、遗传和外界环境因素共同决定,元素供给对于改变叶片 N、P 含量的贡献有限^[16]。因此,在本文的研究尺度上,植物群落 N 含量与土壤氮素没有显著相关性,植物群落 P 与土壤磷素也没有显著的相关性。

Han^[4]对中国 753 种高等陆生植物叶片 N、P 含量与气候和土壤等环境因子关系进行研究,发现中国植物一个重要特征是 P 含量(1.46 mg/g)显著低于全球平均值(1.77 mg/g),推测导致上述现象的原因是中国土壤 P 含量低于全球土壤平均 P 含量导致。本文研究结果表明,呼伦贝尔草原土壤有效 P 含量(8.13 mg/kg)高于全球平均值(7.65 mg/kg),但植物群落叶片 P 含量平均值(1.5 mg/g)低于全球平均值(1.77 mg/g),植物叶片 P 含量并没有因为土壤有效磷含量高而随之升高。耿燕^[36]对内蒙古植物叶片 P 含量与土壤速效磷进行分析,也认为土壤速效磷对植物群落叶片 P 含量高低影响是微弱的。由此可见,土壤速效磷和全磷含量高低对植物叶片 P 含量影响不大。Han^[4]关于中国土壤磷含量低导致植物叶片 P 含量低的推论,在大尺度研究中可能适用,但在本文所研究的尺度上,植物群落 P 含量较低可能不是由于土壤磷素含量低导致,而是植物群落在长期进化过程中对环境的一种适应策略。

致谢:内蒙古自治区呼伦贝尔市环境科学研究所张玉刚、赵家明所长和孟志涛主任给予支持,王东波,周建华,白晓宇、陈丽等人在野外植被调查中给予帮助,中国科学院生态环境研究中心李宗善博士后、靳甜甜博士帮助修改文章,特此致谢。

References:

- [1] Elser J J, Dobberfuhl D R, MacKay N A, Schampel J H. Organism size, life history, and N:P stoichiometry. *BioScience*, 1996, 46(9): 674-684.
- [2] Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: a science to explore the complexity of living systems. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [3] 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): 11001-11006.
- [4] 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.
- [5] Zheng S X, Shangguan Z P. Spatial patterns of leaf nutrient traits of the plants in the Loess Plateau of China. *Trees-Structure and Function*, 2007, 21(3): 357-370.
- [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] 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 Sciences*, 2007, 28(1): 2665-2673.
- [8] 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. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2010, 34(1): 17-22.

- [9] Grassland of Hulunbeier in China. Grassland of Hulunbeier in China. Changchun: Jilin Sciences Press, 1992.
- [10] Yu J W, Zhou H P, Zhang J J, Xie W Y, Guan C L. Temporal and spatial variation of soil nutrient research on cinnamon soil in town region. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(2): 34-39.
- [11] Kong Q B, Zhang M Q, Yao B Q, Li J, Zhang Q. Temporal and spatial variability of soil nutrients in the county scale of Fujian. Chinese Journal of Tropical Crops, 2010, 31(10): 1686-1691.
- [12] Kong X B, Zhang F R, Wang R. Spatial and temporal variation of soil nutrients in periurban region — a case study of Daxing district in Beijing city. Soils, 2004, 36(6): 636-643.
- [13] Zhu A N, Zhang J B, Li L P, Feng J. Spatio-temporal variability of available N, P and K in ochric aquic cambosols in North China plain. Agricultural Research In The Arid Areas, 2005, 23(4): 32-37.
- [14] Du F, Liang Z S, Xu X X, Shan L, Zhang X C. The community biomass of abandoned farmland and its effects on soil nutrition in the Loess Hilly Region of Northern Shaanxi, China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1673-1683.
- [15] Bazzaz F, Grace J. Plant Resource Allocation. San Diego: Academic Press, 1997.
- [16] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. New Phytologist, 2004, 164(2): 243-266.
- [17] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Groom P K, Hikosaka K, Lee W, Lusk C H, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Warton D A, Westoby M. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate. Global Ecology and Biogeography, 2005, 14(5): 411-421.
- [18] Prentice I C, Meng T T, Wang H, Harrison S P, Ni J, Wang G H. Evidence of a universal scaling relationship for leaf CO₂ drawdown along an aridity gradient. New Phytologist, 2011, 190(1): 169-180.
- [19] Field C, Mooney H A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants//Givnish T J, ed. On the Economy of Plant Form and Function. Cambridge: Cambridge University Press, 1986: 25-55.
- [20] Osmond C B, Austin M P, Berry J A, Billings W D, Boyer J S, Dacey J W H, Nobel P S, Smith S D, Winner W E. Stress physiology and the distribution of plants. BioScience, 1987, 37(1): 38-48.
- [21] Seligman N G, Sinclair T R. Global environment change and simulated forage quality of wheat II. Water and nitrogen stress. Field Crops Research, 1995, 40(1): 29-37.
- [22] Zheng X X, Jin T T, Mu L F, Liu G H. The relationship between plant species richness in hulunbeier grassland and biomass and environmental factors. Chinese Journal of Grassland, 2008, 30(6): 74-81.
- [23] Zheng X X, Zhao J M, Zhang Y G, Wu Y Q, Jin T T, Liu G H. Variation of grassland biomass and its relationships with environmental factors in Hulunbeier, Inner Mongolia. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(4): 533-538.
- [24] Wang S Q, Yu G R. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [25] Aerts R, Chapin F S. The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns. Advances in Ecological Research, 1999, 30: 1-67.
- [26] Hedin L O. Global organization of terrestrial plant-nutrient interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(30): 10849-10850.
- [27] 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. Acta Phytocologica Sinica, 2010, 34(1): 64-71.
- [28] Li B, Yang C, Lin P. Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [29] Wang S P, Zhou G S, Lu Y C, Zou J J. Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along northeast china transect (NECT) and their relationships with climatic factors. Chinese Journal of Plant Ecology, 2002, 26(5): 513-517.
- [30] Zhou C P, Ouyang H, Liu J F. Temperature and moisture effects on soil nitrogen mineralization in deciduous broad-leaved forest. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(2): 204-209.
- [31] Ordoñez J C, van Bodegom P M, Witte J P M, Wright I J, Reich P B, Aerts R. A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. Global Ecology and Biogeography, 2009, 28(2): 137-149.
- [32] Chapin C T, Pastor J. Nutrient limitations in the northern pitcher plant *Sarracenia purpurea*. Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique, 1995, 73(5): 728-734.
- [33] Chapin F S III. The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology and Systematics, 1980, 11(1): 233-260.
- [34] Shaver G R, Chapin F S III. Long-term responses to factorial, NPK fertilizer treatment by Alaskan wet and moist tundra sedge species. Ecography, 1995, 18(3): 259-275.
- [35] Spink A, Sparks R E, van Oorschot M, Verhoeven J T A. Nutrient dynamics of large river floodplains. Regulated Rivers: Research and

Management, 1998, 14(2): 203-216.

- [36] Geng Y, Wu Y, He J S. Relationship between leaf phosphorus concentration and soil phosphorus availability across Inner Mongolia grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 35(1): 1-8.

参考文献:

- [2] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 《中国呼伦贝尔草地》编委会. 中国呼伦贝尔草地. 长春: 吉林科学技术出版社, 1992.
- [10] 于婧文, 周怀平, 张建杰, 解文艳, 关春林. 褐土区乡镇级农田土壤养分时空变异研究. *山西农业科学*, 2010, 38(2): 34-39.
- [11] 孔庆波, 章明清, 姚宝全, 李娟, 张青. 福建县级区域耕地土壤养分时空变异研究. *热带作物学报*, 2010, 31(10): 1686-1691.
- [12] 孔祥斌, 张凤荣, 王茹. 近 20 年城乡交错带土壤养分时间空间变异特征分析——以北京市大兴区为例. *土壤*, 2004, 36(6): 636-643.
- [13] 朱安宁, 张佳宝, 李立平, 冯杰. 华北平原潮土速效 N、P、K 的空间分布及时间变化. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 32-37.
- [14] 杜峰, 梁宗锁, 徐学选, 山仑, 张兴昌. 陕北黄土丘陵区撂荒草地群落生物量及植被土壤养分效应. *生态学报*, 2007, 27(5): 1673-1683.
- [22] 郑晓翮, 靳甜甜, 木丽芬, 刘国华. 呼伦贝尔草原物种多样性与生物量、环境因子的关系. *中国草地学报*, 2008, 30(6): 74-81.
- [23] 郑晓翮, 赵家明, 张玉刚, 吴雅琼, 靳甜甜, 刘国华. 呼伦贝尔草原生物量变化及其与环境因子的关系. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 533-538.
- [24] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征. *生态学报*, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [27] 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.
- [28] 李博, 杨持, 林鹏. 生态学. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [30] 周才平, 欧阳华, 刘金福. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 204-209.
- [36] 耿燕, 吴漪, 贺金生. 内蒙古草地叶片磷含量与土壤有效磷的关系. *植物生态学报*, 2011, 35(1): 1-8.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 11 (June, 2012)

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:100071	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