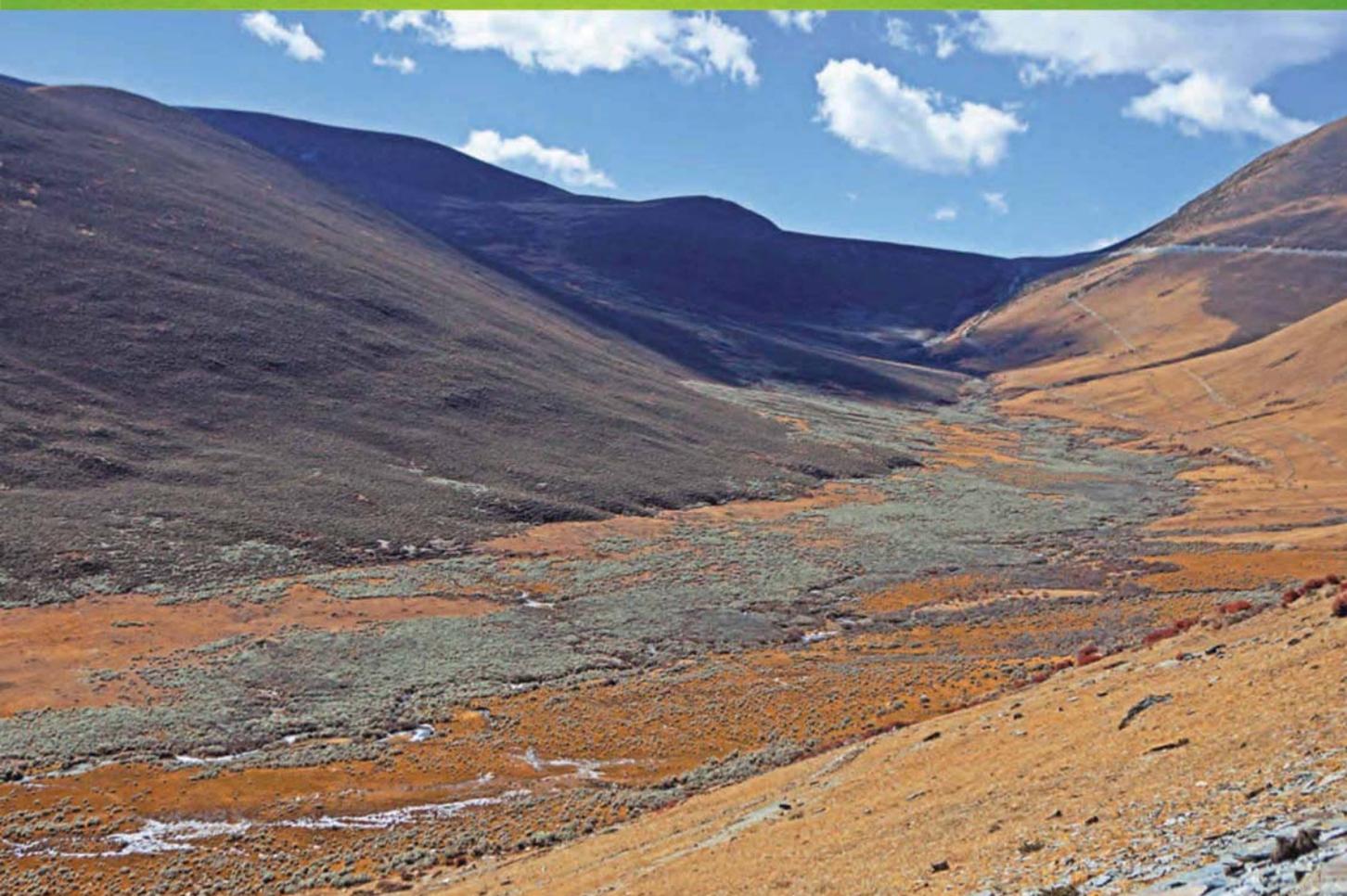


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

美国农业生态学发展综述	黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
水足迹研究进展	马 晶, 彭 建 (5458)
江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价	孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理	董 蕾, 李吉跃 (5477)
生态化学计量学特征及其应用研究进展	曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征	王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响	付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性	王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性	施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响	申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性	吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应	杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响	秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH ₃ 挥发及氮肥利用率的影响	马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
香梨两种树形净光合速率特征及影响因素	孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响	赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响	王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究	汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响	陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异	邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响	赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响	郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响	王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计	黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化	何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
干旱荒漠区银白杨树干液流动态	张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响	刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用	闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较	张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响	吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响	高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响	王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚昕, 朱广伟, 高光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王琴 孙辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘森, 胡远满, 等 (5952)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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/stxb201304300872

李从娟,雷加强,徐新文,唐清亮,高培,王永东.塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征.生态学报,2013,33(18):5760-5767.
Li C J, Lei J Q, Xu X W, Tang Q L, Gao P, Wang Y D. The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5760-5767.

塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及 土壤 C N P 的化学计量特征

李从娟^{1,*}, 雷加强¹, 徐新文¹, 唐清亮¹, 高培², 王永东¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆信息工程学校, 乌鲁木齐 830013)

摘要:生态化学计量学是研究生态过程和生态作用中化学元素平衡的科学。极端环境中进行植物叶片与土壤中营养元素含量及变化研究,对于揭示植物对营养元素的需要和当地土壤的养分供给能力,以及植物对环境的适应与反馈能力具有十分重要的意义。以塔克拉玛干沙漠腹地塔中植物园生长良好的 25 种人工植被及其生境为研究对象,运用方差分析、相关分析综合研究植物叶片及土壤的化学计量特征及其相互关系。结果显示:塔克拉玛干沙漠腹地 25 种人工植被叶片 C、N、P 的平均含量分别为(386.7±46.6)、(24.7±8.1)和(1.8±0.78) mg/g;叶片 C:N、C:P 及 N:P 分别为(17.5±6.7)、(249.2±102.8)、(15.0±5.6)。其中豆科植物 N 含量极显著高于非豆科植物($P<0.001$)。不同生活型植物的 C、N、P 含量均存在显著差异,C、N、P 含量在 3 种生活型的大小顺序为草本>灌木>乔木。C:N 和 N:P 在不同生活型植物间不存在显著差异($P>0.05$),而乔木和灌木的 C:P 显著高于草本植物($P<0.05$)。相关分析表明植物的叶片 C:N、C:P 都与相应的 N、P 含量呈现极显著负相关性($P<0.001$),而叶片 N 含量与 P 含量的变化并不相关($P>0.05$)。土壤 C、N、P 养分元素含量远低于全国的平均水平,尤其是 N 含量(<0.2 mg/g);土壤 C 与 N 存在着极显著的正相关关系($P<0.01$),而 C 与 P、N 与 P 间的相关性并不显著($P>0.05$)。以上研究结果表明,受极端环境的限制,塔克拉玛干沙漠人工植被植物对养分元素的利用效率显著低于全国陆地植物的平均水平,不同科和不同生活型功能群植物对环境的适应能力显著不同,表现出显著的养分适应策略差异性。

关键词:塔克拉玛干沙漠;生态化学计量学;生活型;植物功能群

The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert

LI Congjuan^{1,*}, LEI Jiaqiang¹, XU Xinwen¹, TANG Qingliang¹, GAO Pei², WANG Yongdong¹

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, National Engineering Technology Research Center for Desert-Oasis Ecological Construction, Urumqi 830011, China

2 Xinjiang Information Engineering School, Urumqi 830013, China

Abstract: Ecological stoichiometry is the study of the balance of multiple chemical elements in ecological interactions; it is the important content and hotspot in ecology research. Ecological stoichiometry plays an important role in determining plants and ecosystem nutrient supply and demand and their balance. The content of plant chemical element at different organs is restricted by the environmental nutrient availability, especially by the restricted nutrient, and it also affected by plant growth form, the physical characteristics and life history, which is the result of environment and species phylogenesis development together. Study on the plants leaf nutrient content and its variance in extreme environment is important in revealing the plants nutrient requirement and soil nutrient supply capacity, it is also important in revealing the plants adaptability to environment. This study was conducted for 25 artificial plants which from different family and life form in the

基金项目:国家重点基础研究发展计划 973 项目(2009CB825102);中国科学院西部博士专项(XBBS201205);新疆维吾尔自治区重大科技专项(201130106-3)

收稿日期:2013-04-30; **修订日期:**2013-07-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: li_congjuan@163.com

hinterland of Taklimakan Desert, using variance analysis and correlation analysis together to determine the stoichiometric characteristics and its relationship for plant leaf and soil. The results showed that the mean content of artificial plants leaf C, N, P were (386.7 ± 46.6) , (24.7 ± 8.1) and (1.8 ± 0.78) mg/g respectively in Taklimakan Desert, leaf N was significantly higher than those plants which were not desert plants. C:N, C:P were (17.5 ± 6.7) , (249.2 ± 102.8) respectively, which were lower than the average of global land plants, and indicated that extreme environment restricted the use of nutrient elements for artificial desert plants. And $14 < N:P < 16$ (15.0 ± 5.6), which indicated plants growth were restricted by N and P together in the study area. Also the N content for legume plants was greatly higher than non-legume plants indicating significant nitrogen fixation for legume plants. Great difference for leaf C, N, P content were presented in different life form plants were also obtained in this study, C, N and P content were also presented as herb > shrub > tree. There was no difference for C:N and N:P between different life forms, while the C:P for shrub and tree functional group were significantly higher than herb functional group. The correlation analysis indicated that leaf C:N, C:P were negatively correlated with N, P content significantly, while no correlation between leaf N and P. Soil nutrient content were significantly lower than other region, especially for soil N content (< 0.2 mg/g), significantly positive correlation between soil C and N ($P < 0.01$), and no correlation between soil C and P, N and P ($P > 0.05$). In all, the above results documented that extreme environment of nutrient restricted area limited the plants' nutrients use efficiency, which may be the adaptive strategy for the artificial plants in extreme environments. Besides, different functional group had different adaptability to environment, and significantly nutrient adapt strategy diversity was presented in this study.

Key Words: Taklimakan Desert; ecological stoichiometry; artificial plants; life form; plant functional group

生态化学计量学是研究生态过程和生态作用中化学元素平衡的科学,它是生态学目前研究的热点和重要内容^[1-2]。生态化学计量学有助于解决植物和生态系统养分供应与需求平衡等方面的难题,其优点是通过分析生态系统组成部分的元素含量及比值关系,认识养分耦合循环特征、驱动力及其机制等问题。同时对于植物通过改变养分利用策略适应环境变化的研究具有重要意义。植物化学元素含量在各个器官间的分配既受生长地点养分有效性的制约,也受植物自身生长型、生理特征和生活史的影响,是环境和物种系统发育共同作用的结果^[3-6]。因此,研究植物叶片中营养元素含量,并结合所在区域生境土壤的营养元素特征,对于揭示植物对营养元素的需要和当地土壤的养分供给能力,以及植物对环境的适应与反馈能力都具有十分重要的意义。土壤中氮(N)、磷(P)是限制植物生长发育的重要养分元素,也是植物赖以生存的物质基础和重要的环境条件。土壤养分含量的多寡及其平衡关系,与植物体内养分含量及化学计量特征密切相关,不仅影响植物个体的生长状况,群落组成和生产力高低,而且对生态系统健康有着重要的指示作用。植物叶片的N、P含量及N:P,特别是N:P的临界值被认为可以作为判断土壤对植物养分供应状况的指标。因此,N、P化学计量学研究已成为揭示植物养分限制状况及其适应策略的重要手段。干旱区除干旱、盐碱外,土壤矿质营养元素贫乏也是一大特点,这种条件下开展生态化学计量学研究,可望探明极端贫瘠环境中,土壤N、P含量的缺乏对生物有效性将产生怎样的影响,以及对植物的养分吸收和利用,植物体N、P含量及其化学计量特征产生的影响等,进而可以评价沙漠地区植物的生长状况及生态系统的健康程度。

国内外关于植物生态化学计量已展开大量研究,但多集中于湿地,森林和草地生态系统^[4-11],而对极端干旱的人工荒漠生态系统的研究甚少,在干旱区,植物的生命活动不仅受水分短缺的限制,还受到土壤养分贫瘠以及胁迫环境的限制,土壤养分的限制将会对植物叶片中营养元素含量产生影响^[12]。为此,本项目以塔克拉玛干沙漠腹地塔中植物园生长良好的25种人工植被为研究对象,运用生态化学计量学理论,结合方差分析,相关分析等,综合研究人工植被及生境化学计量特征及其相互关系。进而阐明防护林植物对气候和地域等极端环境的响应与反馈能力,为揭示塔克拉玛干沙漠土壤养分供应潜力与植物限制性养分吸收提供参考依据。

1 研究区概况

本研究在塔克拉玛干沙漠腹地塔中植物园(N 38°58', E 83°40')进行,该植物园建立于2002年,园区植物采用地下咸水灌溉,其矿化度为4g/L,灌溉量为1250 m³/hm²,每年3月初至10月底每半个月灌水1次。该沙漠地处新疆塔里木盆地,是我国最大的流动沙漠。其气候极端干燥,年降水量仅10—60 mm,而年均蒸发量达2500—3400 mm^[13];夏季炎热,最高温度达67.2℃;风沙活动强烈,最大瞬时风速达20.0 m/s^[14],自然条件恶劣,植被种类极为贫乏,素有“死亡之海”之称^[2-4]。然而在塔克拉玛干沙漠腹地,这里却建有极端环境的沙漠植物园。特殊的地理环境和极端的气候特征(干旱,高温,多风沙,土壤极为贫瘠),加之高矿化度咸水灌溉(高盐碱)使其在生态学上的独特性显而易见。因此,在这种条件下开展植物与土壤化学计量特征的研究,对于探明极端干旱环境下植物对环境的适应有重要意义。

2 材料与方法

2.1 植物样品采样

在塔中植物园园区选择生长良好的 25 种植物,其基本特征及名录如表 1 所示。每种植物选择 8—10 株生长良好、没有遮阴的个体作为取样植株,选取样株时尽量选择大小一致的植株。在选定的每株植物采集完全伸展、没有病虫害的成熟叶片适量。带回室内以后,将叶片放入 60℃ 烘箱内烘干 48 h,随后将烘干的叶片用植物粉碎机粉碎,保存起来用于叶片 C、N、P 含量的分析。

表 1 研究物种名录

Table 1 Species list of study plants

种名 Species	科 Family	属 Genus	生活型 Life form
罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	夹竹桃科	罗布麻属	多年生草本
花花柴 <i>Karelinia caspia</i>	菊科	花花柴属	多年生草本
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	杨柳科	杨属	落叶乔木
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	禾本科	芦苇属	多年生禾草
银砂槐 <i>Ammodendron bifolium</i>	豆科	银砂槐属	落叶灌木
枸杞子 <i>Lycium barbarum</i>	茄科	枸杞属	落叶灌木
小果沙拐枣 <i>Calligonum pumilum</i>	蓼科	沙拐枣属	灌木或半灌木
柠条 <i>Caragana intermedia</i>	豆科	锦鸡儿属	落叶灌木
黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>	茄科	枸杞属	落叶灌木
光果甘草 <i>Glycyrrhiza glabra</i>	豆科	甘草属	多年生草本
醉鱼木 <i>Buddleja ahenifolia</i>	马钱科	醉鱼草属	多年生灌木
盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	藜科	盐穗木属	半灌木
灰杨 <i>Populus pruinosa</i>	杨柳科	杨属	落叶乔木
胀果甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i>	豆科	甘草属	草本
沙木蓼 <i>Atraphaxis frutescens</i>	蓼科	蓼属	灌木
大叶补血草 <i>Limonium gmelinii</i>	蓝雪科	补血草属	多年生草本
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	豆科	黄芪属	多年生草本
沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>	豆科	沙冬青属	常绿灌木
铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	豆科	盐豆木属	灌木
石刁柏 <i>Asparagus officinalis</i>	天门冬科	天门冬属	多年生灌木
花棒 <i>Hedysarum scoparium</i>	豆科	盐黄芪属	落叶大灌木
梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	藜科	梭梭属	落叶小乔木
多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	怪柳科	怪柳属	落叶小乔木
乔状沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>	蓼科	沙拐枣属	落叶小乔木
长穗怪柳 <i>Tamarix elongata</i>	怪柳科	怪柳属	落叶小乔木

2.2 土壤样品的采集

土壤样品的采集采用土壤剖面法进行分层取样,分别采集结皮层及结皮层下的 0—5、5—10、10—20、20—30、30—40 cm 的 6 层土样,分别装入自封袋中,贴上标签,带回实验室。将土壤样品进行自然风干,挑去活体根系,过 60 目筛子,用于土壤 C、N、P 含量的分析。

2.3 样品 C、N、P 分析

叶片和土壤 C 含量采用重铬酸钾外加热法测定,叶片和土壤 N 含量采用凯氏定氮法(K-370)测定,叶片和土壤 P 含量采用高氯酸-硫酸消化,钼锑抗比色法(UV-2450)测定^[15]。

2.4 数据分析

将所有植物按不同生活型——乔木、灌木、草本进行分类,分析不同生活型及不同科植物叶片 C、N、P 以及 C:N、C:P、N:P 及其变化范围。其中乔木或小乔木植物 6 种,灌木植物 11 种,草本植物 8 种,豆科植物 8 种,非豆科植物 17 种;应用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计分析软件对测定数据进行整理。所有统计数据以平均值及标准误差表示,采用 One-Way ANOVA 及 *t* 检验分别对不同生活型,不同土层以及豆科和非豆科 C、N、P 含量,C:N、C:P 和 N:P 进行差异性检验,叶片 C:N、C:P 与 N、P 的关系及土壤 C 与 N、C 与 P、N 与 P 的相关性分析采用 Pearson 相关分析,并用线性模型对其相关关系进行拟合,同时结合 Origin 8.0

进行制图。

3 结果与分析

3.1 叶片 C、N、P 含量及 C:N、C:P、N:P

塔克拉玛干沙漠腹地 25 种人工植被叶片 C、N、P 含量分别为(386.7±46.6)、(24.7±8.1)和(1.8±0.78) mg/g,变异系数分别为 12.1%、32.6%和 43%;叶片 C:N、C:P 及 N:P 分别为(17.5±6.7)、(249.2±102.8)、(15.0±5.6),变异系数分别为 38.4%、41.2%和 37.7% (表 2)。

表 2 塔克拉玛干沙漠腹地 25 种人工植被叶片的 C、N、P 化学计量特征

Table 2 The characteristics of C, N, P for 25 artificial plants leaf in the hinterland of Taklimakan Desert

化学计量 Stoichiometry	均值 Mean	SD	CV	Min	Max	Range
C/(mg/g)	386.698	46.627	0.121	280.120	456.551	176.430
N/(mg/g)	24.762	8.082	0.326	9.460	42.928	33.468
P/(mg/g)	1.828	0.785	0.429	0.643	4.062	3.419
C:N	17.481	6.715	0.384	10.002	36.106	26.104
C:P	249.195	102.761	0.412	79.585	531.363	451.778
N:P	15.038	5.673	0.377	6.821	26.7525	19.932

3.1.1 不同科植物叶片 C、N、P 含量及 C:N、C:P 及 N:P 比较

由表 3 可知,豆科植物与非豆科植物的 C 含量、P 含量、及 C:P 不存在显著差异,但豆科植物的 N 含量极显著高于非豆科植物($P<0.05$),C/N 低于非豆科植物($P<0.05$),N/P 显著高于非豆科植物($P<0.05$)。不同科植物 C 含量的大小依次为马钱科>禾本科>菊科>夹竹桃科>豆科>蓼科>天门冬科>藜科>茄科>杨柳科>柽柳科>蓝雪科,不同科植物 N 含量的大小依次为豆科>蓝雪科>菊科>杨柳科>禾本科>马钱科>茄科>蓼科>夹竹桃科>天门冬科>藜科>柽柳科,不同科植物 P 含量的大小依次为蓝雪科>马钱科>夹竹桃科>菊科>天门冬科>禾本科>豆科>茄科>柽柳科>杨柳科>蓼科>藜科。

表 3 不同科植物叶片的 C、N、P 含量化学计量特征对比

Table 3 Comparisons between the concentrations and stoichiometric characteristics of leaf carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) between different families

科 Family	样本 Sample	C / (mg/g)	N / (mg/g)	P / (mg/g)	C:N	C:P	N:P
豆科	8	405.0±29.1 a	32.7±5.1 a	1.77±0.4 a	12.6±2.1 a	241.3±65.7 a	19.0±3.5 a
非豆科	17	378.3±51.0a	21.5±5.7 b	1.9±0.9 a	18.8±5.5 b	231.9±94.7 a	12.8±5.6 b
藜科	2	360.4±113.6	17.9±3.2	1.3±0.4	19.9±2.8	287.4±11.0	14.6±1.5
蓼科	3	388.2±30.7	20.5±5.0	1.4±0.6	19.5±3.7	318.1±112.0	16.9±6.8
杨柳科	2	355.8±32.6	26.97±4.2	1.4±0.7	13.3±0.9	282.8±124.6	21.1±8.0
茄科	2	356.9±50.9	20.6±12.5	1.6±0.6	22.1±15.9	244.0±122.6	12.2±3.2
柽柳科	2	343.6±2.9	15.7±3.2	1.6±0.5	21.9±4.3	225.0±71.4	9.9±1.3
蓝雪科	1	323.3	27.7	4.1	11.7	79.6	6.8
夹竹桃科	1	414.3	18.9	2.7	21.8	151.0	6.9
菊科	1	429.7	27.1	2.6	15.9	167.7	10.6
禾本科	1	447.9	25.6	2.1	17.5	217.0	12.4
天门冬科	1	360.5	18.3	2.6	19.7	139.8	7.1
马钱科	1	456.6	24.1	2.9	18.9	154.4	8.2

不同小写字母代表植物叶片 C、N、P 含量及化学计量比在豆科和非豆科植物之间存在显著差异($P<0.05$)

3.1.2 不同生活型植物叶片 C、N、P 含量及 C:N、C:P 及 N:P 比较

由表 4 可知,塔克拉玛干沙漠腹地人工植被乔木的 C 含量显著低于灌木和草本植物叶片的 C 含量($P<0.01$),然而灌木和草本之间无差异($P>0.05$),且 C 含量在 3 种生活型的大小顺序为草本>灌木>乔木。N 含量在 3 种生活型的大小顺序为草本>灌木>乔木,乔木(18.1±7.5) mg/g 和草本(28.6±8.3) mg/g 之间达到显著差异($P<0.05$)。P 含量在不同生活型的差异均达显著水平($P<0.05$),其中乔木(1.1±0.46) mg/g 和草本(2.5±0.7) mg/g 达到及显著水平($P<0.001$)。C:N 和 N:P 在不同生活型植物间不存在显著差异($P>0.05$),C:P 在乔木(345.6±121)和灌木(252±77.9)功能群中显著高于草本(173±50.1) ($P<0.05$)。

表 4 不同生活型植物叶片的 C、N、P 含量化学计量特征对比

Table 4 Comparisons between the concentrations and stoichiometric characteristics of leaf carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P) between different life forms

生活型 Life form	样本 Sample	C /(mg/g)	N (mg/g)	P /(mg/g)	C:N	C:P	N:P
乔木	6	338.0±32.7 a	18.1±7.5 a	1.1±0.5 a	21.2±8.7 a	345.6±121.0 a	17.1±5.5 a
灌木	11	401.0±40.6 b	25.6±6.5 ab	1.74±0.6 b	17.2±6.7 a	252.0±77.9 ab	15.7±5.3 a
草本	8	403.0±41.0 b	28.6±8.3 b	2.5±0.7 c	15.1±4.3 a	173.0±50.1 c	12.5±6.0 a

不同小写字母代表植物叶片 C、N、P 含量及化学计量比在不同生活型之间存在显著差异 ($P < 0.05$)

3.2 叶片 C、N、P 含量及化学计量比之间的相关性

从图 1 中可以看出,选取植物的叶片 C:N、C:P 都与相应的 N、P 含量呈现显著负相关性 ($P < 0.001$),随着 N、P 含量的增加而逐渐降低,线性方程式能够反映两者之间的关系,线性回归方程 ($y = -0.72591x + 35.70295, R^2 = 0.78446, P < 0.001$) (C:N 与 N 含量)、($y = -116.34886x + 461.92025, R^2 = 0.79096, P < 0.001$) (C:P 与 P 含量);而叶片 N 含量的变化与叶片 P 含量的变化相关性不显著 ($P > 0.05$) (图 1)。

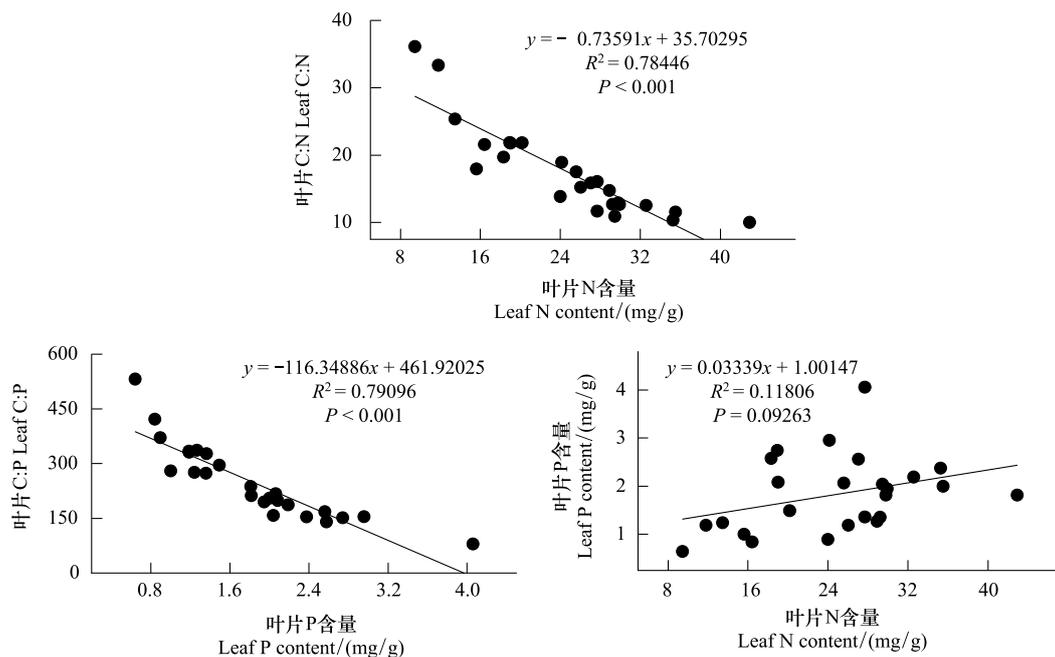


图 1 叶片 C:N 与 N、C:P 与 P 及 N 与 P 间的关系

Fig.1 Relationships between leaf C:N and N content, C:P and P content, N and P content

3.3 土壤 C、N、P 含量特征及其相关性

C、N、P 是生物生长、发育以及物质循环过程中重要的化学元素,塔克拉玛干沙漠腹地土壤养分元素的含量极为贫瘠,远低于全国的平均水平,尤其是 N 含量。土壤 C 含量为 0.67—2.3 mg/g,土壤 N 含量为 0.06—0.16 mg/g,土壤 P 含量为 0.41—0.55 mg/g,土壤 C:N:P 为 14.8:1:5.5。C、N、P 元素在不同土层的空间变异性明显,并且 C 和 N 元素的空间变异性明显高于 P, C 和 N 元素随着土层的加深,其含量逐渐减小 ($P < 0.05$),而 P 元素在不同土层之间的含量变化不大 ($P > 0.05$) (图 2)。通过相关分析发现,土壤的 C、N 元素间存在着极显著的相关关系 ($n = 18, P < 0.01$) (图 3),线性方程式 $y = -0.72591x + 35.70295$ 能更好的反映两者之间的关系 ($R^2 = 0.78446, P < 0.001$)。然而 C 和 P、N 和 P 元素间并不存在显著的相关性 ($P > 0.05$) (图 3)。

4 讨论

在土壤与植物相互作用的关系中,土壤 C、N、P 元素作为影响植物正常生长发育所必需的营养,在植物生长过程中发挥着重要的作用,其含量的多少及成分组合状况,均会受到土壤养分元素含量的影响^[16-17]。塔克拉玛干沙漠土壤 C、N、P 含量极少,土壤养分极为贫瘠,远低于全国的平均水平,其中 N 贫乏更为严重。此外,土壤的 C、N、P 含量的剖面变化具有一定的变异性,并且随着土壤剖面深度的增加其含量逐渐减小。相关分析表明土壤 C 与 N 存在显著的正相关,这与以往研究结果一致,但土壤 N 与 P 并不相关,这可能与该地区 N 贫乏更为严重有关。

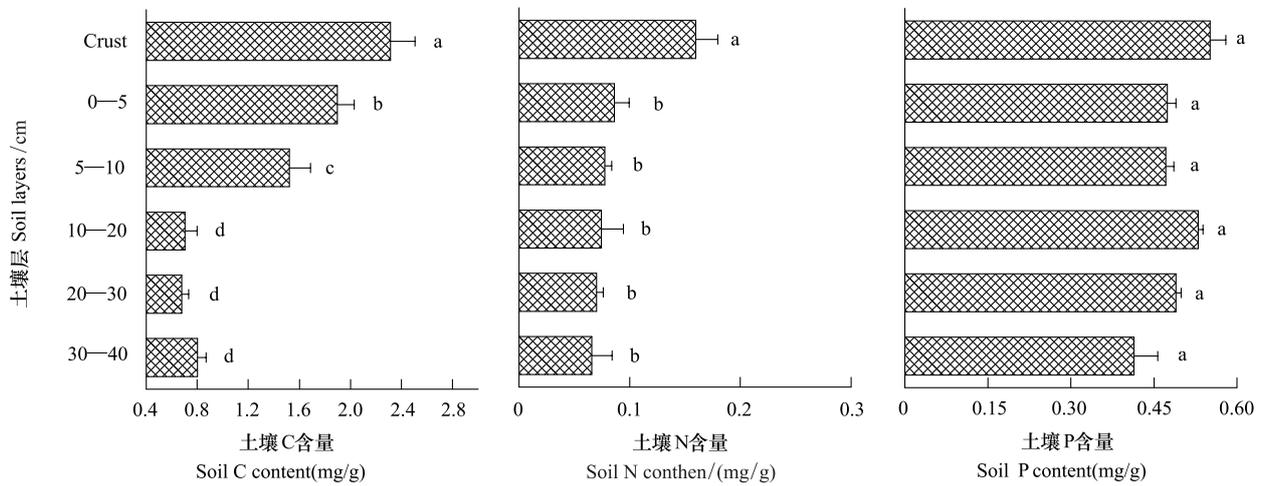


图2 不同土层土壤 C、N、P 的分布特征

Fig.2 Spatial pattern of soil C, N and P content at different soil depths

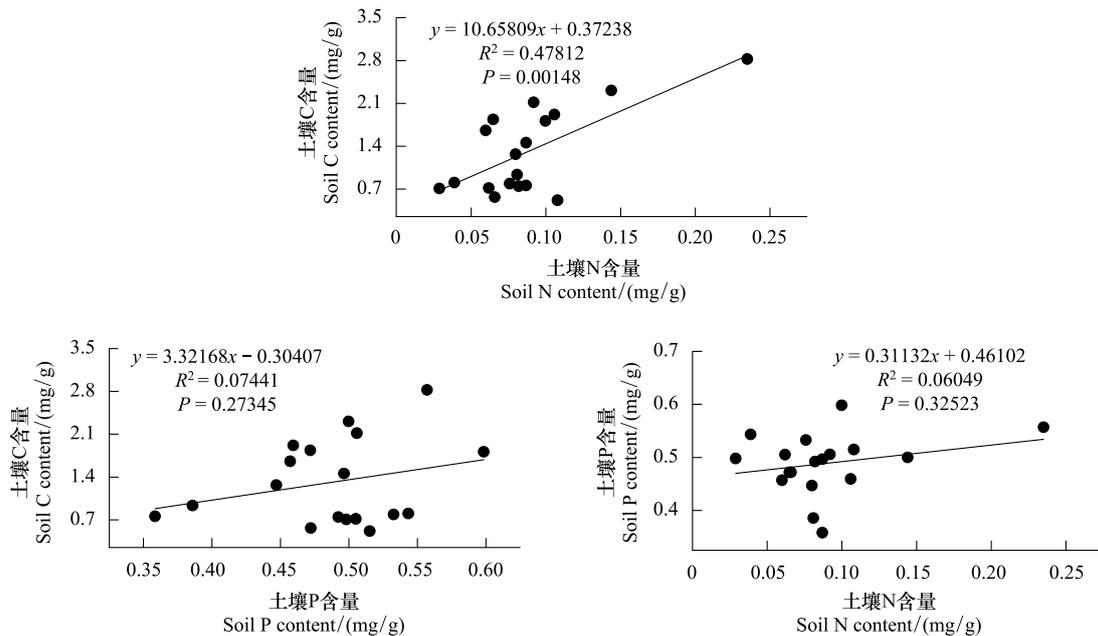


图3 土壤 C 与 N、C 与 P 及 N 与 P 间的关系

Fig.3 Relationships between soil C and N content, C and P content, N and P content

叶片是植物对环境变化反应最敏感的器官^[18],而叶中 C、N、P 的化学计量比具有相对稳定的特征,一定程度上体现生态系统 C 积累动态及 N、P 养分限制格局^[4,19]。25 种人工植被叶片的 C:N (17.5 ± 6.7)、C:P (249.2 ± 102.8) 总体上低于 Elser 等^[1]研究的全球陆地系统植物的平均水平,说明土壤养分贫瘠限制了植物对养分元素的利用^[8]。植物叶片 N:P 比值可以作为判断环境对植物生长养分供应状况的指标^[20-22]。Aerts 和 Chapin 认为当叶片 N:P < 14 时,群落水平上植物生长主要受 N 限制; N:P > 16 时,植物生长主要受 P 限制;当 $14 < N:P < 16$ 时,植物生长受 N 和 P 共同限制^[27]。植物叶片 N:P 为 15.0 ± 5.6 ,介于 14 和 16 之间,说明该区植物的生长受到 N 和 P 共同限制。塔克拉玛干沙漠腹地 25 种人工植被叶片 N 含量 (24.8 ± 8.1) mg/g 比非荒漠环境植物叶片平均 N 含量相对较高,表现出荒漠植物高效的氮素利用效率,也就是养分限制性元素在养分循环中发挥的重要作用^[29]。这方面将是植物化学计量特征研究在干旱区的重大发现和突破。尽管如此,但是本研究中植物叶片氮含量平均值仍然明显小于 Skujins 报道的干旱荒漠区植物叶片 N 含量平均值 (>30 mg/g)^[23],这可能因为该区采用地下咸水灌溉,植物对 N 的需求相对低于其他非灌溉荒漠。塔克拉玛干沙漠腹地 25 种人工植被的叶片 P 含量的平均值为 (1.82 ± 0.78) mg/g,与 Elser 等基于全球 398 种植物的测定结果接近^[2],但是明显大于中国东部南北样带 654 种植物和全球 1251 种植物的研究结果^[8,24]。这主要因为中国土壤磷含量变异幅度较大,从湿润区向干旱半干旱区呈增加趋势^[25],说明在干旱半干旱区土壤具有相对较高

的土壤磷含量(图 2)。

不同生活型或不同功能群植物在影响生态系统功能上存在差异,这种差异体现在植物生活史、形态、生理等多个方面。许多研究发现,不同功能群或分类群植物叶片的某些性状存在显著差异^[25-26],这种差异通常被解释为植物遗传特性或适应环境的结果。叶片 C:P 含量在 3 种生活型达到显著差异($P < 0.05$);N 含量在乔木(18.1 ± 7.5) mg/g 和草本(28.6 ± 8.3) mg/g 之间达到显著差异($P < 0.05$)。C:N 和 N:P 在不同生活型植物间不存在显著差异($P > 0.05$),C:P 在乔木(345.6 ± 121)和灌木(252 ± 77.9)功能群中显著高于草本(173 ± 50.1) ($P < 0.05$) (表 4),表明不同生活型植物对养分的利用效率不同,对环境的适应能力存在显著差异,即表现出较大的养分适应策略差异性草本植物与灌木和乔木植物相比,其叶氮含量较高,这与以往研究结果一致^[27]。此外,豆科植物的 N 含量极显著高于非豆科植物($P < 0.001$),C:N 低于非豆科植物($P < 0.01$),N:P 显著高于非豆科植物($P < 0.05$) (表 3)。研究结果进一步证实了豆科植物较其它植物具有更强的固氮能力。相关性分析发现,叶片 C:N、C:P 与相应的 N、P 含量呈现显著的负相关($P < 0.001$);N 含量与 P 含量之间则表现为无显著的相关性($P > 0.05$)。验证了高等陆生植物养分计量的普遍规律之一。即叶片的 C 与 N、P 含量之间的负相关关系^[28]。N、P 之间的非相关性体现了塔克拉玛干沙漠腹地人工植被两种营养元素变化的非一致性。

References:

- [1] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, Fagan W F, Markow T A, Cotner J B, Harrison J F, Hobbie S E, Odell G M, Weider L J. Biological stoichiometry from genes to ecosystems. *Ecology Letters*, 2000, 3(6): 540-550.
- [2] 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.
- [3] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 497-508.
- [4] He J S, Wang L, Flynn D F, Wang X P, Ma W H, Fang J Y. Leaf nitrogen: phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, 2008, 155(2): 301-310.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Duru M, Cruz P P, Raouda A H K, Ducourtieux C, Theau J P. Relevance of plant functional types based on leaf dry matter content for assessing digestibility of native grass species and Species-rich grassland communities in spring. *Agronomy Journal*, 2008, 100(6): 1622-1630.
- [8] 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.
- [9] Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: A science to explore the complexity of living systems. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [10] Coste S, Roggy J C, Imbert P, Born S, Bonal D, Dreyer E. Leaf photosynthetic traits of 14 tropical rain forest species in relation to leaf nitrogen concentration and shade tolerance. *Tree Physiology*, 2005, 25(9): 1127-1137.
- [11] 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.
- [12] Ratnam J, Sankaran M, Hanan N P, Grant R C, Zambatis N. Nutrient resorption patterns of plant functional groups in a tropical savanna: variation and functional significance. *Oecologia*, 2008, 157(1): 141-151.
- [13] Zhang J G, Sun S G, Xu X W, Lei J Q, Wang H F, Li S Y. Chemical characteristics and its effect on soil evaporation of soil salt crusts in the Tarim desert highway shelterbelts. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(4): 174-179.
- [14] Lei J Q, Li S Y, Fan D D, Zhou H W, Gu F, Qiu Y Z, Xu B, Liu S, Du W Y, Yan Z H, Wang Y C. Classification and regionalization of the forming environment of windblown sand disasters along the Tarim Desert Highway. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(2): 1-7.
- [15] Bao S D. *Soil Chemical Analysis of Agriculture*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [16] Wang W Q, Xu L L, Zeng C S, Tong C, Zhang L H. 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] 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.
- [18] Vendramini F, Diaz S, Gurvich D E, Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*, 2002, 154(1): 147-157.
- [19] Wardle D A, Walker L R, Bardgett R D. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science*, 2004, 305(5683): 509-513.
- [20] Dong M. *Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities*. Beijing: China Standard Press, 1996: 1-196.

- [21] Van den Driessche R. Nutrient storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition // Bowen G D, Nambiar E K S, eds. *Nutrition of Plantation Forests*. New York: Academic Press, 1984: 181-209.
- [22] 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.
- [23] Skujins J. Nitrogen cycling in arid ecosystems // Clark F E, Roswall T, eds. *Terrestrial Nitrogen Cycles*. Stockholm: Ecological Bulletin, 1981: 477-491.
- [24] 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.
- [25] Wang T, Yang Y H, Ma W H. Storage, patterns and environmental controls of soil phosphorus in China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(6): 945-952.
- [26] Sterck F J, Poorter L, Schieving F. Leaf traits determine the growth-survival trade-off across rain forest tree species. *The American Naturalist*, 2006, 167(5): 758-765.
- [27] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Beruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428(6985): 821-827.
- [28] Sterner R W, Elser J J, Vitousek P. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton: Princeton University Press, 2002.

参考文献:

- [3] 方精云, 刘国华, 徐篙龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. *生态学报*, 1996, 16(5): 497-508.
- [6] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [11] 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.
- [13] 张建国, 孙树国, 徐新文, 雷加强, 王海峰, 李生宇. 塔里木沙漠公路防护林土壤盐结皮化学特征及其对土壤蒸发的影响. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(4): 174-179.
- [15] 鲍士旦. *土壤农化分析* (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [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.
- [20] 董鸣. *陆地生物群落调查观测与分析*. 北京: 中国标准出版社, 1996: 1-196.
- [22] 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.
- [25] 汪涛, 杨元合, 马文红. 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素. *北京大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(6): 945-952.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Development of agroecology in USA HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)

Research progress on water footprint MA Jing, PENG Jian (5458)

Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China
..... SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)

Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality DONG Lei, LI Jiyue (5477)

Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications
..... ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)

Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reser-
voir Region WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)

Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)

Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China
..... WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)

The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species *Eremosparton songoricum* (litv.) Vass.(Fabaceae)
..... SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)

Competitive effect of *Pistia stratiotes* to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)

Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants *Bletilla striata*
..... WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)

Photosynthetic responses to Solar UV radiation of *Gracilaria lemaneiformis* cultured under different temperatures and CO₂
concentrations YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)

The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field
..... QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)

Effects of nitrogen management on NH₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields
..... MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)

Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear
..... SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)

Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of *Agriophyllum squarrosum* seedlings
..... ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)

Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a
semi-arid area in drylands of Gansu, China WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)

Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method
..... WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)

Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under *Phyllostachy praecox* stands
..... CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)

Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully
region, China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)

Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area
..... ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)

Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in *Phyllostachys praecox* stand
..... GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)

Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe
..... WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)

Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring
method HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)

Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)

Sap flow dynamics of *Populus alba* L.×*P.talassica* plantation in arid desert area ... ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jianguo, et al (5655)

Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition
..... LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)

The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China
..... YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)

Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species
..... ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)

Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassi-
um index of flue-cured tobacco WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)

Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female *Apodemus chevrieri*
..... GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)

Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of *Litopenaeus vannamei*
..... WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liqun, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 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,300 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 陈利顶 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 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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