ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学学会 2013 年学术年会专辑

第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 淼,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/stxb201304180739
闫帮国,纪中华,何光熊,史亮涛,潘志贤,李纪潮,岳学文,王春雪,彭辉.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.生态学报,2013,33(18):5668-5674.
Yan B G, Ji Z H, He G X, Shi L T, Pan Z X, Li J C, Yue X W, Wang X W, Peng H.The effects of leaf stoichiochemistric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha river, China.Acta Ecologica Sinica,2013,33(18):5668-5674.

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[1],纪中华[2,*],何光熊[1],史亮涛[1],潘志贤[1],李纪潮[1],岳学文[1],王春雪[1],彭 辉[1]
(1. 云南省农业科学院热区生态农业研究所, 元谋 651300; 2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所,昆明 650205)

摘要:叶片的化学计量学特征在植物响应环境变化,决定植物的生后效应中具有重要的偶联作用。为了阐明植物叶片生源要素含量对凋落物周转的影响,分析了金沙江干热河谷萨瓦纳草地生态系统植物叶片的化学计量学特征与凋落物周转时间的关系。结果显示:凋落物周转受到多重生源要素及其交互作用的影响,其中 K 与凋落物周转时间存在显著的正相关关系,而 S、Mn、Mg 元素具有负关系,表明 K 可能抑制凋落物的分解,而 S、Mn、Mg 元素可能会促进凋落物分解。在物种水平上 K、S、Mn 分别与凋落物周转时间存在显著的相关性, K、S 组合解释了 16.93%的凋落物周转时间变异;样方水平上,K、S、Mn、Mg 分别与凋落物周转时间具有显著相关性,虽然 N 对凋落物的周转时间影响不显著,但当 N 与 K 及其交互作用对凋落物周转时间解释了 37.42%的变异。其它元素组合也可在不同程度上解释了凋落物周转时间的变异。多元要素的互作效应表明元素间可能存在拮抗和协同效应,凋落物分解过程中可能受到多重分解者的共同作用,而不同分解者会受到不同的元素限制。未来的研究应当注重 N、P 以外的元素在生物地球化学循环中的作用。

关键词:化学计量学; 生源要素; 干热河谷; 萨瓦纳; 凋落物; 钾; 硫

The effects of leaf stoichiochemistric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China

YAN Bangguo[1], JI Zhonghua[2,*], HE Guangxiong[1], SHI Liangtao[1], PAN Zhixian[1], LI Jichao[1], YUE Xuewen[1], WANG Chunxue[1], PENG Hui[1]
1 *Institute of Tropical Eco-agricultural Sciences, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou* 651300, *China*
2 *Institute of Agricultural Environment and Resouces, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming*, 650205, *China*

Abstract: Leaf elemental stoichiometry has an important role in linking plant response to environmental changes and its afterlife effect. Plant leaf stoichiometry can change dramatically across environment gradients such as grazing, moisture and soil fertilities and consequently affect ecosystem function (e.g. nutrient cycle) in turn. Although concentrations of elements in leaves have already be known to have their effects on litter decomposability, the effects of multiple elements were less studied, especially other elements besides C, N, P. Since there are coordinated decomposition rates of different organs, it can be hypothesized that leaf stoichiometry could capture the variation of litter turnover time and therefore feedback to ecosystem function. To explore the effects of biogenic element concentration in leaves on litter turnover, biomass and litter aboveground were collected from 38 plots in a savanna grassland (E101 °35′—102 °06′, N25 °23′—26 °06′) which situated at the arid-hot valley of Jinsha river. Biomass and litter were classified into species before weighting. Litter turnover time was calculated as the fresh biomass : litter pool ratio. The most important biogenic element (i.e. N, P, K, Ca, Mg,

基金项目:"十二五"科技支撑计划项目(2011BAC09B05); 云南省科技计划项目(2011CA009); 云南省基金项目(2011FZ219)和所长基金(RQS-2011-1-13)
收稿日期:2013-04-18; **修订日期**:2013-07-10
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: rjsjzh@163.com

S, Mn, Cu, Fe and Zn) concentrations in leaves were measured. The relationships between these element concentrations in leaves and litter turnover time were analyzed. The results showed that litter turnover may be affected by multiple elemental concentrations in leaves. K has a significantly positive relationship with litter turnover time while S, Mn and Mg were negatively related to litter turnover time which indicated K might inhibit litter decomposition while S, Mn and Mg might promote it. Contrary to previous studies, neither N nor P was significantly related to litter turnover time. K, S and Mn were related to litter turnover time significantly at species level respectively. K and S jointly explained 16.93% variation at species level. K, S, Mg and Mn were related to litter turnover time significantly at plot level respectively. Although N had no significant effect on litter turnover time alone, K-N and their interaction explained 37.42% variation at plot level. This combination explained 18.37% more variation than K-N additive effect. It was followed by K-Mn combination which explained 36.64% variation at plot level. Other elemental combinations could also significantly explained variation of litter turnover time to some extent. K was positively related to litter turnover time although it was positively related to Mn and Mg which were in turn negatively related to litter turnover time. The results here suggest that K might be the only element that inhibits litter decomposability in this dry and hot area. The mismatch of elemental effects on litter turnover time between at species level and at plot level might result from element transfer in litters or their complementary effects in decomposer's growth. The interactions of multiple elements indicated that there might be synergic and antagonistic effects between elements and suggested that litter turnover time would be affected by multiple decomposers which may be limited by different elements. The results here suggest that future studies should make attentions on other elements besides N and P to explore their roles in biogeochemistry processes.

Key Words: stoichiometry; biogenic element; arid-hot valley; savanna; litter; potassium; sulphur

凋落物的分解对养分循环[1]、植物种子萌发与生长[2]、土壤碳库等生态系统功能具有重要的影响。然而通过植物叶片化学计量特征指示凋落物分解的研究甚少[3]。植物叶片的化学计量特征在很大程度上反映了植物对环境的响应[4-5]。如果能够将植物叶片化学计量特征与凋落物分解联系起来将有助于理解植物-环境的反馈作用机制,促进生态系统变化的预测能力。植物叶片与凋落物分解的关系有以下几方面的内在联系:(1)植物器官各元素含量与其回收效率间存在较为一致的相关关系[6,7],器官的元素水平可在很大程度上代表凋落物的化学计量特征;(2)植物不同的器官养分间存在正相关关系[8],致使植物各组织器官存在协调一致的经济型谱[9]。植物叶片中的养分可在很大程度上代表其它器官的养分特征[3],与其它器官凋落物的分解速率有着内在的联系[10]。(3)大部分地上凋落物主要成分为叶片和茎干,二者遵循一定的分配规律[11]。因此群落水平叶片的化学计量特征在很大程度上可代表群落总体的凋落物化学计量特征。可见,植物叶片的化学计量性状可以通过凋落物分解影响生态系统的各种功能[12],如土壤碳库[13]、碎屑食物网[14]、土壤养分循环速率[15]、地表持水能力[16]等,这种生物体死后的作用过程又被称为生后效应[17]。如 Fortunel 等研究[3]表明干扰强度、频次与气候因子可以改变叶片氮磷含量,后者又与凋落物分解速率具有显著相关性。可见,植物叶片的化学计量特征可以联系植物-环境反馈系统,是预测生态系统变化的重要途径[13]。

然而当前的研究主要集中于氮磷元素对凋落物周转和分解的影响,忽视了其它元素含量,特别是微量元素在凋落物分解中的角色[18]。植物叶片氮磷以外的其它元素含量变异性极大[19],其对凋落物周转的影响能够偶联到所有生源要素的循环,进而作用到植物生长和碳固定等重要的生态系统功能。因此,叶片多元素计量特征对凋落物分解作用的研究亟待加强。

金沙江干热河谷区存在明显的干湿交替现象,加之长期的高温条件和较强的紫外线对凋落物分解的促进作用[20],地表枯落物层很薄,土壤有机质含量低[21],地表保水保肥能力较差[22],植被恢复困难。地表强烈的侵蚀和其它过程,造成了土壤理化性质变异性较高,植物叶片的养分含量变化幅度大。目前,还没有相关研究报道该区域内植物叶片元素含量对地表枯落物周转的影响。本文以金沙江干热河谷地区自然植被为对象,研究了植物物种水平和群落水平上叶片多种生源元素含量对凋落物周转时间的影响,旨在增加对区域内生物地球化学循环驱动因子的了解,为合理管理当地生态系统,恢复退化植被提供科学依据。

1　方法与材料

1.1　研究区概况

金沙江干热河谷是我国西南最为干旱的地区之一,水热矛盾突出,平均年降水量不足 700 mm,年蒸发量达到 3000 mm 以上,年均温大于 20 ℃[22]。典型植被为萨瓦纳草地, 常见植物为禾本科的黄茅 *Heteropogon contortus*、拟金茅 *Eulaliopsis binata*、孔颖草 *Bothriochloa pertusa* 和橘草 *Cymbopogon goeringii* 等[23],叶片是极为重要的生物量组成部分和凋落物来源之一。由于区域内经历多次地质沉积过程,形成了河湖交互沉积。土壤类型主要为燥红土、变性土、紫色土以及少部分薄层土。

1.2 样品采集与测定

本研究地设置在金沙江干热河谷元谋地段(东经 101 °35 ′—102 °06 ′、北纬 25 °23 ′—26 °06 ′),在海拔 1000 m—1400 m 的萨瓦纳草地上随机设置 51 个 1 m×1 m 样方。所有样方均位于坡度较缓的山坡或台地上。由于 13 个样方内存在极为明显的放牧干扰,凋落物极为稀少,因此凋落物未予以采集。其余样方位于水土保持区内或农田包围的台地中,干扰较少,存在明显的凋落物积累现象,共设置有效样方 38 个。由于该地区物种多样性较低,且基本为多年生植物,凋落物基本与相同物种的植物活体混杂在一起,因此凋落物分类较为容易。样方内所有植物地上部分均齐地剪取后按物种分拣成生物量和凋落物部分,另收集样方内地表凋落物,并分别分类至物种,生物量和凋落物分别称重(精确至 0.01 g)。只有极少部分凋落物处于半分解状况,未予以收集。取样方内植物新鲜叶片 70℃烘干后测量 N、P、K、Ca、Mg、S、Mn、Cu、Fe、Zn 含量。采样时重点采集样方中较为常见的优势植物样品,并兼顾稀少物种。对于样方中样品不够的物种,从样方附近采集,共取得 107 份叶片样品。叶片 N 含量采用凯氏定氮法测量(GB 5009.5—2010),其它元素采用 PS-4 电感耦合等离子发射光谱仪(Baird & Associates Ltd., Madison, USA)测定。

1.3 数据处理与分析

采用生态系统凋落物现存储量与年际凋落量比值指示凋落物周转时间[24]。金沙江干热河谷区萨瓦纳草地中植物的地上部分在干季枯萎,形成凋落物,因此地上部分生物量可指示年际凋落量。

物种水平上上,每种植物在样方内的凋落物现存量与该种植物地上生物量比值作为各物种凋落物在该样方中的周转时间(Ts)。取每种植物叶片 N、P、K、Ca、Mg、S、Mn、Cu、Fe、Zn 含量平均值,将 Ts 与各种植物叶片养分含量或其对数值与群落水平凋落物周转时间进行逐一回归分析,然后再对各元素进行组合(重点围绕具有显著影响的元素),通过回归分析,依据 Akaike 信息准则(AIC 值最小化)得出最优模型。

群落水平上,采用样方中凋落物现存总量与样方内地上部分生物量总重的比值作为凋落物周转时间(Tc)。通过 Tc 与群落尺度上生源要素的含量 E_P进行多元回归分析,揭示养分对群落凋落物分解的影响。

群落尺度上生源要素的含量 E_P计算时,将各种植物叶片养分的平均值通过其在群落中的优势度进行加权加和后得出群落尺度上养分加权值[3]。具体计算公式如下:

$$E_P = \sum E_S \times B_S \quad (1)$$

式中,E_S为各物种叶片生源要素的含量平均值,B_S为各物种在样方中生物量的比例。计算包括的物种生物量占到了调查物种总生物量的 90%以上。

由于样本容量有限,全部养分的多元回归分析和逐步剔除法得出结果不理想。因此,本研究针对 N、P、K、Ca、Mg、S、Mn、Cu、Fe、Zn 或其对数值与群落水平凋落物周转时间进行逐一回归分析,分析方法同物种水平。

2 结果与分析

植物叶片元素含量间具有一定的相关性。总体上各元素含量的对数间存在正相关性(附表 1)。主要目标元素中,大部分存在显著的正相关性,其余部分相关性不显著。

2.1 物种水平上叶片养分对凋落物周转的影响

植物的叶片元素含量存在很大的变异性(表 1),总体上 N 的含量最高,Zn 的含量最低,Cu 的变异系数最大,而 K 的变异系数最小。凋落物周转时间 Ts 平均值为 0.57 a,变异系数为 94.92%。

表 1 叶片元素含量与变异系数

Table 1 Elemental concentration and coefficient variation in leaves

	S	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	N
物种水平 Species level										
均值 Mean/(mg/kg)	1426.52	871.47	10157.41	12346.83	2158.12	379.57	24.80	42.88	49.31	12751.24
变异系数 cv	0.43	0.42	0.38	1.47	0.60	0.76	0.54	1.56	0.62	0.45
群落水平 Community level										
均值 Mean/(mg/kg)	1217.35	626.07	8321.09	6625.29	1401.38	208.24	19.98	48.82	35.37	9589.58
变异系数 cv	0.19	0.19	0.19	0.54	0.31	0.30	0.21	0.54	0.25	0.14

一元回归分析显示,Ts 与叶片 S、Mn 含量对数值具有显著的负相关性,与 K 对数值存在显著的正相关性(图 1),其中 S 的解释力最高,解释了 13.11%的变异。Mn 与 Zn,Mn 与 K、K 与 S,Mg 与 Mn,Fe 与 Mn、Fe 与 S, N 与 K、Ca 与 K 的组合也显著解释了 Ts 的变异,并比单变量解释了更多的变异。

叶片 N、P 含量分别与 Ts 间的一元回归分析结果不显著,然而多元回归显示 N、P 以及交互作用与 Ts 具有极显著的相关

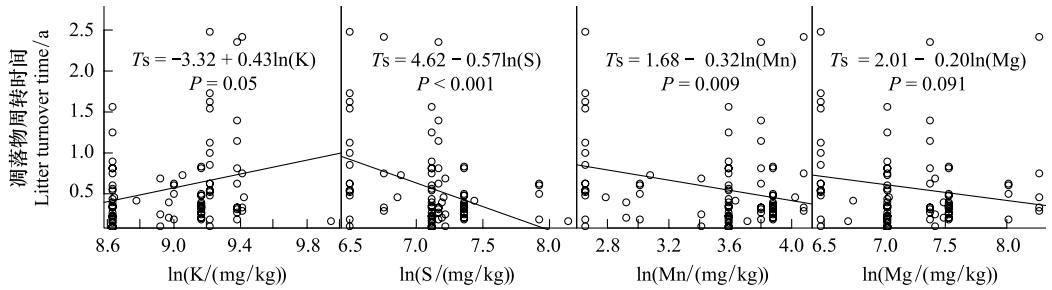

图 1　物种水平凋落物周转时间与叶片生源要素含量的相关关系

Fig.1　The relationship between litter turnover time (*Ts*) and leaf biogenic elements concentration at species level

性。同样,虽然各自的一元回归分析不显著,但 P 与 Fe,N 与 Fe,N 与 Zn 组合也与 *Ts* 存在显著的相关性。

所有模型中 K 与 S 组合最优,解释了 16.93%的变异(表 2),与其各自解释力加和(17.05%)接近。两个以上的元素组合不能提高模型的解释力。

2.2　群落水平上叶片养分对凋落物周转时间的影响

群落叶片元素含量同样存在很大的变异性(表 1),总体上含量特征与物种尺度相似,N 的变异系数最低,Ca 与 Cu 的变异性较大。群落凋落物周转时间 *Tc* 平均值为 0.56 a,变异系数为 80.71%。

一元回归分析显示,叶片中 S、Mg、Mn 含量对数值以及 K 与 *Tc* 间存在显著的相关性,其中 *Tc* 与 K 正相关,与其它元素负相关(图 2)。Mn 的决定系数最高,解释了 27.81%的变异。K 分别与 N、P、Mg、Ca、S、Cu 的二元组合和 *Tc* 显著相关,并比单变量解释了更多的变异。此外,Zn 分别于 Mg、N、Cu 组合后也与 *Tc* 间存在显著相关性。

K、N 组合模型最优,解释了 37.42%的变异,其次是 K 与 Mn,解释了 36.64%的变异(表 2)。两个以上的元素组合不能提高模型的解释力。K、N 组合比其各自解释力总和多了 18.37%,而 K 与 Mn 组合比各自解释力总和少了 6.74%。

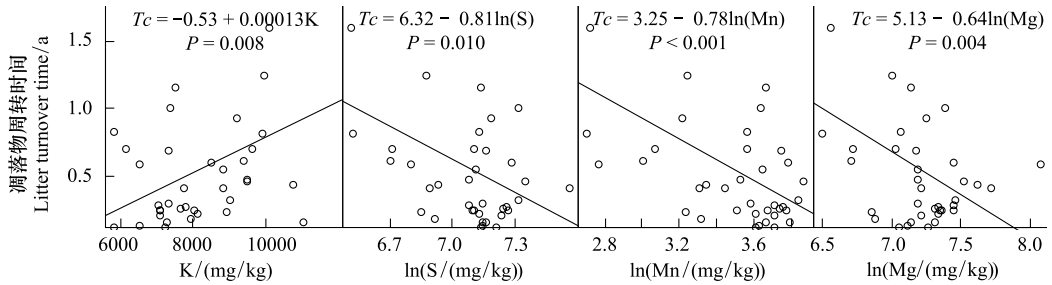

图 2　群落水平凋落物周转时间与叶片生源要素含量的相关关系

Fig.2　The relationship between litter turnover time (*Tc*) and leaf biogenic elements concentration at community level

3　讨论

本研究结果表明植物叶片的 S、K、Mn 对物种水平上凋落物周转时间具有显著影响,其中 K、S 的共同效应最显著;而群落水平上 S、Mg、Mn、K 对凋落物周转时间具有显著影响,K、N 共同作用的效应最显著。上述结果表明,植物组织的生源要素含量对其生后效应具有极大的影响。植物物种通过 S、Mg、Mn、K 元素含量在组织中的变异,加速或减缓凋落物分解,对养分循环速率产生作用,进而影响土壤有效 N、P 的含量,反馈于植物群落物种构成和养分组成,藉此对生物地球化学循环产生作用,造成元素间的耦合。

虽然大量的研究表明植物叶片的氮磷含量在决定凋落物分解中扮演着重要角色[24-26],然而最近的研究表明植物凋落物元素含量和分解者间的养分需求存在很大的不匹配性,如钠被认为在植物生长中不存在限制性作用,而研究表明其在凋落物分解者中具有重要的限制作用,适量添加钠可促进凋落物分解,增加碎屑食物网中蚂蚁的数量[27]。Berg 等人研究[18]表明凋落物 Mn 含量与亚北极地区植物凋落物分解速率具有显著的相关性。最近,全球尺度的研究也表明 Mg,而非 N、P 在凋落物分解中扮演者重要作用[28]。

表 2 凋落物周转时间与叶片多元要素的相关关系

Table 2 The relationships of litter accumulation index and leaf multi-elements concentration

模型 Model	校正 r^2 Adjusted r^2	P	赤池信息量(AIC 值) Akaike's Information Criterion
物种水平 Species level			
$Ts=-12.305+3.46\ln(Mn)+4.51\ln(Zn)-1.21\ln(Mn)\times\ln(Zn)$	0.13	0.001143	147.8
$Ts=352.69-38.56\ln(N)-54.06\ln(P)+5.92\ln(N)\times\ln(P)$	0.09	0.00752	152.0
$Ts=17.33-5.05\ln(Mn)-2.23\ln(Mg)+0.67\ln(Mn)\times\ln(Mg)$	0.14	0.0006864	146.7
$Ts=-26.05+9.58\ln(Zn)+3.58\ln(Mg)-1.29\ln(Zn)\times\ln(Mg)$	0.15	0.0003548	145.2
$Ts=4.36-0.94\ln(N)+0.525\ln(K)$	0.10	0.0027	150.1
$Ts=1.02-0.54\ln(S)+0.38\ln(K)$	0.17	0.00006687	142.5
$Ts=-0.18+0.0027Ca+2.15\ln(K)-0.00031Ca\times\ln(K)$	0.13	0.001408	148.3
$Ts=-2.05-0.25\ln(Mg)+0.49\ln(K)$	0.09	0.005209	151.5
$Ts=-2.17-0.31\ln(Mn)+0.43\ln(K)$	0.11	0.001463	148.9
$Ts=22.77-3.28\ln(S)-2.47\ln(Mg)+0.37\ln(S)\times\ln(Mg)$	0.14	0.0008317	147.1
$Ts=-17.98+3.76\ln(Fe)+4.60\ln(Mn)-0.94\ln(Fe)\times\ln(Mn)$	0.10	0.006584	151.7
群落水平 Community level			
$Tc=5.23-0.61\ln(Mn)-0.36\ln(Mg)$	0.31	0.0005607	38.5
$Tc=-0.78+8.49\ln(N)+0.0105K-0.0011\ln(N)\times K$	0.37	0.0002641	35.8
$Tc=6.70-1.16\ln(P)+0.00015K$	0.23	0.0043	43.0
$Tc=-0.16+2.25\ln(Mg)+0.0024K-0.00032\ln(Mg)\times K$	0.36	0.000412	36.8
$Tc=-11.38+1.59\ln(Mg)+0.78Zn-0.11\ln(Mg)\times Zn$	0.23	0.008427	44.0
$Tc=-67.88+7.43\ln(N)+4.06Zn-0.44\ln(N)\times Zn$	0.26	0.003656	41.9
$Tc=4.16-1.36\ln(Cu)+0.08Zn$	0.32	0.0004614	38.1
$Tc=-6.27+1.79\ln(Mn)+0.001K-0.00028\ln(Mn)\times K$	0.37	0.000324	36.2
$Tc=-0.15+2.10\ln(S)+0.0022K-0.0003\ln(S)\times K$	0.23	0.007726	43.6
$Tc=3.83-0.53\ln(Ca)+0.00016K$	0.24	0.003279	42.4
$Tc=2.04-0.71\ln(Cu)+0.00015Cu$	0.27	0.001445	40.6

本研究中一元回归分析也表明叶片 K、S、Mn、Mg 较 N、P 对凋落物周转影响更大。其中只有 K 与凋落物周转时间存在正相关性,由于 K 与其它元素间并不存在负相关关系,因此,上述关联性可能与 K 元素对凋落物分解的抑制作用有关。这可能是在干热河谷地区水分亏缺严重,K 含量的增加可能会增加对土壤动物或微生物的盐胁迫,抑制了土壤生物的活动。其它元素与凋落物周转时间的负相关性可能与该元素对凋落物分解的促进作用有关,或者与其它元素间存在共线性有关。

总体上,不论是物种水平还是群落水平,K 与凋落物周转时间存在正相关性;物种水平上 S 与凋落物周转时间负相关性最高,而群落水平上 Mn 与凋落物周转时间负相关性最高。这与多元回归的模型结果一致,物种水平上 K 与 S 组合最优,群落水平上 K 与 Mn 组合也具有较高的解释力,表明 K 可能与其它元素共同影响了凋落物的周转。

不同的分解者对元素的响应并不一致,如弹尾目、倍足目与硫具有极大的相关性,而钙质的等足类昆虫生物量与钙含量有关,而氮元素则限制着纺丝类昆虫如蜘蛛等的数量[14]。同样 Mn 是分解木质素等凋落物组分活性酶的辅助因子[29],可能是限制白腐菌生长的重要元素之一[30]。

本研究中,元素的组合比单因素具有更好的解释力。由于凋落物分解中涉及多种分解者,而元素对不同的分解者的限制性不同,因此在多种分解者共同参与的情况下,多种元素的协同作用不可忽视。不同分解者的替代效应在很大程度上会弱化元素的组合效应,这也可解释存在多种元素组合对凋落物分解能力的影响。生源要素间的互作表明元素间可能存在协同作用或拮抗作用。由于生物体的元素含量存在一个较为稳定的计量关系[31],当一个元素含量不足时,另一个元素也很难单独促进分解者生长。同样,当部分元素含量过高时,可能对生物体造成损伤,降低了其它元素的效应[32]。另外,部分元素在生物化学功能上可以相互替代[33-34],使得元素间的互作更加复杂多变。

本研究物种水平上和群落水平的叶片元素及其组合与凋落物周转时间的关系有部分差异,这可能与凋落物多样性对凋落物分解的影响有关。多样性可增加或减少凋落物的分解速率[35],并且不同物种的凋落物养分含量差异较大,不同植物的凋落物养分互补或转移在分解中具有重要影响,造成元素的限制作用发生了转变。

由于叶片中各元素含量间具有一定的共线性[23],使得以本研究的野外原位观测结果在解释凋落物分解中的驱动因素时存在一定的缺陷。然而原位观测可以弥补控制实验中的尺度限制,本研究跨越了多个土壤类型和多个物种,针对生源要素中最重要元素进行研究,可与下一步的控制实验起到互补的作用。

凋落物的快速分解可引起养分的快速释放,容易造成养分如氮磷等的大量流失,加剧水体富营养化。植被下较薄的枯落物层也限制了地表保水能力,形成当地植被的恢复中的限制环节。因此,在金沙江干热河谷生态系统管理和植被重建中应适当考虑选择叶片 K 含量较高,S、Mg、Mn 等其它微量元素含量较低的植物,以利于增加植被恢复后期的凋落物储量,改善地表蓄水能力,反过来促进植物的生长和定殖,形成植物-土壤系统的良性循环。

4　结论

(1) 金沙江干热河谷地区 N、P 以外的常微量元素在枯落物分解中占有重要地位。叶片化学计量学特征可影响凋落物分解,某些元素,特别是 Mg、Mn、S 含量增加可能会加快凋落物周转时间,不利于地表枯落物层的形成。

(2) 物种水平上,叶片 S 含量与凋落物周转时间的关系最显著,而群落水平上,叶片 Mn 含量与凋落物周转时间的关系最显著。物种水平上与群落水平上叶片元素计量特征与凋落物周转时间相关性存在一定的差异,可能与凋落物多样性组合以及凋落物分解中养分互补等有关。

(3) 叶片各元素间可能存在复杂的交互作用。物种水平上,K 与 S 组合后最大程度地解释了凋落物周转时间的变异;虽然 N 元素作为单个因素与凋落物周转时间不相关,但当与 K 组合后显著解释了群落水平上凋落物周转时间的变异。

References:

[1] Liu L, Shen G Z, Chen F Q, Luo L, Xie Z Q, Yu J. Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2142-2149.

[2] Jäderlund A, Zackrisson O, Nilsson M C. Effects of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) litter on seed germination and early seedling growth of four boreal tree species. Journal of Chemical Ecology, 1996, 22(5): 973-986.

[3] Fortunel C, Garnier E, Joffre R, Kazakou E, Quested H, Grigulis K, Lavorel S, Ansquer P, Castro H, Cruz P, Doležal J, Eriksson O, Freitas H, Golodets C, Jouany C, Kigel J, Kleyer M, Lehsten V, Lepš J, Meier T, Pakeman R, Papadimitriou M, Papanastasis V P, Quétier F, Robson M, Sternberg M, Theau J P, Thébault A, Zarovali M. Leaf traits capture the effects of land use changes and climate on litter decomposability of grasslands across Europe. Ecology, 2009, 90(3): 598-611.

[4] Zhang S B, Zhang J L, Slik J W F, 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.

[5] 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.

[6] Vergutz L, Manzoni S, Porporato A, Novais R F, Jackson R B. Global resorption efficiencies and concentrations of carbon and nutrients in leaves of terrestrial plants. Ecological Monographs, 2012, 82(2): 205-220.

[7] Kobe R K, Lepczyk C A, Iyer M. Resorption efficiency decreases with increasing green leaf nutrients in a global data set. Ecology, 2005, 86(10): 2780-2792.

[8] Elser J J, Fagan W F, Kerkhoff A J, Swenson N G, Enquist B J. Biological stoichiometry of plant production: metabolism, scaling and ecological response to global change. New Phytologist, 2010, 186(3): 593-608.

[9] Freschet G T, Cornelissen J H C, Van Logtestijn R S P, Aerts R. Evidence of the 'plant economics spectrum' in a subarctic flora. Journal of Ecology, 2010, 98(2): 362-373.

[10] Santiago L S. Extending the leaf economics spectrum to decomposition: evidence from a tropical forest. Ecology, 2007, 88(5): 1126-1131.

[11] Enquist B J, Niklas K J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants. Science, 2002, 295(5559): 1517-1520.

[12] Lü X T, Freschet G T, Flynn D F B, Han X G. Plasticity in leaf and stem nutrient resorption proficiency potentially reinforces plant-soil feedbacks and microscale heterogeneity in a semi-arid grassland. Journal of Ecology, 2012, 100(1): 144-150.

[13] De Deyn G B, Cornelissen J H, Bardgett R D. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. Ecology Letters, 2008, 11(5): 516-531.

[14] Kaspari M, Yanoviak S P. Biogeochemistry and the structure of tropical brown food webs. Ecology, 2009, 90(12): 3342-3351.

[15] Fornara D A, Tilman D, Hobbie S E. Linkages between plant functional composition, fine root processes and potential soil N mineralization rates. Journal of Ecology, 2009, 97(1): 48-56.

[16] Liu Y, Zhang J, Yang W Q, Li X W, Yan B G, Huang X, Su J F, Lai G. Ground cover reserves and water holding capacity of forest-grassland ecotone in natural recovery process in Western Sichuan. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(3): 173-178.

[17] Kazakou E, Vile D, Shipley B, Gallet C, Garnier E. Co-variations in litter decomposition, leaf traits and plant growth in species from a Mediterranean old-field succession. Functional Ecology, 2006, 20(1): 21-30.

[18] Berg B, Steffen K T, McClaugherty C. Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations. Biogeochemistry, 2007, 82(1): 29-39.

[19] Han, W X, Fang, J Y, Reich, P B, Ian Woodward, F, Wang, Z H. Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China. Ecology Letters, 2011, 14(8): 788-796.

[20] Austin A T, Ballare C L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(10): 4618-4622.

[21] Cui S H. Land degradation/desertification and its control strategies-a case study of the dry-hot valley in Yuanmou, Yunnan province. Geographical

Research, 1995, 14(1): 66-71.
[22] Zhang J P, Wang D J, Wang Y K, Wen A B. Discusses on eco-environment changes in dry-hot valley of Yuanmou. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(2): 148-152.
[23] Yan B G, He G X, Li J C, Ji Z H. Scaling relationships and stoichiometry of plant leaf biogenic elements from the arid-hot valley of Jinsha River, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(11): 1136-1144.
[24] Matthews E. Global litter production, pools, and turnover times: Estimates from measurement data and regression models. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D15): 18771-18800.
[25] Kaspari M, Yanoviak S P. Biogeography of litter depth in tropical forests: evaluating the phosphorus growth rate hypothesis. Functional Ecology, 2008, 22(5): 919-923.
[26] Wang J G, Bakken L R. Competition for nitrogen during decomposition of plant residues in soil: Effect of spatial placement of N-rich and N-poor plant residues. Soil Biology and Biochemistry, 1997, 29(2): 153-162.
[27] Hu S, Chapin F S, Firestone M K, Field C B, Chiariello N R. Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO_2. Nature, 2001, 409(6817): 188-191.
[28] Kaspari M, Yanoviak S P, Dudley R, Yuan M, Clay N A. Sodium shortage as a constraint on the carbon cycle in an inland tropical rainforest. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(46): 19405-19409.
[29] Makkonen M, Berg M P, Handa I T, Hattenschwiler S, van Ruijven J, van Bodegom P M, Aerts R. Highly consistent effects of plant litter identity and functional traits on decomposition across a latitudinal gradient. Ecology Letters, 2012, 15(9): 1033-1041.
[30] Wong D W S. Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2009, 157(2): 174-209.
[31] Archibald F, Roy B. Production of manganic chelates by laccase from the lignin-degrading fungus Trametes(Coriolus) versicolor. Applied and Environmental Microbiology, 1992, 58(5): 1496-1499.
[32] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton: Princeton University Press, 2002.
[33] Allgeier J E, Rosemond A D, Layman C A. The frequency and magnitude of non-additive responses to multiple nutrient enrichment. Journal of Applied Ecology, 2011, 48(1): 96-101.
[34] Zhang Y C, Zhou X F, Li Q Y, Zhai C X, Liu Q Q. The effects of partial replacement of potassium by sodium on cotton growth and nutrition absorption. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(1): 115-118, 132-132.
[35] Qiang L Y, Yang X E, Shi W Y. Potassium-sodium substitution and physiological effect of the substitution on crops. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(1): 28-30.
[36] Hättenschwiler S, Tiunov A V, Scheu S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2005, 36(1): 191-218.

参考文献:

[1] 刘蕾, 申国珍, 陈芳清, 罗璐, 谢宗强, 喻杰. 神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态. 生态学报, 2012, 32(7): 2142-2149.
[16] 刘洋, 张健, 杨万勤, 李贤伟, 闫帮国, 黄旭, 苏江峰, 赖刚. 自然恢复过程中川西亚高山林草交错带地被物储量及持水性能研究. 水土保持学报, 2009, 23(3): 173-178.
[21] 崔书红. 云南元谋干热河谷土地退化及其防治对策. 地理研究, 1995, 14(1): 66-71.
[22] 张建平, 王道杰, 王玉宽, 文安邦. 元谋干热河谷区生态环境变迁探讨. 地理科学, 2000, 20(2): 148-152.
[23] 闫帮国, 何光熊, 李纪潮, 纪中华. 金沙江干热河谷地区植物叶片中各生源要素的化学计量特征以及异速增长关系. 植物生态学报, 2012, 36(11): 1136-1144.
[34] 张彦才, 周晓芬, 李巧云, 翟彩霞, 刘全清. 钠替代部分钾对棉花生长和养分吸收的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 115-118, 132-132.
[35] 姜理英, 杨肖娥, 石伟勇. 钾钠替代作用及对作物的生理效应. 土壤通报, 2001, 32(1): 28-30.

附表 1 叶片部分元素间相关性指数

Appendix table 1 Correlations of some element concentrations in leaves, givern as r^2

元素 Element	S	Mn	Mg	Ca	N	P	Fe	Cu	Zn
K	0.0090	**0.0410**	**0.0400**	**0.0421**	**0.1019**	**0.1438**	**0.0416**	0.0090	**0.0653**
S		**0.1120**	**0.0640**	0.0044	**0.1394**	**0.1045**	0.0153	0.0014	0.0206
Mn			**0.1580**	**0.0396**	**0.2366**	**0.2582**	0.0814	0.0000	**0.0455**
Mg				**0.4450**	**0.2843**	**0.1620**	**0.1130**	0.0102	0.0103
Ca					**0.3082**	**0.1122**	**0.1858**	0.0011	0.0189
N						**0.3818**	**0.2559**	0.0001	0.0832
P							**0.2192**	0.0010	0.0484
Fe								**0.0483**	**0.2463**
Cu									**0.3982**

粗黑体表示显著性 $P<0.05$;所有数据分析前均经过自然对数转化

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 Reservoir 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 sydrome 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 CO_2 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 NH_3 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 Jiangui, 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 stoichiochemistric 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 potassium 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 dissloved 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 Tijiu, 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研工作者,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研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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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