

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

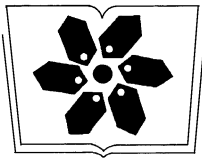
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **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 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶 冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李 毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈 峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵 琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪 青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011021568

苏洁琼, 李新荣, 冯丽, 回嵘, 黄磊. 草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应. 生态学报, 2012, 32(1): 0093-0100.

Su J Q, Li X R, Feng L, Hui R, Huang L. Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0093-0100.

草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应

苏洁琼^{1,2,*}, 李新荣¹, 冯 丽^{1,2}, 回 嵘^{1,2}, 黄 磊^{1,2}

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 沙坡头沙漠试验研究站, 兰州 730000; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用人工外源施加磷素的野外试验研究了荒漠区草本植物群落物种丰富度、多度、盖度、生物量、优势种株高等生态学特征对不同磷素水平的响应。试验结果表明: 在水肥充足的施肥当年, 物种丰富度和多度均随着施磷水平的提高而下降, 50 g/m² 的高肥处理下二者均显著低于不施肥的对照 ($P < 0.05$)。盖度和地上部生物量在施肥当年均随着施磷水平的提高而增加, 50 g/m² 的高肥处理下二者与对照相比其增幅分别达到了 47.59% 和 360.49% ($P < 0.05$)。而在干旱的年份, 即施肥后第 2 年, 物种丰富度、多度、盖度和地上部生物量在不同磷素水平下其和对照间的差异均不显著 ($P > 0.05$)。另外, 外源磷素的施加会降低荒漠区草本植物的地下部生物量; 而优势种草本植物茵陈蒿、多根葱、无芒隐子草和锋芒草株高对不同水肥耦合模式的响应存在种间差异。可见, 在湿润的年份, 外源磷素的施加会降低荒漠区草本植物群落的物种多样性, 但会提高其种群生产力; 而在干旱的年份, 水分的缺乏抑制了磷肥残效的作用, 外源磷素施加后对荒漠区草本植物群落物种多样性和种群生产力的影响不显著。表明水分是荒漠区草本植物生长的第一非生物限制性因子, 水、肥可共为限制性因素。

关键词: 草原化荒漠; 草本层片; 磷肥; 物种多样性; 生物量

Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert

SU Jieqiong^{1,2,*}, LI Xinrong¹, FENG Li^{1,2}, HUI Rong^{1,2}, HUANG Lei^{1,2}

1 Shapotou Desert Experimental Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

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

Abstract: In desert ecosystems, low soil moisture and high soil alkalinity decrease phosphorus (P) bioavailability, which results in a scarcity of soil P. Low soil P availability limits plant growth, development and reproduction, and consequently P is one of the most important limiting factors for vegetation growth and restoration in desert ecosystems. Furthermore, productivity of most plant communities increases following nutrient addition, while species diversity shows different responses to nutrient addition. Nevertheless, little attention has been directed towards identification and quantification of P pools in water-limited desert ecosystems, and results of P fertilization experiments in non-arid regions are not applicable to arid regions receiving <200 mm annual precipitation. The aim of this study was to understand the effects of artificial P addition on the vegetation structure of herbage synusia and to offer a solid basis for long-term restoration and scientific management of desert ecosystems. We selected the herbaceous vegetation in steppe desert on the southeastern margin of the temperate Tengger Desert, northern China, as a case study and collected data through field surveys after artificial addition of P fertilizer in spring. Phosphorus fertilizer was added in the first year, in which the annual precipitation was 271 mm (1.4 times the average annual precipitation). In the second year, no P was applied and the annual precipitation was 127 mm. The species, number of individuals, height and coverage were recorded monthly. Using these data, we analyzed the

基金项目: 中国科学院重要方向项目 (KZCX2-EW-301); 国家自然科学基金资助项目 (40930636)

收稿日期: 2010-11-02; **修订日期:** 2011-03-11

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

response in species richness, abundance, coverage, biomass and the height of frequent species of the desert herbaceous vegetation community to artificially amended P under ambient precipitation. Species richness and abundance decreased gradually with increasing level of P fertilization in the first year, and both variables did not change significantly in response to 12.5 and 25 g/m² fertilization ($P > 0.05$), but decreased significantly with 50 g/m² fertilization treatment, compared with the control ($P < 0.05$). Coverage and aboveground biomass increased gradually with the increase in P fertilization level in the same year, and in the 50 g/m² fertilization treatment the coverage and aboveground biomass increased by 47.59% and 360.49%, respectively, compared with the control ($P < 0.05$). In the second year, species richness, abundance, coverage and aboveground biomass all showed no significant difference in the different fertilization treatments compared with the control ($P > 0.05$). The plant community composition changed markedly following P addition, with species number decreasing from 12 to 6 in the first year and to 5 in the second year. Addition of P decreased root biomass of the herbaceous plants. *Artemisia capillaris* Thunb., *Cleistogenes songorica* (Roshev.) Ohwi, *Allium polyrhizum* Turcz. ex Regel and *Tragus berteronianus* Schult. showed different responses in plant height to P addition under different water-nutrient regimes. It is inferred that P addition is able to decrease species diversity and improve plant productivity of the desert herbaceous vegetation community in a moist year, whereas low annual precipitation inhibits the residual effect of P fertilizer in the subsequent drier year, which resulted in no significant effect on species diversity and population productivity. Generally, our results indicate that water is the most important abiotic factor for the growth of the desert herbaceous vegetation, and that water and nutrient are colimiting factors in the desert ecosystem.

Key Words: steppe desert; herbaceous vegetation; phosphorus fertilizer; species diversity; biomass

荒漠地区降水稀少,土壤贫瘠,气候条件十分恶劣,生态环境极其脆弱。长期以来人们对荒漠草地缺乏科学管理和利用,其正向演替受到了一定程度的干扰,导致荒漠生态系统平衡失调,环境恶化,生产力下降^[1]。通常,水分被认为是干旱区的第一非生物限制性因子^[2]。但是,研究也表明,水、肥也可共同限制干旱区植被的生长和恢复^[3-4]。伴随着外界环境因素的改变,如降雨事件的发生,荒漠区草本植物对养分的需求也会日趋明显。研究表明,土壤养分状态的改变将影响物种在群落中的关系,从而引起植物群落组成、结构和生产力等特性的改变^[5];而土壤中限制性养分的增加,对植物群落特性的影响则更加明显^[6]。干旱区土壤普遍缺磷,磷的缺乏严重制约着植被的生长与恢复,使其成为限制植物生长最重要的因素之一^[7-8]。有研究显示,在某些情况下磷素的增加可能会引起植物物种多样性和多度的增加^[9],也可能对群落物种多样性和多度无显著影响,但可以提高种群生产力^[10-11]。另有研究表明,磷素的富集增加了草地和森林生态系统物种多样性丧失的可能性^[12],如国内在青藏高原高寒草甸地区开展的施肥试验表明施肥后草本植物物种多样性降低^[13-14]。

目前,关于干旱区磷肥的施肥试验文献报道的相对较少,并且干旱区以外如湿润地区磷肥施肥试验得到的试验结果往往不能直接应用于干旱区^[15]。如 Koerselman 和 Meuleman 基于欧洲 40 个独立的人工外源施加氮肥和磷肥的试验基础上得出,通过叶片 N:P 比值的临界值可确定出植物个体或者群落水平 N、P 的限制性作用,即当 $N:P < 14$ 时,N 为限制性因子, $N:P > 16$ 时,P 为限制性因子, $14 < N:P < 16$ 时,N、P 同为限制性因子^[16]。但 Drenovsky 和 Richards 对于干旱区灌丛的施肥试验则表明,Koerselman 和 Meuleman 在非干旱区得到的临界值评判标准不适合于干旱区^[17]。这主要是与干旱区气候干燥,降水量少,降水年内、年际分配不均,土壤蒸发量大的气候特征;以及土壤高的 pH 值,高的碳酸盐含量等土壤特性有关^[18-20]。因此,在干旱区荒漠化草原和草原化荒漠地区开展磷肥的施肥试验有十分重要的现实意义和科学价值。

本文以腾格里沙漠东南缘典型温性草原化荒漠草本植物为研究对象,通过人工施加磷素的试验,研究了荒漠草本层片植物物种多样性、种群生产力及植株个体等生态学特征对不同磷素投加量的响应,旨在进一步探讨土壤磷素增加后对温带荒漠草地生态系统的影响机理,为荒漠生态系统的恢复和管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验区概况

实验地设在宁夏中卫县中国科学院沙坡头沙漠试验研究站(37°32' N, 105°02' E; 简称沙坡头站)以西 40 km 处的翠柳沟进行。该区位于腾格里沙漠东南缘, 海拔 1250 m, 地处阿拉善高原荒漠与荒漠草原过渡地带, 属草原化荒漠。本区总体上以高原地貌为主体, 多数为起伏不大的低山丘陵。年均气温 10.4 °C, 极端最高气温 38.1 °C, 极端最低气温 -25.1 °C, 冬夏昼夜温差大。年均降水量为 193.7 mm, 年内的降水分布很不均匀, 主要集中在 7—9 月份, 空气平均相对湿度为 40%。该地区的年平均风速为 2.8 m/s, 最大风速 19 m/s, 大于 5 m/s 的起沙风每年有 200 d 左右。土壤以灰漠土为主。地下水埋藏很深, 不能被植物有效利用。地带性植被包括木本植物层片和草本植物层片, 主要有红砂(*Reaumuria songorica* Maxim)、珍珠(*Salsola passerina* Bse)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla* Pojark)、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphylla* Ledeb)、驼绒藜(*Ceratoides latens* Revealet)、短花针茅(*Stipa breviflora* Linn)、锋芒草(*Tragus mongolorumk* Linn)、无芒隐子草(*Cleistogonnes songorica* Roshev)、多根葱(*Allium polyrhizum* Ex Regel)、冠芒草(*Enneapogon brachystachyus* Honda)和茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb)等^[21]。

1.2 实验设计

采用随机区组设计, 供试磷肥为 NaH₂PO₄ (含 P₂O₅ 量为 45.5%), 共设 4 个施肥水平, 分别为 0、12.5、25、50 g/m², 每个处理 4 次重复, 共 16 个样方。于 2007 年 5 月底将 NaH₂PO₄ 按照施肥梯度从低到高的顺序依次溶解在喷壶中, 然后均匀地喷洒在相应的样方中, 不施肥的对照以等量的水分喷洒。样方为 1 m × 1 m, 4 个样方为 1 组, 每组之间有 1 m 宽的缓冲带, 缓冲带不施肥, 各样方的四角用木桩标记。在实验样方中, 原始植被有灌木驼绒藜、狭叶锦鸡儿和红砂; 有草本植物针茅、多根葱、刺蓬(*Salsola ruthenica* Herb)和茵陈蒿等。供试土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Soil basic characteristics of experimental field

深度 Depth /cm	粒级 Particle size/%			全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	有机质 SOM /(g/kg)	pH	体积含水率 Volume water content/%	容重 Bulk density /(g/cm ³)
	1— 0.05 mm	0.05— 0.002 mm	<0.002 mm							
0—5	82.04	15.4	0	0.50	0.83	25.0	4.3	7.25	9.6	1.42
5—15	73.4	26.5	0	0.41	0.88	25.0	4.2	7.64	8.1	1.26

于 2007、2008 年 5—10 月逐月调查各样方内植被高度、多度、物种丰富度、盖度, 并在生长季节结束后采用收割法收获各样方地上、地下部生物量。测定生物量时将收割的各样方植物地上、地下部分别装在袋中带回实验室, 在 75 °C 条件下烘 48 h 后称重。

1.3 数据处理

数据整理和分析用 Microsoft Excel 和 SPSS16.0 软件进行, 不同处理间植物多度、丰富度、盖度、生物量和株高等的差异显著性检验采用单因素方差分析进行。

2 实验结果

2.1 群落物种多样性对磷素的响应

由图 1 可知: 施肥当年(2007 年)各施磷水平与对照相比植被物种丰富度均减少, 且随着施肥梯度的增加, 物种数逐渐减小。其中, 12.5 g/m² 和 25 g/m² 两个施肥梯度与对照相比差异不显著($P > 0.05$), 而 50 g/m² 的处理下, 物种丰富度则显著低于对照($P < 0.05$)。施肥后第 2 年(2008 年), 各施肥梯度下物种丰富度与对照相比差异不显著($P > 0.05$)。从年际间变化来看, 施肥当年的物种丰富度比施肥后第 2 年的高, 其中, 2007 年物种数从 12 种降到 6 种, 2008 年则从 6 种降到 5 种。

不同施肥梯度下, 群落多度年内、年际间的变化趋势与物种丰富度相一致(图 2)。即施肥当年和施肥后

第2年,植被多度均随着施肥量的增加而降低,且施肥后第2年群落多度要低于施肥当年。施肥当年50 g/m²的高肥处理下植被群落多度显著低于对照($P < 0.05$),其降幅达到了55.58%;而施肥后第2年不同施肥梯度下群落多度的变化与对照相比差异则均不显著($P > 0.05$)。

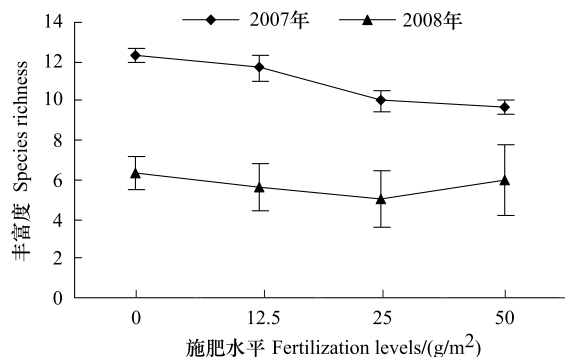


图1 不同施肥水平下群落物种丰富度的变化

Fig. 1 Changes of species richness under different fertilization levels

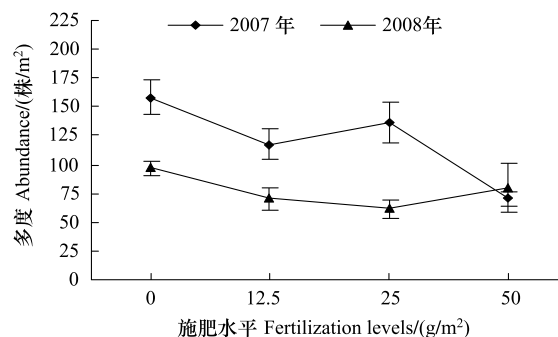


图2 不同施肥水平下群落多度的变化

Fig. 2 Changes of community abundance under different fertilization levels

2.2 种群生产力对磷素的响应

盖度和生物量在一定程度上反映了种群生产力的大小。纵观两年群落盖度的变化(图3),可以看到,施肥后群落盖度均较不施肥的对照有所增加。在施肥当年,高肥处理下盖度增加的幅度较大,25 g/m²和50 g/m²的施肥处理下,其增幅相比于对照分别达到了26.89%和47.59%。施肥后第2年盖度相比于对照略有增加,但增长趋势近于平缓,不同处理间盖度的变化差异不显著($P > 0.05$)。植被盖度年际间的变化差异较大,施肥当年的植被盖度要远高于施肥后第2年的,在12.5, 25 g/m²和50 g/m²的施肥处理下,施肥当年的植被盖度分别是施肥后第2年的9.53, 9.19倍和5.63倍。

植被地上部生物量年内的变化趋势和盖度基本相似(图4)。即施肥当年高肥处理下地上部生物量远高于对照,50 g/m²的处理下植被地上部生物量是对照的4.6倍($P < 0.05$);施肥后第2年不同施肥水平下其增幅较小,不同处理间的差异不显著($P > 0.05$)。植被地上部生物量年际间的变化趋势和盖度相比,除了50 g/m²的处理下施肥当年植被地上部生物量要远高于施肥后第2年,其值为施肥后第2年的2.8倍;其余处理年际间的变化差异均较小,其变幅均不大于46%。

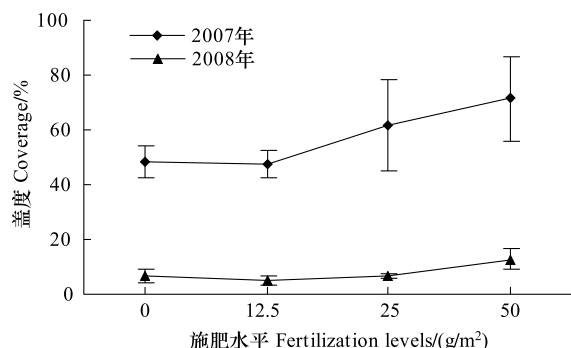


图3 群落盖度在不同施肥水平下的变化

Fig. 3 Changes of community coverage under different fertilization levels

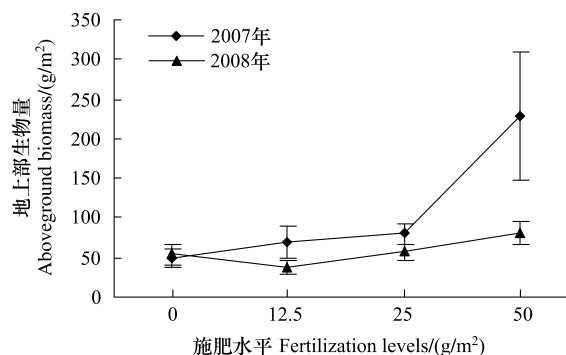


图4 地上部生物量在不同施肥水平下的变化

Fig. 4 Changes of aboveground biomass under different fertilization levels

另外,在施肥后第2年的7、8月和9月份对植被地下部生物量分0—10 cm和10—20 cm两部分进行了采样和分析。结果表明,不同磷素水平下,0—10 cm的浅根生物量在7、8月和9月份均低于不施肥的对照,其

降幅分别为:20.42%—49.72%、67.24%—75.56%和45.51%—78.55%;10—20 cm的深根生物量在7、8月和9月份的变化趋势同0—10 cm的浅根生物量,其降幅分别为:9.30%—36.43%、67.17%—69.41%和6.16%—65.07%。

2.3 优势种高度对磷素的响应

本试验所研究的草原化荒漠草本层片4种优势种植物高生长对不同磷素水平的响应如图5所示,无论是施肥当年还是施肥后第2年,茵陈蒿、多根葱、无芒隐子草和锋芒草在不同磷素水平下其株高的变化和对对照间的差异均不显著($P > 0.05$)。但年际间物种对不同水肥耦合模式的响应存在差异,具体表现为茵陈蒿在施肥后第2年其株高在不同磷素水平下均要远高于施肥当年,其值为施肥当年的6.29—15.24倍;而多根葱、无芒隐子草和锋芒草的株高则是施肥当年均高于施肥后第2年。

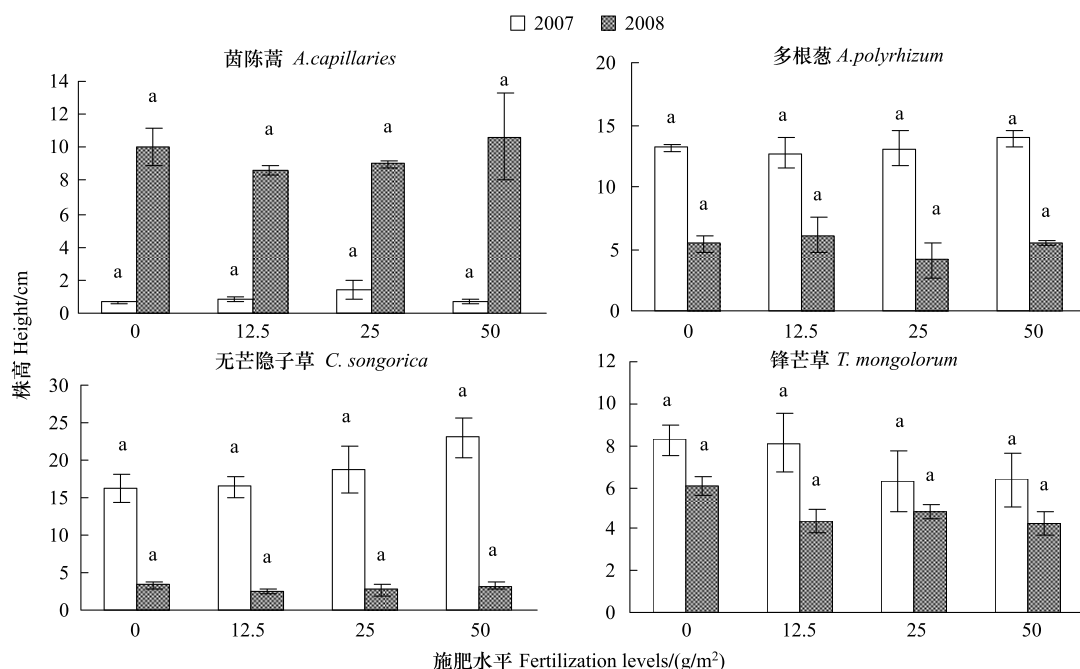


图5 不同施肥水平下常见种高度的变化

Fig. 5 Height changes of frequent species under different fertilization levels

3 讨论

草原化荒漠人工施加磷素的试验结果表明,不同磷素水平下,草本植物群落物种丰富度和多度年内、年际间的变化趋势基本一致。从年内来看,在施肥当年,随着磷素施加水平的提高,物种丰富度和多度均逐渐降低,尤其是在50 g/m²的高肥处理下,物种丰富度和多度均显著低于对照($P < 0.05$)。表明当土壤中限制性养分增加后,可导致荒漠草本植物群落物种多样性的降低^[22-23]。本试验中施肥当年物种数从12种下降到了6种,这与高寒草原和草甸地区的施肥试验所获得的试验结果相吻合^[24-25],即磷素的施加会降低草本植物群落的物种多样性。这是因为,在生产力十分低下的荒漠区生境中,资源异质性较低,所支持的物种数较少,施磷后物种间竞争的加剧会使草本植物群落物种多样性降低^[26];另外,磷肥的施加可能使早春萌发的草种优先吸收了表层的养分,抑制了夏季草本的萌发,进而导致了物种数的减少^[27]。在施肥后第2年,不同施肥梯度下物种丰富度和多度的变化与对照相比差异则均不显著($P > 0.05$)。从年际间的变化来看,施肥当年不同施肥梯度下物种丰富度和多度均要高于施肥后第2年。Harpole 和 Tilman^[28]研究指出,植物群落物种多样性受到多个资源的共同限制,在限制性资源数量减少和种群生产力增加间接对限制性资源种类改变(如从水分、养分等的限制转变为光照、热量等的限制)的共同作用下,植物群落物种多样性会下降;另外,限制性资源的外源施加量越高,物种数减少的也会越多。本试验中施肥当年的年降水量为本试验区多年平均降水量的1.4

倍,所以在施肥当年随着水分和养分共限制作用的解除,其物种多样性下降,物种数降低了 50%;同时,50 g/m²的高肥处理下物种丰富度和多度下降的也最多。

表 2 沙坡头地区 2007 年与 2008 年月降水量/mm

Table 2 The amount of monthly precipitation of shapotou area in 2007 and 2008

年份 Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计 Total
2007	1.7	1.7	18.2	9.6	17.0	71.5	31.0	30.7	67.9	21.9	0.0	0.0	271.2
2008	9.7	0.8	0.0	12.3	0.3	0.0	16.2	27.5	57.1	13.6	0.0	0.4	127.0

本试验中,荒漠区草本植物群落盖度和地上部生物量年内的变化趋势基本相似。即施肥当年,盖度和地上部生物量均随着施肥水平的提高而增加,尤其是 50 g/m²的高肥处理下二者均显著高于不施肥的对照 ($P < 0.05$),其增幅分别为 47.59% 和 360.49%。表明人工外源施加磷素会提高荒漠区草本植物的种群生产力^[13-14,25,29-31]。在施肥后第 2 年,不同磷素水平下盖度和地上部生物量的变化和不施肥的对照相比差异均不显著 ($P > 0.05$)。盖度和地上部生物量年际间的变化趋势略有不同。施肥当年的盖度要远高于施肥后第 2 年的,在 0、12.5、25 g/m² 和 50 g/m² 的施肥处理下,施肥当年的盖度分别是施肥后第 2 年的 7.25、9.53、9.19 倍和 5.63 倍。而地上部生物量仅 50 g/m² 的高肥处理下施肥当年远高于施肥后第 2 年,其值为施肥后第 2 年的 2.8 倍,其余处理下年际间的差异均较小。这是因为,在施肥当年,年降水量为 271 mm,其值为本试验区多年平均降水量的 1.4 倍(表 2),表明在水分充足的情况下,外源磷素的施加可以提高荒漠区草本植物的种群生产力。而在施肥后第 2 年,其年降水量仅为施肥当年的 50%,即在干旱的年份,水分的缺乏抑制了磷肥残效的作用,所以在施肥后第 2 年不同处理间盖度和地上部生物量的变化均不显著 ($P > 0.05$)。荒漠区草本植物种群生产力对不同水肥耦合模式的响应表明,在湿润的年份,养分为限制性因子,人工外源施加肥料可使水、肥产生共促进作用;而在干旱的年份,水分的缺乏限制了养分的作用,水、肥可共为限制性因子。荒漠区草本植物种群生产力年际间的变化充分证明了水分对荒漠区草本植物生长的重要性^[32-33],在干旱的年份,水分缺乏的荒漠区土壤中磷主要以 Ca—P 结合的方式存在,其大大降低了外源投加磷素的植物有效性。本试验的研究结果也表明,50 g/m² 的施磷处理有助于提高荒漠区草本植物的种群生产力。

在石灰性土壤上,P 通常是和 Ca、Mg 结合形成磷酸盐,其在土壤中的流动性较差,植物有效性也较低^[34]。因此,在磷素低下的荒漠区土壤上,植物根系对土壤低磷的响应表现为根冠比的提高、局部根系大量生长形成养分斑块、根毛生长增多、排根的形成、根际质子、磷酸酶及特异性有机物等分泌物的增多、诱导磷转运基因蛋白的表达和菌根侵染的增加^[35-37]。而当土壤中磷素增加后,受植物体内磷含量的调控,植物会降低其地下部生物量,以减少庞大根系带来的碳损耗^[35]。本试验的结果也证实这一结论,无论是浅根还是深根,在施肥后第 2 年的测定中都表现为施肥的处理地下部生物量要低于不施肥的对照。

荒漠区优势种草本植物高生长对人工施加磷素的响应表明,除茵陈蒿外,其余 3 种优势种植物无芒隐子草、多根葱和锋芒草在不同的水肥耦合模式下,其株高在施肥当年明显大于施肥后第 2 年。这是因为施肥当年水肥充足,1 年生和 2 年生草本植物会充分利用有利的资源迅速生长,通过增加茎节数以增加茎节长度,占据群落空间,获取更多的光照资源,从而积累更多的干物质^[38]。可见,在水肥充足的情况下,荒漠区草本植物主要会以光竞争来保证自身更好的生长^[39]。另外,草本层片优势种高生长对不同水肥耦合模式响应的差异可能也与荒漠区草本植物本身固有的生物学特性有关。

4 结论

(1) 外源磷素的施加会导致荒漠区草本植物群落物种丰富度和多度的降低,在水肥充足的年份,即施肥当年,随着磷素施加水平的提高,其降幅越大,表明磷素的施加会降低荒漠区草本植物群落的物种多样性。

(2) 荒漠区草本植物群落盖度和地上部生物量在水肥充足的年份随着外源磷素施加水平的提高而增大,50 g/m² 的高肥处理下二者均显著高于不施肥的对照 ($P < 0.05$),表明磷素的施加会提高荒漠区草本植物的种群生产力。

(3) 在干旱的年份,即施肥后第 2 年,不同磷素水平下荒漠区草本植物群落物种多样性和种群生产力和对照相比差异均不显著($P > 0.05$),表明水分的缺乏会抑制磷肥残效的作用。

(4) 荒漠区草本植物优势种高生长对外源投加磷素的响应存在种间差异,这可能与物种间生物学特性的差异有关。

(5) 水肥耦合更有利于荒漠区草本植物的生长,其更有助于提高荒漠区草本植物的种群生产力。

References:

- [1] Rong Y P, Han J G, Wang P. Effect of different range restorations on soil and vegetation of Russian wildrye (*Psathyrostachys juncea*) pasture. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(1): 17-23.
- [2] Austin A T, Yahdjian L, Stark J M, Belnap J, Porporato A, Norton U, Ravetta D A, Schaeffer S M. Water pulses and biochemical cycle in arid and semiarid Ecosystems. *Oecologia*, 2004, 141(2): 221-235.
- [3] Harpole W S, Potts D L, Suding K N. Ecosystem responses to water and nitrogen amendment in a California grassland. *Global Change Biology*, 2007, 13(11): 2341-2348.
- [4] Wesche K, Ronnenberg K. Effects of NPK fertilisation in arid southern Mongolian desert steppes. *Plant Ecology*, 2010, 207(1): 93-105.
- [5] Boyer K E, Zedler J B. Effects of nitrogen addition on the vertical structure of a constructed cordgrass marsh. *Ecological Applications*, 1998, 8(3): 692-705.
- [6] Boyer K E, Zedler J B. Nitrogen addition could shift plant community composition in a restored California salt marsh. *Restoration Ecology*, 1999, 7(1): 74-85.
- [7] Liu J Z, Li Z S, Li J Y. Utilization of plant potentialities to enhance the bio-efficiency of phosphorus in soil. *Eco-Agriculture Research*, 1994, 2(1): 16-23.
- [8] Shen S M, Lian H Z, Zhang L, Yu W T. A long-term field trial on residual effect of phosphorus and on the use of recycled nutrients in a farming system. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(4): 339-344.
- [9] Gough L, Osenberg C W, Gross K L, Collins S L. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oikos*, 2000, 89(3): 428-439.
- [10] Goldberg D E, Miller T E. Effects of different resource additions on species diversity in an annual plant community. *Ecology*, 1990, 71(1): 213-225.
- [11] Theodose T A, Bowman W D. Nutrient availability, plant abundance, and species diversity in two alpine tundra communities. *Ecology*, 1997, 78(6): 1861-1872.
- [12] Hejman M, Klaudivová M, Schellberg J, Honsová D. The rengen grassland experiment: plant species composition after 64 years of fertilizer application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 122(2): 259-266.
- [13] Zheng H P, Chen Z X, Wang S R, Niu J Y. Effect of fertilizer on plant diversity and productivity of desertified alpine grassland at Maqu, Gansu. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(5): 34-39.
- [14] Ma T, Wu G L, He Y L, Wen S J, He J L, Liu J X, Du G Z. The effect of simulated mowing of the fertilizing level on community production and compensatory responses on the Qinghai-Tibetan. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2288-2293.
- [15] Ippolito J A, Blecker S W, Freeman C L, McCulley R L, Blair J M, Kelly E F. Phosphorus biogeochemistry across a precipitation gradient in grasslands of central North America. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(8): 954-961.
- [16] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33: 1441-1450.
- [17] Drenovsky R E, Richards J H. Critical N:P values: predicting nutrient deficiencies in desert shrublands. *Plant and Soil*, 2004, 259(1/2): 59-69.
- [18] Tyler G. Phosphorus fractions in grassland soils. *Chemosphere*, 2002, 48(3): 343-349.
- [19] Carreira J A, Viñeña B, Lajtha K. Secondary CaCO_3 and precipitation of P-Ca compounds control the retention of soil P in arid ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64(3): 460-473.
- [20] Chadwick O A, Kelly E F, Hotchkiss S C, Vitousek P M. Precontact vegetation and soil nutrient status in the shadow of Kohala Volcano, Hawaii. *Geomorphology*, 2007, 89(1/2): 70-83.
- [21] Li X R. Influence of variation of soil spatial heterogeneity on vegetation restoration. *Science in China Ser D (Earth Sciences)*, 2005, 35(4): 361-370.
- [22] Tilman D. Species richness of experimental productivity gradients: how important is colonization limitation?. *Ecology*, 1993, 74(8): 2179-2191.
- [23] Foster B L, Gross K L. Species richness in a successional grassland: effects of nitrogen enrichment and plant litter. *Ecology*, 1998, 79(8): 2593-2602.
- [24] Chen Y M, Li Z Z, Du G Z. Effects of fertilization on plant diversity and economic herbage groups in alpine meadow. *Acta Bot Boreal-Occident Sinica*, 2004, 24(3): 424-429.

- [25] Qiu B, Luo Y J, Du G Z. The effect of fertilizer gradients on vegetation characteristics in alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(6): 65-68.
- [26] Tilman D, Pacala S. The maintenance of species richness in plant communities//Cadle J E, Ricklefs R E, Schluter D, eds. *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. Chicago: University of Chicago Press, 1993: 13-25.
- [27] Qi F L, Wang W C, Yuan Y J, Cao J G, Jing S Z. Effect of chemical fertilizer application on sandy grassland of low productivity. *Grassland of China*, 1998, (1): 24-28.
- [28] Harpole W S, Tilman D. Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. *Nature*, 2007, 446(7137): 791-793.
- [29] Ji Y J. Primary study on fertilizer application to alpine rangeland in Qinghai, China. *Pratacultural Science*, 2002, 19(5): 14-18.
- [30] Kou M K, Wang A L, Zhang S C, Miao J X, Kang X F. Study on the effects of different fertilizer treatments on mixed grassland yield in Luqu, Gannan Autonomous Region. *Pratacultural Science*, 2003, 20(4): 14-15.
- [31] Qiu B, Luo Y J. Effect of fertilizer gradients on productivity and species diversity in a degraded alpine meadow. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2004, 40(3): 56-59.
- [32] Li X R, Ma F Y, Long L Q, Jia X H. Soil water dynamics under sand-fixing vegetation in Shapotou area. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(3): 217-222.
- [33] Wang X P, Zhang Z S, Zhang J G, Li X R, Pan Y X, Kang R S. Review to researches on desert vegetation influencing soil hydrological processes. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(2): 196-201.
- [34] López-Bucio J, Hernández-Abreu E, Sánchez-Calderón L, Nieto-Jacobo M F, Simpson J, Herrera-Estrella L. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. *Plant Physiology*, 2002, 129(1): 244-256.
- [35] Jungk A. Root hairs and the acquisition of plant nutrients from soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2001, 164(2): 121-129.
- [36] López-Bucio J, Cruz-Ramírez A, Herrera-Estrella L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 2003, 6(3): 280-287.
- [37] Walker T S, Bais H P, Grotewold E, Vivanco J M. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiology*, 2003, 132(1): 44-51.
- [38] He D, Li X L, He F, Wan L Q, Li C R. Effect of nitrogen fertilizer on the characteristics of *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. individual plant and population. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(4): 515-519.
- [39] Donald C M. The interaction of competition for light and nutrients. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1958, 9(4): 421-435.

参考文献:

- [1] 戎郁萍, 韩建国, 王培. 不同草地恢复方式对新麦草草地土壤和植被的影响. *草业学报*, 2002, 11(1): 17-23.
- [7] 刘建中, 李振声, 李继云. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性. *生态农业研究*, 1994, 2(1): 16-23.
- [8] 沈善敏, 廉鸿志, 张璐, 宇万太. 磷肥残效及农业系统养分循环再利用中长期试验. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(4): 339-344.
- [13] 郑华平, 陈子萱, 王生荣, 牛俊义. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响. *草业学报*, 2007, 16(5): 34-39.
- [14] 马涛, 武高林, 何彦龙, 文淑均, 何俊龄, 刘锦霞, 杜国祯. 青藏高原东部高寒草甸群落生物量和补偿能力对施肥与刈割的响应. *生态学报*, 2007, 27(6): 2288-2293.
- [21] 李新荣. 干旱沙区土壤空间异质性变化对植被恢复的影响. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 2005, 35(4): 361-370.
- [24] 陈亚明, 李自珍, 杜国祯. 施肥对高寒草甸植物多样性和经济类群的影响. *西北植物学报*, 2004, 24(3): 424-429.
- [25] 邱波, 罗燕江, 杜国祯. 施肥梯度对甘南高寒草甸植被特征的影响. *草业学报*, 2004, 13(6): 65-68.
- [27] 齐凤林, 王文成, 袁勇军, 曹建国, 景淑珍. 沙地低产草地施肥试验研究. *中国草地*, 1998, (1): 24-28.
- [29] 纪亚君. 青海高寒草地施肥的研究概况. *草业科学*, 2002, 19(5): 14-18.
- [30] 寇明科, 王安碌, 张生臻, 苗建勋, 康秀芬. 不同施肥处理对提高高寒人工混播草地产草量的试验研究. *草业科学*, 2003, 20(4): 14-15.
- [31] 邱波, 罗燕江. 不同施肥梯度对甘南退化高寒草甸生产力和物种多样性的影响. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(3): 56-59.
- [32] 李新荣, 马风云, 龙利群, 贾晓红. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究. *中国沙漠*, 2001, 21(3): 217-222.
- [33] 王新平, 张志山, 张景光, 李新荣, 潘颜霞, 康尔泗. 荒漠植被影响土壤水文过程研究述评. *中国沙漠*, 2005, 25(2): 196-201.
- [38] 何丹, 李向林, 何峰, 万里强, 李春荣. 施用氮肥对羊草个体和种群特征的影响. *草地学报*, 2009, 17(4): 515-519.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tielang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《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 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 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:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元