

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

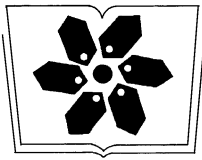
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

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 31 卷 第 19 期

2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

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

乔振江,蔡昆争,骆世明. 低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响. 生态学报, 2011, 31(19): 5578-5587.

Qiao Z J, Cai K Z, Luo S M. Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5578-5587.

低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累 及磷效率的影响

乔振江, 蔡昆争*, 骆世明*

(华南农业大学 农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642)

摘要:土壤缺磷和季节性干旱已经成为南方酸性红壤地区大豆生产的主要限制因素之一。选取 2 个大豆品种巴西 10 号(磷高效)和本地 2 号(磷低效),研究其在不同磷素(0, 15, 30 mg/kg P)和水分处理(分别在开花期和结荚期进行干旱胁迫)下的反应,从植株生物量、叶绿素含量、磷效率指标等方面研究不同基因型大豆对水磷耦合胁迫的适应机制。研究表明,随着土壤磷素水平的增加,两个品种的生物量和叶片叶绿素含量显著增加,根冠比则显著下降。在同一磷素水平处理下,干旱胁迫则导致较高的根冠比,对叶片叶绿素含量影响不大,两个品种表现一致。两个基因型大豆受到干旱胁迫后,其产量均显著低于正常水分处理。中等施磷能显著提高两个大豆品种的产量,但高磷处理对产量的增加幅度有限,甚至高磷处理还造成本地 2 号减产。巴西 10 号的产量随土壤中磷素的增加而增加,而本地 2 号的产量则为中磷>高磷>低磷,不管是磷处理还是水分处理,巴西 10 号的产量均高于本地 2 号。无论是花期干旱还是结荚期干旱,巴西 10 号和本地 2 号的根磷效率比、磷吸收效率及磷转移效率均随土壤磷浓度的增加而增加,磷利用效率则降低。总体上来讲,巴西 10 号的磷吸收效率和利用效率高于本地 2 号,而根磷效率比、磷转移效率则小于本地 2 号。

关键词:大豆;低磷;干旱胁迫;干物质;磷效率

Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants

QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng*, LUO Shiming*

Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: Low soil phosphorus (P) availability and seasonal drought were the main limiting factors for soybean production in acid red soils of South China. Improving and screening P-efficient genotypes of soybean germplasm which could better adapt to low P soils and drought climate was one of the efficient approaches to increasing soybean yields. Pot experiment with P-efficient (BX10) and P-inefficient (BD2) soybean genotypes was conducted to investigate the effects of P application and water deficit on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants. Three rates of P application were P_0 : 0, P_1 : 15, P_2 : 30 mg/kg soil, respectively. The two soil moisture treatments were 70%—80% of field water capacity (FWC) as control and 30%—40% of FWC as drought stress at flowering and pod-setting stages respectively. The results showed that plant biomass and leaf chlorophyll content were increased, while root/shoot ratio of the two soybean varieties were decreased when soil available P increased; Drought stress increased root/shoot ratio of BX10 and BD2 at flowering and pod-setting stages under the same P application rate, but no significant effects were found on leaf chlorophyll content. Drought stress resulted in significant decrease of yield for both two varieties. Soybean yields in low P soils are significantly affected by medium P application (P_1 treatment), but much less and even negatively by high P

基金项目:美国 McKnight 基金资助项目

收稿日期:2011-06-21; 修订日期:2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kzcai@scau.edu.cn; smluo@scau.edu.cn

application (P_2 treatment). The yield of BX10 was increased when soil available P increased, but the yields for BD2 in different P application rates were in the order: $P_1 > P_2 > P_0$. BX 10 had higher yield than BD2 under all phosphorus and water treatments. Whatever drought stress in flowering or pod-setting stage, root phosphorus efficiency ratio, P uptake efficiency and P transfer efficiency of plant were increased when available soil P increased, in contrast, P utilization efficiency was decreased with the increase of P application level. In total, BX10 had higher level in P absorption efficiency and utilization efficiency, while relatively lower level in root P efficiency ratio and P transfer efficiency than BD2.

Key Words: soybean; low phosphorus; drought stress; dry matter; P efficiency

磷是植物生长发育所必需的大量营养元素之一,参与植物体内许多重要化合物的组成及多种营养代谢。我国南方大部分土壤为酸性红壤和赤红壤,土壤缺磷是限制作物产量提高的重要因素之一。目前,在我国磷肥的当季利用率仅 15%^[1-2]。选育磷高效基因型,充分利用作物自身的抗逆能力,提高作物养分效率是解决作物缺磷的重要途径^[3-4]。

磷的有效性与土壤的水分条件关系密切。一方面水分影响磷素营养在土壤中的运动和植物对磷素的吸收、利用和分配;另一方面适量的磷素营养水平能够在一定程度上提高植物对干旱的适应性及其水分利用效率,提高作物的产量,达到“以肥调水”的目的^[5-6]。张士功等^[7]研究发现,低磷胁迫显著抑制小麦的生长发育,降低其生物产量和经济产量,不耐低磷品种受影响的程度要大于耐低磷品种;同时干旱能够加剧低磷的胁迫效应,表现出明显的胁迫叠加现象。Flavio^[8]和 Jin 等^[9]的研究表明,增加磷肥在干旱年份能提高大豆的抗旱性,减少产量。另有研究发现,干旱胁迫下,磷素能有效地增加根系的生长及植株的干物质积累,增强 SOD、POD 与 CAT 活性,减少 MDA 积累^[10]。磷高效大豆品种以较高的根系活力来抑制和减少低磷和干旱胁迫所造成的不利影响,从而来提高磷素营养和水分利用效率^[11]。本研究选择不同磷效率基因型大豆品种进行试验,研究低磷和干旱双重胁迫对其生物量、叶片叶绿素含量和植株磷效率的影响,揭示不同磷效率基因型大豆在水磷耦合胁迫下的应对机制,从而为生产栽培和育种提供理论和实践参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料包括 2 个不同来源的基因型。品种 1 是在前人研究的基础上采用的 1 个磷高效率基因型即巴西 10 号(BX10);品种 2 采用博罗试验田当地普遍栽培的 1 个磷低效率基因型即本地 2 号(BD2)。

1.2 试验土壤

试验土壤采自广东省博罗县杨村镇农场耕型赤红壤,母岩为玄武岩,属典型的华南低磷土壤。土壤材料皆为表层土壤。土壤主要理化性质如下:土壤 pH 值为 5.8,土壤有机质含量为 9.98 g/kg,全氮、全磷和全钾分别为 0.99,0.44 g/kg 和 9.42 g/kg,碱解氮、速效磷和速效钾分别为 71.55,1.78,81.57 mg/kg。整个试验在华南农业大学跃进北农学院农场网室种植。

1.3 试验设计

采用盆栽试验,塑料盆直径为 15 cm,高 20 cm,每盆装土 10 kg。设低磷、中磷和高磷 3 种供磷水平和干旱与正常水分处理 2 个水分水平,干旱胁迫分别设开花期和结荚期两个生育时期进行处理,每个处理设 4 个重复。3 个供磷水平为:低磷(P_0),不施磷;中磷(P_1),15 mg/kg 土;高磷(P_2),30 mg/kg 土。对于施肥所额外带来的 K,用 KCl(分析纯)对 P_1 和 P_0 进行补充。播种前 3 d,向塑料盆中浇透水,播种时,每盆直播 6 粒灭菌后预培养至胚根露白的大豆种子,出苗 10 d 后间苗,每盆留下大小均匀的 3 株大豆植株。

(1)花期干旱处理 由于两个品种的生育期不一致,因此开花期干旱处理的时间也有差异。巴西 10 号在 2006 年 9 月 25 日到 2006 年 10 月 19 日进行干旱处理;本地 2 号从 2006 年 9 月 25 日到 10 月 14 日进行干旱处理,每个磷水平分正常水分处理(W)和干旱处理(D)。其中正常处理的土壤含水量保持在 70%—80%,干旱处理土壤含水量保持在 35%—45%,用称重法控制土壤的含水量,浇水时间一般为每天 8:00 前或 18:00

后。在干旱处理结束后取样测定植株根系、地上部和总的生物量及植株的全磷含量。

(2) 结荚期干旱处理 巴西 10 号干旱胁迫时间为 2007 年 8 月 3 日到 10 月 1 日,本地 2 号低磷水平下干旱时间为 2007 年 7 月 23 日到 9 月 1 日。干旱结束后取样测定植株根系、地上部和总的生物量及植株的全磷含量。

1.4 测定指标及方法

(1) 生物量

植株地上部和地下部分别进行收获,地上部收获后直接在 105 °C 下杀青 2 h,然后于 75 °C 下烘干称重,烘干后把茎、叶、豆、荚分开称重。地下部样品用水洗干净后除去根瘤菌先用根系扫描仪扫描统计根系性状以后再与根瘤菌一起在 75 °C 下烘干称重。

(2) 叶绿素含量

采用 SPAD-502 型叶绿素计直接测定。测量时选取每株大豆植株顶端完全展开的功能叶,把测量计夹在叶片上,按下“Read”键,听到“嘀”声即可读数,所得为 SPAD 值(绿色度),其与叶片的叶绿素含量成正相关,得出植株叶绿素含量。

(3) 植株(根系、地上部和籽粒)磷含量

参照有关文献^[2]的方法,植株样品分根、茎、叶、豆、荚测定。测定时,称取 0.05 g 粉碎过的样品放入瓷坩埚,在瓷坩埚底用铅笔写标号,每个样品中加入 0.1 mL 醋酸镁溶液,在电炉上碳化成白色后放入马福炉中灰化,500 °C 灰化 2 h,在灰化后的样品中加入 10 mL 100 mmol/L HCl,摇匀后静置浸提 12 h。取静置后的上清液 1 mL 加入 2.5 mL 显色剂,用双蒸水定容至 25 mL,显色 30 min,700 nm 比色。

(4) 植株磷吸收效率

植株吸磷量是指植物在一定介质有效磷浓度下吸收的总磷量,反映了植株对介质中磷的吸收能力。一般植株磷吸收效率可以用单位植株干重的全磷含量(即吸磷量)表示^[13]:

$$\text{植株磷吸收效率}(\text{mg/株}) = \text{磷浓度}(\text{mg/g}) \times \text{植株干物重}(\text{g/株})$$

(5) 植株磷利用效率

植株磷利用效率是指植株体内单位磷所生产的生物量:

$$\text{植株磷利用效率}(\text{g/mg}) = \text{植株干物重}(\text{g}) / \text{吸磷量}(\text{mg})$$

(6) 植株磷根效率比

植株磷根效率比是指单位根系干重所产生的地上部磷含量:

$$\text{磷根效率比}(\text{mg/g}) = \text{地上部吸磷量}(\text{mg}) / \text{单位根重}(\text{g})$$

(7) 植株磷转移效率

植株磷转移效率反映了植株将根部吸收的磷运输到地上部的能力:

$$\text{植株磷转移效率}(\%) = \text{地上部吸磷量}(\text{mg/株}) / ((\text{地上部吸磷量}(\text{mg/株}) + \text{根部吸磷量}(\text{mg/株})) \times 100\%$$

(8) 植株磷再转移效率

植株磷再转移效率反映了植株把地上部磷运输到籽粒的能力:

$$\text{植株磷再转移效率}(\%) = \text{籽粒吸磷量}(\text{mg/株}) / \text{地上部吸磷量}(\text{mg/株}) \times 100\%$$

1.5 数据统计分析方法

所用数据均用 Excel 录入数据、制作图表和计算,以 SPSS13.0 软件进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 低磷和干旱胁迫对大豆植株生物量的影响

不管是磷处理还是水分处理条件下,磷高效品种巴西 10 号的根重、地上部重、根冠比均大于磷低效品种本地 2 号(表 1,表 2)。干旱胁迫显著降低两个品种的生物量,增加根冠比。随着磷素供应的增加,植株干物质积累明显增加,而分配到根系的生物量减少,使得根冠比降低。方差分析表明,开花期干旱时,除磷素对本

地 2 号根系生物量无显著影响外,磷素和水分对两个基因型的根系干重、地上部干重、总干重和根冠比都有显著性影响,水磷交互作用对根系干重、地上部干重和总干重也有显著影响,但对根冠比没有影响(表 1)。

表 1 低磷和开花期干旱对大豆植株生物量的影响

Table 1 Effects of low phosphorus and drought at flowering stage on biomass of soybean plants

处理 Treatment	品种 Variety		根重/(g/株) Root weight	地上部重/(g/株) Shoot weight	总重/(g/株) Total weight	根冠比 Root/shoot
花期干旱 Drought at flowering	BX 10	平均 Means				
		P ₀	0.26a	0.85b	1.11b	0.31a
		P ₁	0.24b	0.99a	1.23a	0.24b
		P ₂	0.22c	0.94a	1.14ab	0.23b
		W	0.26	1.10	1.36	0.24
		D	0.22	0.75	0.96	0.28
		ANOVA				
		P	* *	* *	*	* *
		W	* *	* *	* *	*
		P×W	*	*	* *	ns
	BD 2	平均 Means				
		P ₀	0.16a	0.71c	0.88c	0.23a
		P ₁	0.15a	0.82b	0.97b	0.19b
		P ₂	0.16a	0.92a	1.08a	0.17b
		W	0.17	0.97	1.14	0.18
		D	0.14	0.67	0.82	0.22
		ANOVA				
		P	ns	* *	* *	* *
		W	*	* *	* *	* *
		P×W	*	* *	* *	ns

ns, *, * * 分别表示不显著,0.05 和 0.01 水平上显著,下表同。

表 2 低磷和结荚期干旱对大豆植株生物量的影响

Table 2 Effects of low phosphorus and drought at pod-setting stage on biomass of soybean plants

处理 Treatment	品种 Variety		根重/(g/株) Root weight	地上部重 /(g/株) Shoot weight	产量/(g/株) Yield	总重(g/株) Total weight	根冠比 Root/shoot
结荚期干旱 Drought at full pod stage	BX 10	平均 Means					
		P ₀	0.77b	3.65c	0.77c	4.42c	0.21a
		P ₁	0.88a	5.02b	1.43b	5.90b	0.18b
		P ₂	0.78b	5.72a	1.75a	6.51a	0.14c
		W	0.86	5.50	1.60	6.36	0.16
		D	0.76	4.10	1.03	4.86	0.19
		ANOVA					
		P	*	* *	* *	* *	* *
		W	* *	* *	* *	* *	*
		P×W	ns	* *	* *	* *	ns
	BD 2	平均 Means					
		P ₀	0.46a	2.77b	0.64b	3.23b	0.17a
		P ₁	0.48a	4.03a	1.08a	4.51a	0.12b
		P ₂	0.39b	3.79a	1.02a	4.18a	0.10b
		W	0.48	3.69	0.98	4.16	0.14
		D	0.41	3.37	0.85	3.78	0.12
		ANOVA					
		P	* *	* *	* *	* *	* *
		W	* *	*	* *	*	ns
		P×W	* *	ns	ns	ns	* *

结荚期干旱时,除水分对本地 2 号根冠比没有显著影响外,水分和磷素对两个基因型的根系干重、地上部干重、产量、总干重和根冠比都有显著影响(表 2)。水磷交互作用对巴西 10 号根系干重和根冠比没有影响,对地上部干重、产量和总干重则有显著差异,而水磷交互作用对本地 2 号恰好相反。

2.2 低磷和干旱胁迫处理对叶片叶绿素含量的影响

不管是正常水分还是干旱胁迫处理,随着磷素供应的增加,两个大豆品种巴西 10 号和本地 2 号的叶片叶绿素含量均显著升高,中磷和高磷处理均显著大于低磷,但中磷与高磷之间差异不大。从图中还可以看出,水分因子对叶绿素含量影响不大(图 1)。

2.3 低磷和干旱对大豆磷效率的影响

2.3.1 植株磷根效率比

植株根效率比是指单位根系干重所产生的地上部磷含量。在大豆的开花期和结荚期(图 2),两个基因型大豆不管是正常水分处理还是干旱处理,其根效率都是随着土壤中磷素的增加而增加。花期干旱处理时(图 2),巴西 10 号和本地 2 号除低磷外,两个基因型都是正常水分处理的根效率显著大于干旱处理。不管是正常水分处理还是干旱处理,巴西 10 号的根效率都要低于其对应水磷处理的本地 2 号。

结荚期干旱处理时(图 2),巴西 10 号的根磷效率在低磷和中磷水平上都是干旱处理大于正常水分处理,在高磷水平上,正常水分处理大于干旱处理,但在 3 个磷水平都没有显著差异。本地 2 号在低磷水平上,正常水分处理的根磷效率低于干旱处理,但没有显著差异,在中磷和高磷水平,正常水分处理的根磷效率显著大于干旱处理。在 3 个磷水平上,无论是正常水分处理还是干旱处理巴西 10 号的根磷效率都小于本地 2 号。

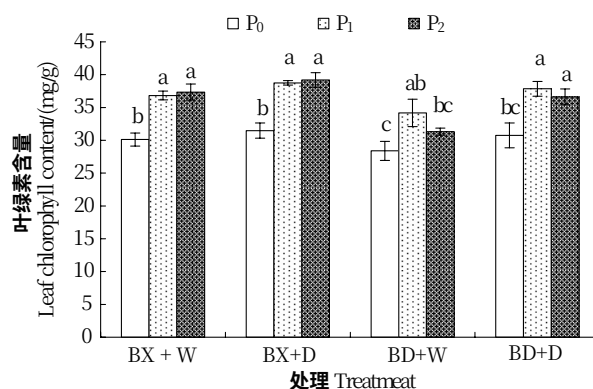


图 1 低磷和干旱对大豆叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of low phosphorus and drought on chlorophyll content of soybean leaves

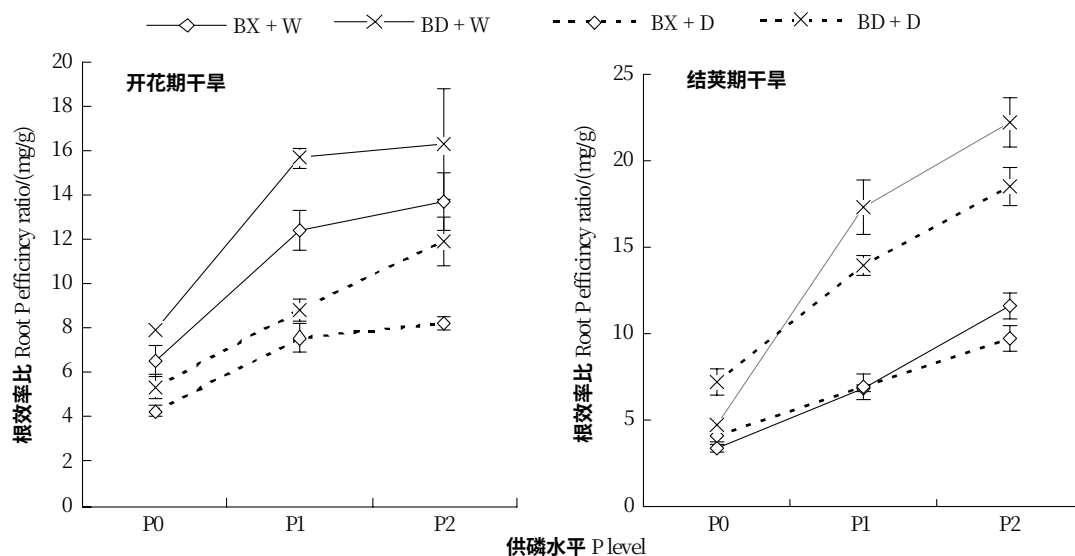


图 2 低磷和干旱对大豆植株磷根效率比的影响

Fig. 2 Effects of low phosphorus and drought on root P efficiency ratio of soybean plants

2.3.2 植株磷吸收效率

植株吸磷量是指植物在一定介质有效磷浓度下吸收的总磷量,反映了植株对介质中磷的吸收能力。一般植株磷吸收效率可以用单位植株干重的全磷含量(即吸磷量)表示^[13]。从图 3 可以看出,巴西 10 号在开花期正常水分处理的根系磷吸收效率为:中磷>高磷>低磷,三者间有显著差异;干旱胁迫后,巴西 10 号的根系磷

吸收效率随土壤磷素的增加而升高,但都显著低于正常水分处理。本地 2 号不管是正常水分处理还是干旱处理,其根系磷吸收效率都随着土壤磷素的增加而升高,受到干旱胁迫后,其根系磷吸收效率在 3 个磷水平上都显著的降低。在不同磷供应水平条件下,巴西 10 号的磷吸收效率均大于本地 2 号。

而在结荚期(图 3),巴西 10 号不管是正常水分处理还是干旱处理其磷吸收效率都是随土壤磷素的增加而升高,且在 3 个磷水平上都是正常水分处理大于干旱处理,但在低磷和中磷水平上没有显著差异。本地 2 号在正常水分处理时,根系磷吸收效率随土壤磷素的增加而升高,且在 3 个磷水平上有显著差异;受到干旱处理后,根系磷吸收效率先升后降,与正常水分处理相比,根系磷吸收效率在 3 个磷水平上都有下降,但只有高磷水平有显著差异。

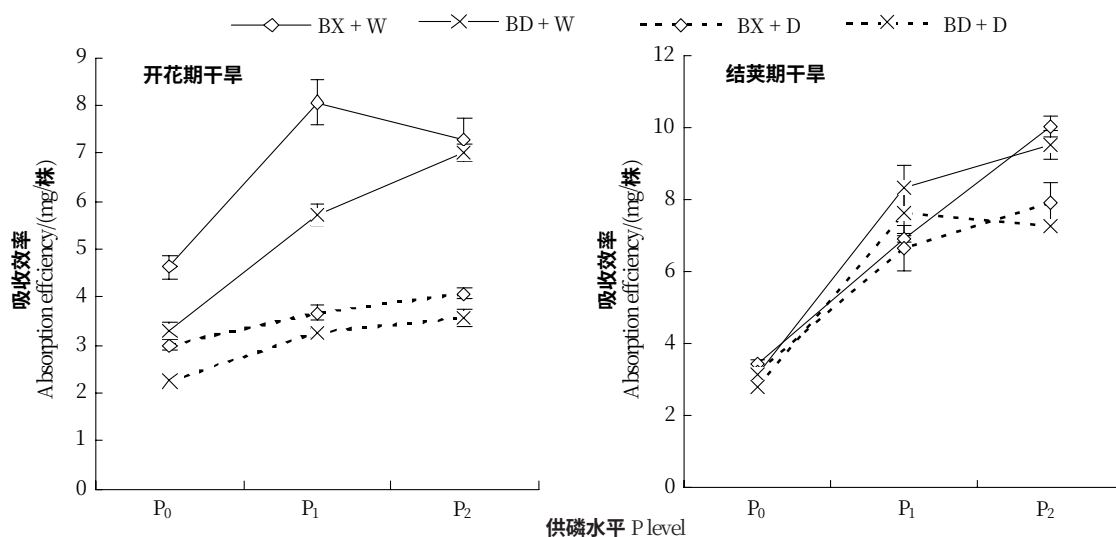


图 3 低磷和干旱对大豆植株磷吸收效率的影响

Fig. 3 Effects of low phosphorus and drought on P absorption efficiency of soybean plants

2.3.3 植株磷利用效率

植株磷利用效率是指植株体内单位磷所生产的生物量。论文中用植株单位磷所产生的平均干物质质量表示。两个基因型不管是干旱处理还是正常水分处理,磷利用效率都随着土壤中磷素的增多而降低,从低磷到中磷处理,降幅最大,且都达到了显著水平(图 4)。花期干旱处理时(图 4),巴西 10 号在 3 个磷水平上,都是干旱处理显著高于正常水分处理;本地 2 号在 3 个磷水平上,也都是干旱处理高于正常水分处理,但在高磷处理时没有显著差异。

结荚期干旱处理时(图 4),在 3 个磷水平,巴西 10 号正常水分处理的植株磷利用效率都高于干旱处理,且在低磷和中磷时有显著差异;本地 2 号在 3 个磷水平上都是干旱处理的植株磷利用效率高于正常水分处理,但都没有显著差异。巴西 10 号的植株磷利用效率不管在正常水分处理还是在干旱胁迫下,都显著高于本地 2 号。

2.3.4 植株磷转移效率

植株磷转移效率反映了植株将根部吸收的磷运输到地上部的能力。在开花期和结荚期(图 5),巴西 10 号不管是正常水分处理还是干旱处理,其植株磷转移效率都是中磷>高磷>低磷,且低磷处理显著低于中磷和高磷处理;巴西 10 号的植株磷转移效率在 3 个磷水平都是正常水分处理显著高于干旱处理。本地 2 号正常水分处理的植株磷转移效率也是中磷>高磷>低磷,且低磷处理显著低于中磷和高磷处理;受到干旱胁迫后,本地 2 号随土壤磷素的增加其植株磷转移效率有一定的升高;在 3 个磷水平上,本地 2 号正常水分处理的植株磷转移效率都要高于干旱处理,但只有中磷处理有显著差异。

结荚期干旱处理时(图 5),巴西 10 号和本地 2 号的植株磷转移效率都随着土壤磷素的增加而升高,在低

磷水平,干旱处理高于正常水分处理,在中磷和高磷水平,干旱处理低于正常水分处理;巴西 10 号在三个磷水平其植株磷转移效率都低于对应水分处理的本地 2 号。

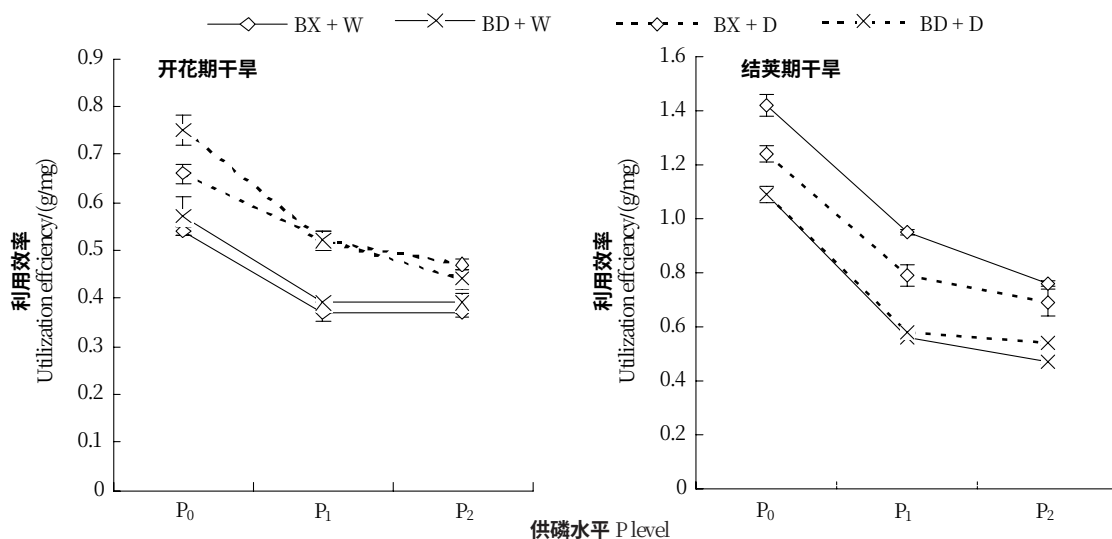


图 4 低磷和干旱对大豆植株磷利用效率的影响

Fig. 4 Effects of low phosphorus and drought on P utilization efficiency of soybean plants

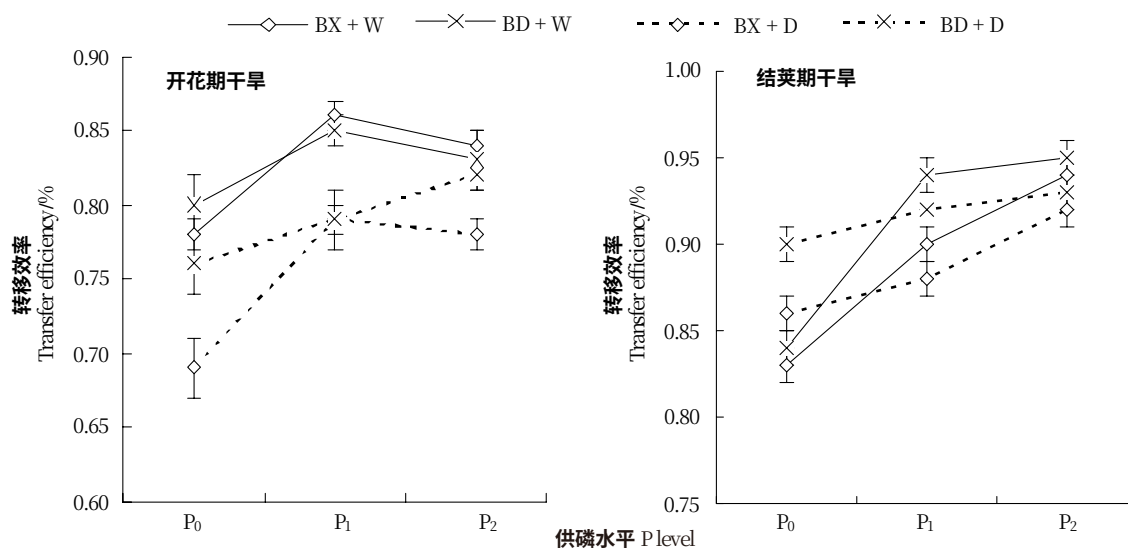


图 5 低磷和干旱对大豆植株磷转移效率的影响

Fig. 5 Effects of low phosphorus and drought on P transfer efficiency of soybean plants

2.3.5 植株磷再转移效率

结荚期干旱处理时,巴西 10 号和本地 2 号不管是干旱处理还是正常水分处理的磷再转移效率都随着土壤中磷浓度的增加而有不同程度的增加(图 6)。

巴西 10 号在低磷和中磷水平上,其正常水分处理的植株磷再转移效率高于干旱处理,高磷水平上,低于干旱处理;本地 2 号在 3 个磷水平都是正常水分处理的植株磷再转移效率高于干旱处理,在低磷水平上,有显著差异。在低、中磷处理时,巴西 10 号不管是正常浇水还是干旱处理,其磷再转移效率都要低于对应的本地 2 号,且在低磷时有显著差异。两个基因型都是在低磷受到干旱胁迫时,磷再转移效率降幅最大,其中巴西 10 号下降了 5.26%,本地 2 号下降了 13.04%。

3 讨论

土壤缺磷是华南酸性红壤、赤红壤地区豆科作物生产的主要限制因素^[14-15]。在低磷胁迫下,大豆的根系干重、冠部干重及总重明显降低,根冠比升高^[16,17]。本研究在低、中和高磷水平的不同处理的试验表明,无论从地上部及总的生物量还是产量,两个大豆基因型品种均表现出高磷、中磷>低磷的趋势(表1),中磷和高磷之间的差异则不太一致,甚至出现高磷低于中磷的情况,因此磷肥的施用并不是越多越好,合理施用磷肥才能取得较好的产量和经济效益。程凤娟等^[18]对不同大豆品种(系)在不同磷水平土壤上的施磷量及其经济效益的研究表明,施磷对低肥力土壤上大豆产量的影响较大,对中等肥力土壤影响较小,而对高肥力土壤,施磷肥

反而造成大豆减产,造成大豆对磷的“奢侈吸收。赵长海等^[19]类似的研究表明,施磷过量在适水条件下会导致植株对磷素奢侈吸收,而在水分胁迫下反而降低对磷素的吸收积累。本研究还发现,与地上部相比,根系对磷的反应则不太明显,高磷处理甚至有降低两个品种根重的趋势。在不同磷水平下,磷高效基因型大豆品种(巴西10号)的生物量及产量均远远大于磷低效基因型品种(本地2号),反映了磷高效品种在生产上具有广泛的应用前景。

除了低磷外,干旱也严重影响大豆作物的生长和产量^[20],通过肥料的合理施用可以减缓干旱的负面影响^[21]。王芳等^[22]研究表明,干旱胁迫显著影响大豆的干物质累积,其中正常水分>中度水分胁迫>重度水分胁迫,且各处理间有显著性差异。Jin等^[9]和Shen等^[23]研究认为,大豆在初花期和盛荚期受到干旱胁迫后,其根系生物量,根冠比和经济产量都会显著下降,且鼓粒期比始花期更为严重,磷素可以显著改善干旱胁迫所引起的不利影响。本研究表明,在开花期和结荚期,磷素和水分对两个基因型大豆的生物量及经济产量有显著影响。受到干旱胁迫后,两个大豆品种的根系、地上部、整株生物量及产量均显著下降,而且巴西10号比本地2号下降的幅度更大,反映了磷高效品种由于较大的生物量需要消耗更多的水分,对干旱逆境反应更为敏感。而增加磷肥的水平,不仅有利于大豆抗旱,而且还可以提高其产量,其中磷高效品种(巴西10号)比磷低效品种(本地2号)增加幅度更大。因此适量增施磷肥对缓解干旱胁迫,维持作物稳产高产也有重要的意义。

植物磷效率是指磷胁迫下植物所能产生的产量(生物量或经济产量),包括磷吸收效率和利用效率两个方面^[13,24]。磷吸收效率可以用植株全磷含量表示(即吸磷量)。吸磷量可以直接反映植物吸收磷的能力,吸磷能力强的品种耐低磷能力一般也较高。磷利用效率是指植物体内单位磷所产生的植株干物质的量,磷利用效率高的品种能以最低的磷浓度进行正常的生长发育,产生一定的生物量^[13]。不同大豆品种(品系)的磷效率具有显著的差异,这与其根系特性有关^[16,25]。一般认为,磷高效基因型更能适应低磷胁迫和具有较高的耐低磷能力,这与其具有较大的根系生长量和根冠比有关,可作为磷高效育种的重要遗传资源^[6, 26-27]。本研究表明,与本地2号相比,巴西10号在低磷胁迫条件下具有较大的根系、根冠比、生物量,磷的吸收效率、利用效率也显示出较高的水平,磷肥的施用效果和增产作用也比较明显(表1,图3,图4),表现出磷高效基因型的特征。

干旱胁迫和不同磷水平对不同基因型大豆的磷效率产生明显影响。本研究表明,开花期和结荚期干旱处理后,两个大豆品种不管是正常水分处理还是干旱处理,其根效率比、吸收效率和转移效率随着土壤中磷素的增加有升高的趋势,而利用效率随土壤中磷素的增加而下降;干旱胁迫降低了两个基因型的根效率比、吸收效率和转移效率,两个基因型大豆的利用效率在花期干旱胁迫下升高,在结荚期受到干旱胁迫后,巴西10号的磷利用效率降低。因此合理培育和选用磷高效大豆品种,结合科学的水分和磷肥管理技术,提高作物对土壤

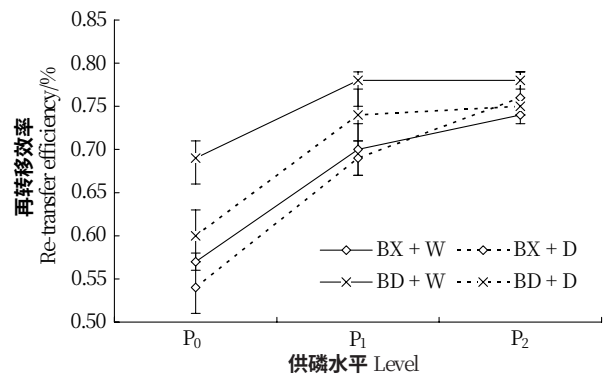


图6 低磷和干旱对大豆磷再转移效率的影响

Fig.6 Effects of low phosphorus and drought on P re-transfer efficiency of soybean plants

中水分和磷素的吸收和利用,使其更好地适应水肥耦合的胁迫环境,才能有效地提高南方酸性土壤的大豆生产。

4 结论

(1)施磷能显著改善大豆的生长状况,增加叶片叶绿素含量和植株生物量,降低根冠比。在同一磷素水平处理下,花期和结荚期干旱则会增加降低生物量和产量,增加根冠比,两个品种表现一致。巴西 10 号的产量随土壤中磷素的增加而增加,而本地 2 号的产量则为中磷>高磷>低磷,且巴西 10 号的产量显著高于本地 2 号;两个基因型大豆受到干旱胁迫后,其产量均显著低于正常水分处理。合理施肥与水分供应相配合能显著提高大豆的生物量和产量,表现出较好的水磷耦合效果,达到“以水促磷”与“以磷促水”的目的。

(2)磷素和水分对两个基因型大豆的磷吸收效率、根效率比、利用效率和转移效率都有极显著影响。磷高效品种巴西 10 号的磷吸收效率和利用效率显著大于磷低效品种本地 2 号。不同磷素供应水平对两个基因型大豆的磷吸收效率、根效率比和转移效率的影响都是高、中磷处理较高,低磷处理较低;而两个基因型的磷利用效率则随着磷素的增加而降低。干旱胁迫显著降低两个品种的磷吸收效率、根效率比和转移效率,而增加磷利用效率。水磷交互作用只对两个基因型大豆的磷吸收效率有显著影响,对磷利用效率、根效率比和转移效率没有显著影响。生产中通过品种、水分、磷肥进行协调处理,能有效地改善大豆的生长,提高大豆的磷效率,获得稳定的产量。

References:

- [1] Li S C, Bai P, Gong J. A review of the studies on the phosphate efficiency in crop. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2002, 6(3): 251-254.
- [2] Li Y L, Cui Y L, Lv G A, Liang Z C, Li Y H, Feng Y H. Phosphorus efficiency and water productivity of aerobic rice under different water regimes. *Water Saving Irrigation*, 2005, (6): 1-7.
- [3] Liu J Z, Li Y J, Li B, Yao S J, Li J Y, Li Z S. Identification of efficiently utilizing potential soil phosphorus characteristics of common wheat cultivars grown at different times. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(5): 560-565.
- [4] Yang X L, Liao H, Ge Z Y, Luo X W. Root architectural characteristics and phosphorus acquisition efficiency in plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 17(6): 511-519.
- [5] Ludlow M M, Muchow R C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 1990, 43(1): 107-153.
- [6] Raghothama K G. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1999, 50(1): 665-693.
- [7] Zhang S G, Liu G D, Dou Y Q, Liu G L. Effects of low-phosphorus and drought stresses on growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(3): 574-578.
- [8] Gutiérrez-Boem F H, Thomas G W. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans. *Plant and Soil*, 1999, 207(1): 87-96.
- [9] Jin J, Wang G H, Liu X B, Pan X W, Herbert S J, Tang C X. Interaction between phosphorus nutrition and drought on grain yield, and assimilation of phosphorus and nitrogen in two soybean cultivars differing in protein concentration in grains. *Journal of Plant Nutrition*, 2006, 29(8): 1433-1449.
- [10] Zhong P, Zhu Z L, Li Z G, Wang J L, Zhang Y L. Effects of low-phosphorus and drought stresses on protective enzyme activities of soybean. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(2): 153-155.
- [11] Zhong P, Wu J J, Liu L J, Lin W G, Dong D J, Wang J L. The couple effect of water and phosphorus on physio-biochemical characters of different genotypic soybean at seeding stage. *Soybean Science*, 2007, 26(6): 873-878.
- [12] Bao S D. *Soil Agricultural Chemical Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [13] Yan X L, Zhang F S. *Plant Nutrition Genetics*. Beijing: China Agricultural Press, 1997: 7-12.
- [14] Yan X L, Beebe S E, Lynch J P. Genetic variation for phosphorus efficiency of common bean in contrasting soil types II. Yield response. *Crop Science*, 1995, 35(4): 1094-1099.
- [15] Yan X L, Wu P, Liang H Q, Xu G H, Xu F S, Zhang Q F. Plant nutrionics in China: an overview. *Annals of Botany*, 2006, 98(3): 473-482.
- [16] Xu Q P, Luo C Y, Liao H, Yang X L, Nian H. Study on the response of soybean varieties to P deficiency. *Soybean Science*, 2003, 22(2): 108-114.
- [17] Ding Y C, Chen M C, Chen B, Li L J, Li D Y. Phosphorous uptakes and uses of different soybean varieties. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia*

- Sinica, 2005, 25(9): 1791-1797.
- [18] Cheng F X, Tu P F, Yan X L, Wang X R, Liao H. Phosphorus nutrition characters for new soybean germplasm with high phosphorus efficiency in acid red soils. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(1): 71-81.
- [19] Zhao C H, Pang H C, Li Y Y. Effect of interaction of water and phosphorus on maize growth and phosphorus accumulation in fluvo-aquic soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(1): 236-240.
- [20] Wang L, Wang P C, Zhang T, Zhang H Y, Ding S Y. Effect of short-term drought and rewatering during the pod-setting stage on leaf photosynthesis and yield of the soybean. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3328-3334.
- [21] Chu L L, Zhang Z Y. Effects of nitrogen nutrition and water stress on compensation effect of the yield of soybean. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2665-2670.
- [22] Wang F, Zhu H D, Li W. The influence of drought stress on the soybean dry substance. *Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University*, 2006, 18(2): 23-26.
- [23] Shen Z B, Qi Z Y, Jin J. Effect of phosphorus application on morphological characters of root under drought stress at different reproductive stages in soybean. *Soybean Science*, 2007, 26(4): 528-532.
- [24] Lynch J. The role of nutrient-efficient crops in modern agriculture. *Journal of Crop Production*, 1998, 1(2): 241-264.
- [25] Wang Y X, Liao H, Yan X L. Preliminary studies on the mechanisms of soybean in adaptation to low P stress. *Soybean Science*, 2003, 22(3): 208-212.
- [26] Zhao J, Fu J B, Liao H, He Y, Nian H, Hu Y M, Qiu L J, Dong Y S, Yuan X L. Characterization of root architecture in an applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(13): 1611-1620.
- [27] Liu L, Liao L, Wang X R, Yang X L. Adaptive changes of soybean genotypes with different root architectures to low phosphorus availability as related to phosphorus efficiency. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(4): 1090-1099.

参考文献:

- [1] 李绍长, 白萍, 龚江. 作物磷效率研究进展. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2002, 6(3): 251-254.
- [2] 李亚龙, 崔远来, 吕国安, 梁志宸, 李远华, 冯跃华. 不同水分条件下旱稻磷效应及水分生产率. *节水灌溉*, 2005, (6): 1-7.
- [3] 刘建中, 李玉京, 李滨, 姚树江, 李继云, 李振声. 不同生产时期小麦品种有效利用土壤潜在磷特性的鉴定. *作物学报*, 1999, 25(5): 560-565.
- [4] 严小龙, 廖红, 戈振扬, 罗锡文. 植物根构型特性与磷吸收效率. *植物学通报*, 1999, 17(6): 511-519.
- [7] 张士功, 刘国栋, 窦玉清, 刘更另. 低磷和干旱胁迫对小麦生长发育影响的研究初探. *西北植物学报*, 2002, 22(3): 574-578.
- [10] 钟鹏, 朱占林, 李志刚, 王建丽, 张玉玲. 干旱和低磷胁迫对大豆叶保护酶活性的影响. *中国农学通报*, 2005, 21(2): 153-155.
- [11] 钟鹏, 吴俊江, 刘丽君, 林蔚刚, 董德建, 王建丽. 水磷互作对不同磷效率基因型大豆苗期生理生化指标的影响. *大豆科学*, 2007, 26(6): 873-878.
- [12] 鲍士旦. *土壤农化分析(第三版)*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 严小龙, 张福锁. *植物营养遗传学*. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 7-12.
- [16] 徐青萍, 罗超云, 廖红, 严小龙, 年海. 大豆不同品种对磷胁迫反应的研究. *大豆科学*, 2003, 22(2): 108-114.
- [17] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 李丽君, 李典友. 不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究. *西北植物学报*, 2005, 25(9): 1791-1797.
- [18] 程凤娟, 涂攀峰, 严小龙, 王秀荣, 廖红. 酸性红壤中磷高效大豆新种质的磷营养特性. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 71-81.
- [19] 赵长海, 逢焕成, 李玉义. 水磷互作对潮土玉米苗期生长及磷素积累的影响. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(1): 236-240.
- [20] 王磊, 王鹏程, 张彤, 张恒月, 丁圣彦. 结荚期短期干旱和复水对大豆 (*Glycine max*) 叶片光合和产量的影响. *生态学报*, 2009, 29(6): 3328-3334.
- [21] 褚丽丽, 张忠学. 氮素营养与水分胁迫对大豆产量补偿效应的影响. *生态学报*, 2010, 30(10): 2665-2670.
- [22] 王芳, 朱洪德, 李伟. 干旱胁迫对不同大豆品系干物质积累的影响. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2006, 18(2): 23-26.
- [25] 王应祥, 廖红, 严小龙. 大豆适应低磷胁迫的机理初探. *大豆科学*, 2003, 22(3): 208-212.
- [26] 赵静, 付家兵, 廖红, 何勇, 年海, 胡月明, 邱丽娟, 董英山, 严小龙. 大豆磷效率应用核心种质的根构型性状评价. *科学通报*, 2004, 49(13): 1249-1257.
- [27] 刘灵, 廖红, 王秀荣, 严小龙. 不同根构型大豆对低磷的适应性变化及其与磷效率的关系. *中国农业科学*, 2008, 41(4): 1090-1099.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongnan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platykladus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

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