

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

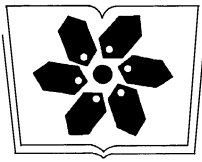
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 17 期 Vol.33 No.17 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 17 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 植物角质层蜡质的化学组成研究综述 曾 琼, 刘德春, 刘 勇 (5133)
- 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展 曹 磊, 宋金明, 李学刚, 等 (5141)

个体与基础生态

- 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等 (5153)
- 盐地碱蓬二型性种子及其幼苗对盐渍环境的适应性 刘 艳, 周家超, 张晓东, 等 (5162)
- 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应 丁 红, 张智猛, 戴良香, 等 (5169)
- 夏季苹果新梢生理指标与抗苹果绵蚜的关系 王西存, 周洪旭, 于 毅, 等 (5177)
- 花期海蓬子对盐胁迫的生理响应 刘伟成, 郑春芳, 陈 琛, 等 (5184)
- 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培 鲁 铁, 图力古尔 (5194)
- 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例
..... 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (5201)
- 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等 (5210)
- 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征 王丽芳, 王德轩, 上官周平 (5219)
- 复合不育剂 EP-1 对小鼠空间记忆与焦虑行为的影响 王晓佳, 秦婷婷, 胡 霞, 等 (5228)

种群、群落和生态系统

- 小兴安岭阔叶红松混交林林隙特征 刘少冲, 王敬华, 段文标, 等 (5234)
- 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 林 丽, 李以康, 张法伟, 等 (5245)
- 中亚热带人工针叶林生态系统碳通量拆分差异分析 黄 昆, 王绍强, 王辉民, 等 (5252)
- 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应 赵成章, 张 静, 盛亚萍 (5266)
- 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群 彭松耀, 李新正 (5274)

景观、区域和全球生态

- 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响 牟长城, 卢慧翠, 包 旭, 等 (5286)
- 西南喀斯特地区轮作旱地土壤 CO₂ 通量 房 彬, 李心清, 程建中, 等 (5299)
- 干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性
..... 姚 远, 丁建丽, 雷 磊, 等 (5308)
- 东北温带次生林和落叶松人工林土壤 CH₄ 吸收和 N₂O 排放通量 孙海龙, 张彦东, 吴世义 (5320)
- 新疆东部天山蝶类多样性及其垂直分布 张 鑫, 胡红英, 吕昭智 (5329)
- 玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系 蔡 福, 周广胜, 明惠青, 等 (5339)

天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程..... 李西良,侯向阳,丁 勇,等 (5353)

大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例..... 李 灿,张凤荣,朱泰峰,等 (5363)

资源与产业生态

基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化 陆化杰,陈新军,曹 杰 (5375)

三峡库区古夫河水质时空分异特征..... 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等 (5385)

城乡与社会生态

汉、藏、回族地区农户的环境影响——以甘肃省张掖市、甘南藏族自治州、临夏回族自治州为例.....

..... 赵雪雁,毛笑文 (5397)

研究简报

中国近海浮游动物群落结构及季节变化..... 杜明敏,刘镇盛,王春生,等 (5407)

海洋污染物对菲律宾蛤仔的免疫毒性..... 丁鉴锋,闫喜武,赵力强,等 (5419)

衰亡期沉水植物对水和沉积物磷迁移的影响..... 王立志,王国祥 (5426)

伊洛河流域外来草本植物分布格局..... 郭屹立,丁圣彦,苏 思,等 (5438)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-09



封面图说: 帽儿山次生林林相——帽儿山属于长白山山脉的张广才岭西坡,松花江南岸支流阿什河的上游,最高海拔 805m,由侏罗纪中酸性火山岩构成,是哈尔滨市附近的最高峰,因其貌似冠状而得名。东北林业大学于 1958 年在此建立了实验林场。山上生长着松树、榆树、杨树及各种灌木等,栖息着山鸡、野兔等野生动物,在茂密的草地上还生长有各种蘑菇。其地带性植被为温带针阔混交林,目前状况为天然次生林。部分地方次生林转变为落叶松人工林后,落叶松林地的凋落物层影响了林地土壤水分的格局。

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/stxb201206120843

丁红, 张智猛, 戴良香, 宋文武, 康涛, 慈敦伟. 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应. 生态学报, 2013, 33(17): 5169-5176.

Ding H, Zhang Z M, Dai L X, Song W W, Kang T, Ci D W. Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5169-5176.

不同抗旱性花生品种的根系形态发育 及其对干旱胁迫的响应

丁 红¹, 张智猛^{1,*}, 戴良香¹, 宋文武¹, 康 涛^{1,2}, 慈敦伟¹

(1. 山东省花生研究所, 青岛 266100; 2. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:为明确不同抗旱性花生品种的根系形态发育特征,探讨其根系形态发育特征对不同土壤水分状况的响应机制,在防雨棚旱池内进行土柱栽培试验,研究抗旱型品种“花育 22 号”、“唐科 8 号”和干旱敏感型品种“花育 23 号”3 个不同抗旱性花生品种根系形态发育特征及其对干旱胁迫的响应。结果表明:抗旱型品种根系较发达,具有较大的根系生物量、总根长、总根系表面积。干旱胁迫使抗旱型品种根系总表面积和体积增加,而干旱敏感型品种则相反。干旱胁迫显著增加抗旱型品种“花育 22 号”20 cm 以下土层内根长密度分布比例及根系表面积和体积,但“唐科 8 号”相应根系性状仅在 20—40 cm 土层内增加;干旱胁迫使干旱敏感型品种“花育 23 号”40 cm 以下土层内各根系性状升高,但未达显著水平且其深层土壤内各根系性状增加幅度小于“花育 22 号”。花生根系总长、总表面积及 0—20 cm 土层内根系性状与产量间呈显著或极显著正相关。土壤水分亏缺条件下,花生主要通过增加深层土壤内根长、根系表面积和体积等形态特性,优化空间分布构型,以调节植株对水分的利用。

关键词:花生;品种;抗旱性;根系形态;干旱胁迫

Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress

DING Hong¹, ZHANG Zhimeng^{1,*}, DAI Liangxiang¹, SONG Wenwu¹, KANG Tao^{1,2}, CI Dunwei¹

1 Shandong Peanut Research Institute, Qingdao, Shandong 266100, China

2 College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China

Abstract: Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is an important economic and oil crop in China, which is characteristic of drought- and infertile-tolerance. Long-term rainless or seasonal drought is an important environmental factor limiting peanut productivity and main factors affecting aflatoxin infection before peanut harvest. As the major interface between the plant and various biotic and abiotic factors in the soil environment, root tissues could produce root-to-shoot chemical signals to regulate stomatal closure and thus reduce transpiration. Root could change morphological, physiological and biochemical characteristics to adapt to different soil water environments. The plant root configuration may show significant differences under different soil moisture conditions, and thus affect the ability of plant roots to absorb nutrients and water. Researches on the relationship between root morphological development and drought tolerance under different soil moisture conditions had a very important role for better understanding peanut water absorption, transporting, utilization, loss mechanisms and for cultivating different drought tolerance peanut varieties. To clarify root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance and its function for drought resistance in peanut, the drought-resistant varieties “Huayu 22”, “Tangke 8”, and

基金项目:国家自然科学基金项目(31201171);山东省现代农业产业技术体系花生创新团队岗位专家体系项目;山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(2012BSC02014);青岛市科技支撑计划项目(11-2-3-38-nsh)

收稿日期:2012-06-12; 修订日期:2013-01-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qinhdao@126.com

drought-sensitive variety “Huayu 23” were planted in the anti-canopy tanks using the soil column under two soil water conditions: well-watered conditions and medium drought (corresponding soil water contents are respectively: 80%—85% and 45%—50% of field moisture capacity) with three replications. Roots were sampled at 68, 99 and 132 days after sowing (DAS). Root length, root surface area and volume were determined by a scanner and analyzed by WinRhizo Pro Vision 5.0a software. Pod yield was recorded at harvest. The drought coefficient (DC) was calculated as the ratio of the yield under water stress treatment to that under well-watered conditions. The result showed that drought treatment improved the root to shoot ratio of drought-resistant varieties, while the effect on drought-sensitive variety was not obvious. Drought coefficient indicated that the drought resistance ability of the three peanuts in turn was “Tangke 8”, “Huayu 22” and “Huayu 23”. The root biomass, total root length, total root surface area and volume of drought-resistant varieties were significantly higher than those of drought-sensitive variety. Correspondingly, the root system of drought-resistant varieties developed much stronger compared to drought-sensitive variety. The total root surface area and volume of drought-resistant varieties were enhanced by drought stress, while decreased in drought-sensitive variety. Drought treatment significantly improved the distribution percentage of root length density, root surface area and volume of “Huayu 22” in the soil layer below 20 cm, while these morphological characteristics in “Tangke 8” only increased in the 20—40 cm soil layer. Though not significant in statistics similar phenomena were also observed in another drought-resistant variety, “Huayu 22”. The root total length, total surface area and root traits in the 0—20 cm soil layer of peanut showed significant or very significant positive correlation with grain yield. In summary, under water-deficient condition, peanut could efficiently utilize water through increased the root length, root surface area, root volume and other morphological characteristics in the deeper soil.

Key Words: peanut (*Arachis hypogaea* L.); varieties; drought tolerance; root morphology; drought stress

我国花生集中产区主要分布于干旱、半干旱地区的古河道故道、丘陵坡地等地,干旱成为我国花生生产上分布最广、危害程度最大的限制因素之一,也是限制花生生产进一步发展必须优先解决的关键问题之一^[1]。随着水资源的日益短缺,干旱加剧,抗旱型花生品种在农业生产中的地位显得越来越重要。植物根系的形态结构是一个“感知系统”,面对各种生物因素和非生物因素的影响,表现出惊人的可塑性^[2-3]。花生根系是水分及养分吸收的主要器官,同时具有营养合成、固定支持等重要功能,与抗旱性关系非常密切。土壤水分状况对植物根系生长和形态发育有很大影响,多数研究结果认为,根系较大、根量较多、根系下扎较深的品种抗旱性强^[4-7],但因干旱胁迫时期、程度及植物种类的不同,根系生长受到抑制表现的形态性状、根系生物量、根/冠、根长、根系表面积和根系体积等的变化不一致^[8-11]。干旱胁迫使紫花苜蓿根系表面积显著增加^[8],但玉米根系表面积显著降低^[9]。花生和水稻在深层土壤中的根长密度、根干重比例和根表面积表现增加^[6,11-12],但土壤水分状况对大豆根系的垂直分布无影响^[13]。花生根系形态性状存在类型间差异,同一类型不同品种间大部分根系性状差异不显著^[14-15]。由于根土系统的非直观性和根系研究方法的局限性,以往研究主要集中在盆栽条件下干旱胁迫对苗期根系生长发育的影响,有关干旱胁迫对花生生育后期根系生长发育的研究鲜见报道。本试验采用 PVC 圆桶土柱法模拟大田环境条件,研究不同抗旱性花生品种的根系形态发育特征及其对干旱胁迫的响应,旨在为旱区花生高产栽培根系生长调控和根系育种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试品种为已通过抗旱性试验验证的抗旱型品种“花育 22 号”、“唐科 8 号”和干旱敏感型品种“花育 23 号”^[1]。

1.2 试验设计

试验于山东省花生研究所莱西试验站防雨旱棚内进行,使用 PVC 圆筒制成可拆卸的直径 40 cm、高 120 cm 的圆柱桶进行模拟大田栽培种植的土柱试验。0—20 cm 土壤容重 1.13 g/cm³, pH 值 7.6,有机质含量

16.7 g/kg、全氮 1.81 g/kg、全磷(P_2O_5)0.81 g/kg、全钾(K_2O)10.53 g/kg。

水分胁迫程度所反映的土壤含水量占田间持水量的百分数按 Hsiao 和黎裕的标准划分^[16-17]。设置 CK 正常供水(整个生育期控制土壤含水量为田间持水量的 80%—85%)和 W0 中度干旱胁迫(控制土壤含水量为田间持水量的 45%—50%)2 个水分处理。干旱胁迫处理从幼苗出土开始控水,整个生育期内持续控水。每个土柱内种植两株花生,随机排列,重复 3 次。同时设置空白试验土柱用于出苗后隔日采集土壤样品,用烘干法测定土壤含水量,计算每次的灌水量。播种及施肥等栽培管理按大田高产要求进行。5 月 11 日播种,9 月 21 日收获。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 样品采集

根据 Meisner 和 Karnok 的研究结果,花生播种后 100—110d 根系结构达到最大^[18],本试验于播种后 68d、99d 和 132d 分别进行取样。播种后 99d 根系结构与最大根系结构仅相差 1%,选取花生播种后 99d 进行分析。首先,将地上部刈割后保鲜备用;然后将土柱挖出,将 PVC 管打开后依次量取 0—20 cm、20—40 cm 和 40 cm 以下土层进行准确分割。为避免直接冲洗过程中水压过大对根系造成的破坏,将所分割土层置于特制的、孔径为 1.00 mm 的钢筛上,小心抖落根际土壤并将土层内根系拣出,先置于冰盒中,然后带回室内冲洗干净后置于冰箱中备用。

1.3.2 生物量测定

将采集的植株地上部(含果针)与根系样品先于 105 °C 下降低干旱敏感型品种杀青 30 min,再于 70 °C 下烘干至恒重。

1.3.3 根系测定

用扫描仪(型号 Epson7500,分辨率为 400 bpi)对根系进行扫描。扫描时将根放入特制的透明托盘内,并加入 3—5 mL 水以避免根系分支的互相缠绕。扫描后保存图像采用 WinRhizo Pro Vision 5.0a 分析程序对图像进行分析。

1.4 数据处理

用 Excel 2003 进行数据整理和作图,用 SAS8.0 数据分析软件进行数据分析,采用 LSD 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 水分处理对花生生物量的影响

表 1 表明,“花育 23 号”根系生物量最低,但地上部生物量显著高于“唐科 8 号”。干旱胁迫增加抗旱型品种“花育 22 号”和“唐科 8 号”的根系生物量,但干旱敏感型品种“花育 23 号”处理间无显著差异。干旱胁迫处理下,“唐科 8 号”和“花育 23 号”地上部生物量降低但未达显著水平,而“花育 22 号”呈相反趋势。根/冠比值是反应地下部和地上部生长的重要指标。与正常供水处理相比,干旱胁迫处理使抗旱型品种根/冠增

表 1 不同水分处理对花生生物量的影响

Table 1 Effect of different water treatments on peanut biomass

品种 Variety	处理 Treatment	产量 Yield /(g/株)	根系生物量 Root biomass /(g/株)	地上部生物量 Shoot biomass /(g/株)	根/冠 Root to shoot ratio	抗旱系数 Drought coefficient
花育 22 号 HY22	W0	7.28±0.21b	1.26±0.07a	11.38±0.93ab	0.11±0.02ab	0.78
	CK	9.34±0.80b	1.05±0.02c	11.18±0.49ab	0.09±0.01bc	
唐科 8 号 TK8	W0	10.43±2.18ab	1.21±0.01ab	9.79±0.60c	0.12±0.02a	0.81
	CK	12.83±0.67a	1.15±0.02b	10.55±0.14bc	0.11±0.00a	
花育 23 号 HY23	W0	3.73±0.80c	1.00±0.07c	11.24±0.46 ab	0.09±0.00c	0.42
	CK	8.87±1.27b	1.03±0.05c	12.09±0.71a	0.09±0.01c	

W0 为干旱胁迫处理;CK 为正常供水处理;同一列不同字母间表示差异显著

加,而干旱敏感型品种变化不大。无论是正常供水还是干旱胁迫处理抗旱型品种产量间无显著差异,且“唐科8号”均具最高产量,而“花育23号”干旱胁迫处理下产量显著低于正常供水处理。“花育22号”、“唐科8号”和“花育23号”3品种的抗旱系数分别为0.78、0.81和0.42,表明3品种的抗旱能力大小依次为:“唐科8号”>“花育22号”>“花育23号”。

2.2 水分处理对不同花生品种根系形态特征的影响

根长、根系表面积和体积是评价根系吸收功能最常用的指标,较长的根系、较大的根系表面积和体积有利于植物大范围的吸收土壤水分和养分。不同水分处理下抗旱型品种“花育22号”和“唐科8号”的总根长和根系表面积均大于干旱敏感型品种“花育23号”,且抗旱型品种间无显著差异。正常供水处理条件下,抗旱型品种根系体积小于干旱敏感型品种,干旱胁迫使3品种的总根长均降低,降低幅度分别为8.60%、1.88%和8.42%。干旱胁迫增加抗旱型品种“花育22号”和“唐科8号”的根系表面积和体积,降低干旱敏感型品种“花育23号”的根系表面积和体积,且“唐科8号”根系体积增加显著,而“花育23号”根系体积降低幅度达显著差异(图1)。

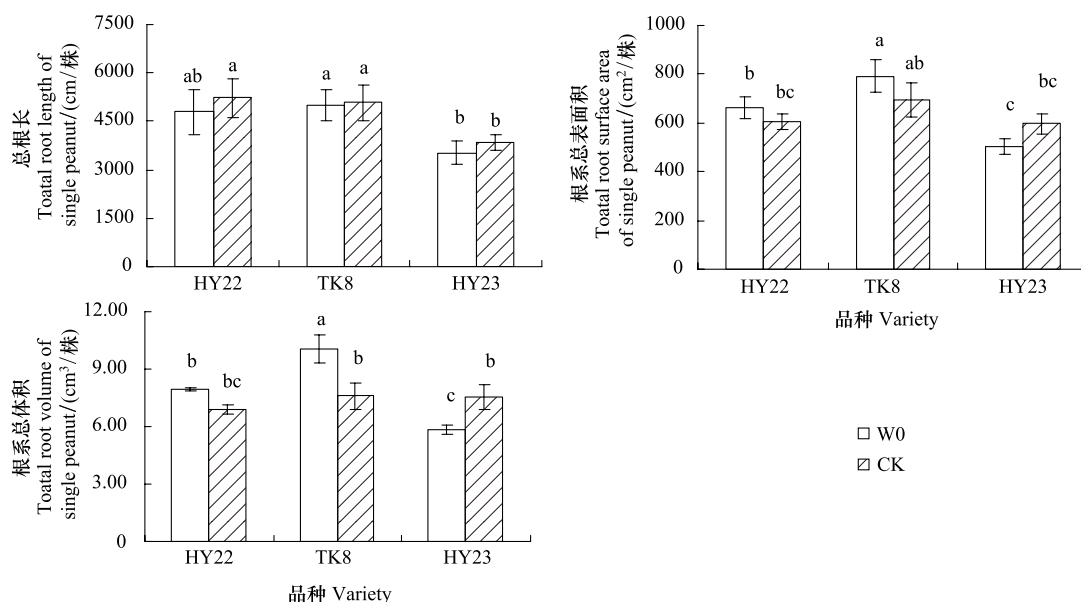


图1 不同水分处理对不同花生品种根系形态性状的影响

Fig.1 Effect of different water treatments on root morphological character in different peanut varieties

2.3 水分处理对不同花生品种根长密度分布比例的影响

根长密度作为根系研究的一个基本项目,反映了根系生长发育的状况,其分布比例影响花生对水分、矿质营养元素的吸收利用。图2表明,不同水分处理下不同花生品种根长密度均主要分布于0—40 cm土层中。干旱胁迫处理下,3个品种0—20 cm土层内根长密度分布比例分别比正常供水处理低59.90%、48.71%和34.75%。水分处理对“花育22号”和“花育23号”20—40 cm土层内根长密度分布比例无影响,但干旱胁迫处理使“唐科8号”20—40 cm土层内根长密度分布比例提高1.11倍。深层土壤内的根系状况对干旱胁迫条件下的根系吸水起着至为重要的作用,干旱胁迫处理下抗旱型品种“花育22号”和“唐科8号”40 cm以下土层内根长密度分布比例分别为正常供水处理下的3.17倍和1.31倍,干旱敏感型品种“花育23号”为1.24倍。干旱胁迫处理下抗旱型品种在20—40 cm和40 cm以下土层内根长密度分布比例增加幅度大于干旱敏感型品种,表明中下层土壤内的根长密度分布比例对于干旱胁迫下根系吸水具有非常重要的作用。

2.4 水分处理对不同花生品种根系空间分布比例的影响

表2表明,除“花育23号”干旱胁迫处理外,其他处理各土层根系生物量均随土层深度增加逐渐降低。干旱胁迫处理使3品种0—20 cm和20—40 cm土层内根系生物量均表现增加,“花育22号”、“唐科8号”和

“花育 23 号”3 品种 0—20 cm 土层 分别比正常供水处理增加 4.76%、13.64% 和 60.00%、20—40 cm 土层增加 15.38%、100% 和 100%。不同水分处理对各品种 40 cm 以下土层内根系生物量影响不同,干旱胁迫增加“花育 22 号”此层根系生物量,而“唐科 8 号”表现相反,对“花育 23 号”无明显影响。

不同品种根系表面积和体积随土层深度增加变化趋势不一致,干旱胁迫处理下,“花育 22 号”和“唐科 8 号”两品种 20—40 cm 土层内最大,正常供水处理下其随土层深度增加而降低;“花育 23 号”则无论水分胁迫与否均于 20—40 cm 土层内根系表面积和体积最大。干旱胁迫处理下,3 品种 0—20 cm 土层内根系表面积和体积均降低,“唐科 8 号”降低幅度最大,根系表面积和体积分别达 41.31% 和 31.23%。干旱胁迫处理使抗旱型品种 20—40 cm 土层内根系表面积和体积增加,对敏感型品种无显著影响。干旱胁迫处理下“花育 22 号”和“花育 23 号”40 cm 以下土层内根系表面积和体积显著增加,抗旱型品种的增加幅度分别为 88.80%、84.14%,大于干旱敏感型品种的 12.47%、18.60%。

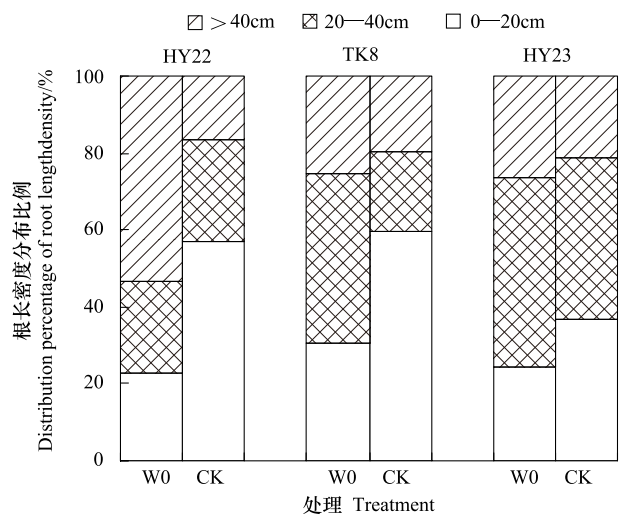


图2 不同水分处理下花生根长密度分布比例
Fig.2 Distribution percentage of root length density in different water treatments

表2 不同水分处理下不同花生品种根系空间分布的变化

Table 2 Changes of root spatial distribution of different peanut varieties under different water treatments										
品种 Variety	处理 Treatment	根系生物量 Root biomass/ (g/株)			根表面积 Root surface area/ (cm ² /株)			根体积 Root volume/ (cm ³ /株)		
		0—20 cm	20—40 cm	>40 cm	0—20 cm	20—40 cm	>40 cm	0—20 cm	20—40 cm	>40 cm
花育 22 号	W0	0.63±0.06b	0.30±0.01b	0.33±0.01a	184.20±11.53c	234.55±21.70bc	243.02±36.29a	2.46±0.08c	2.83±0.17b	2.67±0.01a
	CK	0.66±0.00b	0.26±0.04c	0.13±0.01c	276.67±5.09b	199.45±10.64cd	128.72±15.18b	3.28±0.08b	2.16±0.11c	1.45±0.18bc
唐科 8 号	W0	0.66±0.00b	0.44±0.03a	0.11±0.02c	191.92±6.17c	266.25±12.29ab	128.00±19.67b	2.62±0.01c	3.38±0.05ab	1.67±0.25b
	CK	0.75±0.03a	0.22±0.02d	0.18±0.02b	327.06±25.34a	163.42±24.36d	151.51±21.53b	3.81±0.48a	1.84±0.25d	1.71±0.23b
花育 23 号	W0	0.40±0.04c	0.46±0.01a	0.14±0.04bc	123.23±15.36d	258.05±4.73ab	123.59±13.52b	1.24±0.02d	3.09±0.02b	1.53±0.25bc
	CK	0.64±0.04b	0.23±0.01c	0.14±0.02bc	190.44±2.61c	295.38±41.31a	109.89±12.88b	2.39±0.07c	3.81±0.63a	1.29±0.16c

2.5 根系性状与产量相关性分析

由表 3 可知,总根长和根系表面积与产量间呈显著正相关,0—20 cm 土层内各根系性状均与产量间达极显著正相关水平。20—40 cm 土层内各根系性状与产量间呈负相关关系,且根长密度分布比例呈显著负相关关系。40 cm 以下土层内各根系性状与产量间均无明显相关关系,相关系数均未达显著水平。由此可知,总根长、根系表面积和 0—20 cm 土层内根系对产量形成具有非常重要的作用,耕层土壤内良好根系的培育对花生高产的提高具有重要意义。

表3 不同根系性状与产量相关系数

Table 3 The correlation coefficient of different root traits with yield								
根系性状 Root system trait	RB	TRL	TRSA	TRV	0—20cm 土层 0—20 cm soil layer			
					RB	RLD%	RSA	RV
相关系数 Correlation coefficient	-0.359	0.503 *	0.521 *	0.394	0.845 **	0.637 **	0.728 **	0.787 **
根系性状 Root system trait	RB	RLD%	RSA	RV	>40 cm 土层 Soil layer below 40 cm			
					RB	RLD%	RSA	RV
相关系数 Correlation coefficient	-0.455	-0.472 *	-0.427	-0.390	-0.204	0.339	-0.091	-0.156

RB 表示根系生物量,TRL 表示总根长,TRSA 表示根系总表面积,TRV 表示根总体积,% RLD 表示根长密度分布比例,RSA 表示根系表面积,RV 表示根体积; $r_{0.05}=0.468$, $r_{0.01}=0.590$;*,** 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平

3 结论与讨论

根系是植物吸收水分和养分的重要组织器官,其生长发育结果决定了植物吸收和传导水分、养分的能力^[19]。根系的生长具有较大的可塑性,土壤水分状况影响植物根系的形态发育、生理活性和干物质积累及分配^[8-11]。

作物不同抗旱性品种间根系形态存在差异,根系生物量、根长密度、体积、根系下扎性、不同土层中的根系分布等性状间存在明显差异^[20-24]。研究表明,抗旱性强的大豆品种和烤烟品种均具有较大的根系生物量、根系表面积和根系体积^[10, 20]。深层土壤内根系分布对于干旱胁迫下作物维持稳定的产量具有非常重要的作用。研究表明,上层根少、下层根多的小麦品种抗旱性相对较强,而上层根多、下层根少的品种则干旱敏感性较高^[4]。目前对抗旱型花生品种的鉴定主要集中于地上部形态性状和生理指标,对根系形态性状的研究较少,且仅有的研究主要集中于苗期干旱胁迫下根系的发育特征,对生育后期干旱胁迫下不同土层内的根系性状研究较少。本试验结果表明,3个抗旱能力不同的花生品种根系形态性状间存在差异。与干旱敏感型品种“花育23号”相比,抗旱型品种“花育22号”和“唐科8号”的根系相对较发达,具有更大的根系生物量、总根长和根系总表面积,且深层土壤内具有较多的根量,这与前人的研究结论一致^[4, 10, 20],表明具有较发达的根系是抗旱能力较强的的重要原因之一。深层土壤内具有较大的根系分布亦是抗旱型品种的一个重要根系形态特征。

以往研究认为,土壤含水量降低时,植物为了寻找更多的水源,由地上部向根部运输的同化物增加,加快根系生长,根/冠增大,总根长、根系表面积增加^[8, 25],但齐伟等的研究结果与此相反,干旱胁迫下不耐旱玉米根/冠升高,而耐旱玉米根/冠前期升高后期降低^[26];玉米苗期和拔节期干旱胁迫其根/冠均降低^[27];小麦苗期根长、根干重、根体积等指标明显下降^[28]。干旱胁迫使花生、水稻等作物深层土壤中的根长密度、根干重比例和根表面积增加^[6, 11],但对大豆根系的垂直分布没有影响^[13]。本试验条件下,干旱胁迫使抗旱型品种根/冠增大,而干旱敏感型品种变化不大,抗旱型品种通过增加根系生物量、根系表面积和体积等响应措施以适应土壤水分胁迫。干旱胁迫使“花育22号”、“花育23号”20 cm以下土层和“唐科8号”20—40 cm土层内的根长密度分布比例、根系生物量、根系表面积和体积等根系性状均增加,但干旱敏感型品种“花育23号”各土层内根系性状的增加幅度显著低于“花育22号”。干旱胁迫处理下,深层土壤内根系的增加、根系吸水效率提高等可能是抗旱型品种抗旱能力较强的原因。

有关作物根系生物量与产量间的相关关系研究表明,棉株根系生物量与产量间存在显著的相关关系^[29];大豆亩产200 kg以下时,0—10 cm土层的根量与产量呈显著正相关,当亩产达到200 kg以上的产量水平时,0—10 cm的表层根量与产量相关不显著^[30]。水稻成熟期0—5 cm土层的根系生物量与糙米产量的相关关系与大豆结论一致^[31],但高产栽培模式下水稻产量与单茎根系总长、根系生物量、根系吸收总表面积以及5—10 cm、10—15 cm和15 cm以下土层根系干重占根系总干重的比例呈显著或极显著的正相关关系,而与0—5 cm土层根系干重占根系总干重的比例、极显著的负相关关系^[32]。本试验条件下,花生单株产量平均为8.74 g,理论亩产为174 kg,产量处于较低水平。在此产量水平下,总根长、根系表面积与0—20 cm土层内根系性状与产量达显著或极显著相关水平,与前人研究结果一致。高产水平下需在上层根量较多的基础上,增加根系的深度和深层土壤根系的比重,形成“宽深型”的高产根型,是花生抗旱高产的理想根型结构,也是高产水平下花生根系性状与产量间关系的研究重点。

本研究表明抗旱型花生品种根系较发达,具有较大的根系生物量、总根长、总根系表面积。干旱胁迫使抗旱型品种根系总表面积和体积增加,而干旱敏感型品种则相反。干旱胁迫能刺激不同抗旱性品种根系下扎,增加深层土壤内的根长密度分布比例、根系表面积及体积,以充分吸收利用深层土壤中的水分适应干旱胁迫。

References:

- [1] Zhang Z M, Dai L X, Ding H, Chen D X, Yang W Q, Song W W, Wan S B. Identification and evaluation of drought resistance in different peanut varieties widely grown in northern China. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(3): 495-504.

- [2] Ren Y Z, Xu Y H, Ding J P, Ma Y S, Pei D L, Li C W, Tong Y P. Regulation of abiotic factors on the plasticity of plant root development. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(9): 34-38.
- [3] de Dorlodot S, Forster B, Pagès L, Price A, Tuberosa R, Draye X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. Trends in Plant Science, 2007, 12(10): 474-481.
- [4] Blum A, Sullivan C Y. The effect of plant size on wheat response to agents of drought stress I. Root drying. Australian Journal of Plant Physiology, 1997, 24(1): 35-41.
- [5] Passioura J B. Roots and drought resistance. Agricultural Water Management, 1983, 7(1/3): 265-280.
- [6] Songsri P, Jogloy S, Vorasoot N, Akkasaeng C, Patanothai A, Holbrook C C. Root distribution of drought-resistant peanut genotypes in response to drought. Journal of Agronomy and Crop Science, 2008, 194(2): 92-103.
- [7] Matsui T, Singh B B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. Experimental Agriculture, 2003, 39(1): 29-38.
- [8] Li W R, Zhang S Q, Ding S Y, Shan L. Root morphological variation and water use in alfalfa under drought stress. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [9] Han X Y, Song F B. Effect of drought stress on root growth and rhizosphere nutrients of maize (*Zea mays* L.). Journal of Soil Water Conservation, 2006, 20(3): 170-172.
- [10] Shang X Y, Liu H B, Zhang X Q, Lin J, Duan W J, Yang T Z. Growth and physiological characteristics of roots in different flue-cured tobacco varieties under drought stress. Acta Botany Boreal-Occident Sinica, 2010, 30(2): 357-361.
- [11] Kato Y, Okami M. Root growth dynamics and stomatal behaviour of rice (*Oryza sativa* L.) grown under aerobic and flooded conditions. Field Crops Research, 2010, 117(1): 9-17.
- [12] Jongrungrklang N, Toomsana B, Vorasoot N, Jogloy S, Boote K J, Hoogenboom G, Patanothai A. Rooting traits of peanut genotypes with different yield responses to pre-flowering drought stress. Field Crops Research, 2011, 120(2): 262-270.
- [13] Benjamin J G, Nielsen D C. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Research, 2006, 97(2/3): 248-253.
- [14] Ren X P, Jiang H F, Liao B S. A primary study on root characters of different varieties in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Chinese Journal of Oil Crop Science, 2006, 28(1): 16-20.
- [15] Li S X, Feng H S, Gong Q X, Wan S B, Li H J, Wang S J. Study on root growth characteristic of different type peanut varieties. Journal of Peanut Science, 2005, 34(3): 26-29.
- [16] Hsiao T C. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology, 1973, 24(1): 519-570.
- [17] Li Y. The identification method and index for crop drought resistance. Agricultural Research in the Arid Areas, 1993, 11(1): 91-99.
- [18] Meisner C A, Karnok K J. Peanut root response to drought stress. Agronomy Journal, 1992, 84(2): 159165.
- [19] Lynch J P. Root architecture and plant productivity. Plant Physiology, 1995, 109(1): 7-13.
- [20] Hudak C M, Paterson R P. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought-resistant soybean plant introduction. Agronomy Journal, 1996, 88(3): 478-486.
- [21] Liu Y, Cai Q M. Root morphology and root traits related to drought tolerance at vegetation stage in soybean (*Glycine max* (L) Merr.). Journal of Hebei University of Engineering: Natural Science Edition, 2009, 26(3): 81-84.
- [22] Dong G C, Wang Y L, Wang J G, Shan Y H, Ma A J, Yang H J, Zhang C S, Cai H R. Study on the differences of root traits between various types of varieties in rice (*Oryza sativa* L.). Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(6): 749-755.
- [23] Yang L W, Zhang Y Q. Developing patterns of root systems of four cereal crops planted in dryland areas. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(11): 2244-2251.
- [24] Li J F, Huo H Z, Wan C Y, Chen X P, Wang Q H, Mi L. Study on root system morphology of different Chinese pear varieties. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(10): 33-35.
- [25] Smucker A J M, Aiken R M. Dynamic root responses to water deficits. Soil Science, 1992, 154(4): 281-289.
- [26] Qi W, Zhang J W, Wang K J, Liu P, Dong S T. Effects of drought stress on the grain yield and root physiological traits of maize varieties with different drought tolerance. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(1): 48-52.
- [27] Sun C X, Shen X Y. Study on the relationship between ecotype and physiological activity of roots system and drought resistance in maize. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2002, 17(3): 20-24.
- [28] Shan C J, Liang Z S. Effects of soil drought on root growth and physiological characteristics of winter wheat seedlings. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 38-41.
- [29] Li Y S, Feng L P, Guo M L, Han X X. Studies on the growth characteristics of root system and its relation with cultural practices and yield in

- cotton (*G. hirsutum* L.) II The effects of cultural practices on the growth of root system and its relation with above ground parts and yield. *Acta Gossypii Sinica*, 1992, 4(2): 59-66.
- [30] Yang F R. The effect of the high-yield comprehensive agrotechniques of dry-farming on development of soybean roots. *Soybean Science*, 1987, 6(3): 225-229.
- [31] Wang F H, Wang X Q, Liu S Y, Wang X L. Research progress on the relationship between root distribution and crop yield. *Journal of Shandong Agricultural Sciences*, 1997, (4): 48-51.
- [32] Li J, Zhang H C, Chang Y, Gong J L, Hu Y J, Long H Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Wei H Y, Gao H. Influence of planting methods on root system morphological and physiological characteristics of super rice under high-yielding cultivation condition. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(12): 2208-2220.

参考文献:

- [1] 张智猛, 戴良香, 丁红, 陈殿绪, 杨伟强, 宋文武, 万书波. 中国北方主栽花生品种抗旱性鉴定与评价. *作物学报*, 2012, 38(3): 495-504.
- [2] 任永哲, 徐艳花, 丁锦平, 马原松, 裴冬丽, 李成伟, 童依平. 非生物因素调控植物根系发育可塑性的研究进展. *中国农学通报*, 2011, 27(9): 34-38.
- [8] 李文绕, 张岁岐, 丁圣彦, 山仑. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及水分利用的关系. *生态学报*, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [9] 韩希英, 宋凤斌. 干旱胁迫对玉米根系生长及根际养分的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 170-172.
- [10] 尚小颖, 刘化冰, 张小全, 林娟, 段旺军, 杨铁钊. 干旱胁迫对不同烤烟品种根系生长和生理特性的影响. *西北植物学报*, 2010, 30(2): 357-361.
- [14] 任小平, 姜慧芳, 廖伯寿. 不同类型花生根部性状的初步研究. *中国油料作物学报*, 2006, 28(1): 16-20.
- [15] 李尚霞, 封海胜, 宫清轩, 万书波, 李华军, 王松娟. 花生不同类型品种根系生育特征研究. *花生学报*, 2005, 34(3): 26-29.
- [17] 黎裕. 作物抗旱鉴定方法与指标. *干旱地区农业研究*, 1993, 11(1): 91-99.
- [21] 刘莹, 蔡祈明. 大豆根系形态及苗期耐旱根系性状的研究. *河北工程大学学报: 自然科学版*, 2009, 26(3): 81-84.
- [22] 董桂春, 王余龙, 王坚刚, 单玉华, 马爱京, 杨洪建, 张传胜, 蔡慧荣. 不同类型水稻品种间根系性状的差异. *作物学报*, 2002, 28(6): 749-755.
- [23] 杨丽雯, 张永清. 4种旱作谷类作物根系发育规律的研究. *中国农业科学*, 2011, 44(11): 2244-2251.
- [24] 李金凤, 霍恒志, 万春燕, 陈雪平, 王全红, 糜林. 不同砂梨品种根系形态的研究. *江西农业学报*, 2010, 22(10): 33-35.
- [26] 齐伟, 张吉旺, 王空军, 刘鹏, 董树亭. 干旱胁迫对不同耐旱性玉米杂交种产量和根系生理特性的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(1): 48-52.
- [27] 孙彩霞, 沈秀璞. 玉米根系生态型及生理活性与抗旱性关系的研究. *华北农学报*, 2002, 17(3): 20-24.
- [28] 单长卷, 梁宗锁. 土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 38-41.
- [29] 李永山, 冯利平, 郭美丽, 韩学信. 棉花根系的生长特性及其与栽培措施和产量关系的研究 II 栽培措施对棉花根系生长的影响及其与地上部和产量的关系. *棉花学报*, 1992, 4(2): 59-66.
- [30] 杨方人. 旱作大豆高产综合技术对根系发育及生理功能影响的研究. *大豆科学*, 1987, 6(3): 225-229.
- [31] 王法宏, 王旭清, 刘素英, 王晓理. 根系分布与作物产量关系的研究进展. *山东农业科学*, 1997, (4): 48-51.
- [32] 李杰, 张洪程, 常勇, 龚金龙, 胡雅杰, 龙厚元, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 高辉. 高产栽培条件下种植方式对超级稻根系形态生理特征的影响. *作物学报*, 2011, 37(12): 2208-2220.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 17 Sep. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax ZENG Qiong, LIU Dechun, LIU Yong (5133)
- Research progresses in carbon budget and carbon cycle of the coastal salt marshes in China
..... CAO Lei, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (5141)

Autecology & Fundamentals

- Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils
..... ZHAO Yonggan, PANG Huancheng, LI Yuyi, et al (5153)
- Adaptations of dimorphic seeds and seedlings of *Suaeda salsa* to saline environments
..... LIU Yan, ZHOU Jiachao, ZHANG Xiaodong, et al (5162)
- Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress
..... DING Hong, ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, et al (5169)
- The relationship between physiological indexes of apple cultivars and resistance to *Eriosoma lanigerum* in summer
..... WANG Xicun, ZHOU Hongxu, YU Yi, et al (5177)
- Physiological responses of *Salicornia bigelovii* to salt stress during the flowering stage
..... LIU Weicheng, ZHENG Chunfang, CHEN Chen, et al (5184)
- Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*
..... LU Tie, BAU Tolgor (5194)
- The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an
example of slope and aspect BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (5201)
- Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy
soil LIU Xiaoqian, TU Shihua, SUN Xifa, et al (5210)
- Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat
..... WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping (5219)
- Effects of EP-1 on spatial memory and anxiety in *Mus musculus* WANG Xiaojia, QIN Tingting, HU Xia, et al (5228)

Population, Community and Ecosystem

- Gap characteristics in the mixed broad-leaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains
..... LIU Shaochong, WANG Jinghua, DUAN Wenbiao, et al (5234)
- Soil nitrogen and phosphorus stoichiometry in a degradation series of *Kobresia humilis* meadows in the Tibetan Plateau
..... LIN Li, LI Yikang, ZHANG Fawei, DU Yangong, et al (5245)
- An analysis of carbon flux partition differences of a mid-subtropical planted coniferous forest in southeastern China
..... HUANG Kun, WANG Shaoqiang, WANG Huimin, et al (5252)
- The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China
..... ZHAO Chengzhang, ZHANG Jing, SHENG Yaping (5266)
- Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan PENG Songyao, LI Xinzhen (5274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of selective cutting on vegetation carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling,
China MU Changcheng, LU Huicui, BAO Xu, et al (5286)
- CO₂ flux in the upland field with corn-rape seed rotation in the karst area of southwest China
..... FANG Bin, LI Xinqing, CHENG Jianzhong, et al (5299)
- Monitoring spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the North Tarim Basin using remote sensing and electromagn-
etic induction instruments YAO Yuan, DING Jianli, LEI Lei, et al (5308)
- Methane and nitrous oxide fluxes in temperate secondary forest and larch plantation in Northeastern China
..... SUN Hailong, ZHANG Yandong, WU Shiyi (5320)
- Butterfly diversity and vertical distribution in eastern Tianshan Mountain in Xinjiang
..... ZHANG Xin, HU Hongying, LÜ Zhaozhi (5329)

- Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors CAI Fu, ZHOU Guangsheng, MING Huiqing, et al (5339)
- The response process to extreme climate events of the household compound system in the northern slope of Tianshan Mountain LI Xiliang, HOU Xiangyang, DING Yong, et al (5353)
- Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area; a case study in Shunyi district of Beijing LI Can, ZHANG Fengrong, ZHU Taifeng, et al (5363)
- Resource and Industrial Ecology**
- CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models LU Huajie, CHEN Xinjun, CAO Jie (5375)
- Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir RAN Guihua, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (5385)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region; case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province ZHAO Xueyan, MAO Xiaowen (5397)
- Research Notes**
- The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al (5407)
- Immunotoxicity of marine pollutants on the clam *Ruditapes philippinarum* DING Jianfeng, YAN Xiwu, ZHAO Liqiang, et al (5419)
- Influence of submerged macrophytes on phosphorus transference between sediment and overlying water in decomposition period WANG Lizhi, WANG Guoxiang (5426)
- Distribution patterns of alien herbs in the Yiluo River basin GUO Yili, DING Shengyan, SU Si, et al (5438)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 张利权

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 17 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 17 (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	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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@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 90.00 元