

# 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

钟 鹏<sup>1</sup>,吴俊江<sup>1</sup>,刘丽君<sup>1</sup>,林蔚刚<sup>1</sup>,董德建<sup>1</sup>,王建丽<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院大豆研究所;2. 黑龙江省农业科学院草业研究所,哈尔滨 150086)

**摘要** 以不同磷效率基因型大豆黑河 27、黑河 29 为试验材料,通过盆栽试验,在控制水磷的条件下,研究了不同磷效率基因型大豆的细胞膜透性、丙二醛积累、保护酶活性(SOD、POD)、水分状况以及根系活力等差异。结果表明,在磷和水分供应充足的情况下,2 个基因型大豆生理活性表现极强。低磷和干旱胁迫下,黑河 27 以较高的根系活力、SOD 和 POD 酶的生理活性,大幅度降低细胞膜透性来抑制和减少低磷和干旱胁迫所造成的不利影响,从而提高磷素营养和水分利用效率,而黑河 29 主要通过增加根系面积等形态变化来适应低磷和干旱胁迫,这就决定其适应在供磷充分条件下生长。磷高效基因型改善了大豆体内水分状况,提高了大豆的耐旱能力。

**关键词** 大豆;水分胁迫;磷营养;基因型

**中图分类号** S565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)06-0873-06

## THE COUPLE EFFECT OF WATER AND PHOSPHORUS ON PHYSIO-BIOCHEMICAL CHARACTERS OF DIFFERENT GENOTYPIC SOYBEAN AT SEEDLING STAGE

ZHONG Peng<sup>1</sup>,WU Jun-jiang<sup>1</sup>,LIU Li-jun<sup>1</sup>,LIN Wei-gang<sup>1</sup>,DONG De-jian<sup>1</sup>,WANG Jian-li<sup>2</sup>

(1. Soybean Research Institute,Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences,Harbin 150086;2. Institute of Pratacultural Sciences,Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences,Harbin,150086)

**Abstract** Soybean cultivars with high phosphorus efficiency adapt to P stress environment easily. Previous studies have focused on the mechanism of soybean's adaptation to low P stress. But the coupling effect of water and phosphorus on different P efficiency genotypic soybean is less documented. Therefore,pot experiments were conducted in 2006 year,with P high efficient soybean Heihe 27 and P low efficient soybean Heihe 29 as materials,to determine the influence of water and P coupling on physio-biochemical characters of different genotypic soybean at seedling stage. Two P (applied P and without P) and four water (100%,70%,50% and 30% of the maximum field water holding capability) treatments were designed and endosmosis permeability,root active absorbing area,malondiaidehyde (MDA) content,relative conductivity,Superoxide dismutase (SOD),peroxide (POD) enzyme activity and leaf water content were determined. Physiological activities were greatly enhanced due to sufficient P and water supply for both cultivars; under P and water stress,Heihe 27 could resist the low phosphorus and drought stress by impro-

收稿日期:2007-07-05  
基金项目:黑龙江省“十一五”科技攻关项目(GA06B101-2-5,GA06B101-1-2);“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD21B01-6);黑龙江省自然科学基金(C2007-13)  
作者简介:钟鹏(1978-),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆高产栽培理论与技术研究。E-mail: zhongpengvip@163.com  
通讯作者:吴俊江,副研究员。Tel:0451-86684249;E-mail:nkywujj@126.com

ving root vigor, SOD and POD activity, reducing endosmosis permeability. While Heihe 29 only had some morphological changes such as increasing root area to adapt to low P and drought stress, which showed it could grow well under sufficient P condition. The result also suggest P high efficient soybean have better drought tolerance by ameliorating water supply status under drought stress.

**Key words** Soybean; Genotype; Water stress; P nutrition

大豆是黑龙江省种植面积最大的作物之一,而近年来受“温室效应”的影响大豆主产区已经演变成干旱或半干旱地区,水和磷资源的缺乏是这些地区大豆生产的主要限制因子,并且这种形势日益严峻。相关领域的学者已开展很多研究工作,力图挖掘抗旱和高效利用土壤磷的种质资源,通过一种安全高效的途径解决水和磷缺乏的问题<sup>[1-2]</sup>。

近年来,对大豆适应低磷胁迫的一些基本原理研究较多,而磷水互作效应对不同磷效率基因型大豆生长发育过程中生理生化指标的影响研究还甚少<sup>[3-8]</sup>。以不同磷效率基因型大豆为试验材料,研究大豆苗期对低磷和水分胁迫的反应,探讨水和磷共同作用下植株生长和体内生理生化指标的差异,以期为进一步筛选适宜在干旱半干旱地区特定生境中生产应用的大豆品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2006年3月~10月在黑龙江省农业科学院盆栽试验场进行。选用不同磷素营养效率的2个基因型大豆品种:磷高效基因型黑河27(PH)与磷低效基因型黑河29(PL)。取饱满、无病虫害的大豆种子,经0.1% HgCl<sub>2</sub>溶液消毒10 min后,用蒸馏水反复冲洗干净,在20%的PEG-6000溶液中吸胀8 h后播种。

1.2 试验设计

供试土壤取100 cm以下深层黑土+粘土,土壤含有机质5.3 g kg<sup>-1</sup>、碱解氮32.6 mg kg<sup>-1</sup>、速效磷2.3 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾45.5 mg kg<sup>-1</sup>,每盆装土14 kg。

设2个供磷水平,即施磷(+P),低磷(-P);4个水分处理:田间最大持水量(W1)、田间最大持水量的70%(W2)、50%(W3)和30%(W4)。施磷处理每盆磷酸二铵4.56 g,尿素1.52 g,硫酸钾1.60 g,低磷处理施入尿素1.52 g,硫酸钾1.60 g,不施磷肥。肥料分底肥和追肥两次施入,底肥施入总施肥量的2/3,追肥施入总施肥量的1/3。采用随机区组

排列,3次重复。2006年5月1日播种,在适宜水分下大豆出苗后开始水分处理,每天称重控制水分,出苗后30 d取样。

1.3 测定内容及方法

根系活力:TTC还原法;细胞膜透性:电导仪法,用DDS-307电导率仪测定电导率,经换算获得细胞膜透性指标;丙二醛(MDA)含量:用硫代巴比妥(TBA)提取法;SOD活性测定:参照Heath和Bewley抑制NBT光化还原法<sup>[9-11]</sup>。

2 结果与分析

2.1 大豆根系总面积的变化

根系总面积是反映根系吸收能力和吸收面积大小的重要指标。对2种基因型大豆在不同水分条件下培养30 d后的根系总面积进行定量分析(图1)表明,在充足磷和水条件下,2基因型大豆根系总面积几乎没有差异,而低磷胁迫能促使大豆根系总吸收面积增加,-PH与+PH比较,增加了26.03%,达到了极显著水平。-PL与+PL比较,增加了9.98%,变化不显著。这种现象是低磷处理下大豆根系生长速度加快,促进了主根和一级侧根的发育。在相同条件下进行干旱处理,根系总吸收面积有明显降低的趋势,但+PH与-PH处理比较,根系总吸收面积下降的幅度不明显,差异依然达显著水平;而+PL与-PL处理比较,根系总面积下降的幅度显著,并且产生+PL>-PL的趋势。由此表明,低磷和干旱胁迫能加重植物根系的伤害,磷高效基因型能有效利用本身限有的磷素来缓解受害程度,而磷低效基因型的这种能力较差,所以受伤害的程度较大。

2.2 大豆根系活跃吸收面积的变化

根系活跃吸收面积也是反映根系吸收效率的重要指标。如图2所示,+PH与+PL比较,根系活跃吸收面积有明显差异。低磷胁迫能促使大豆根系活跃吸收面积增加,-PH与+PH比较,增加了27.43%,达极显著水平;-PL与+PL比较,增加了13.

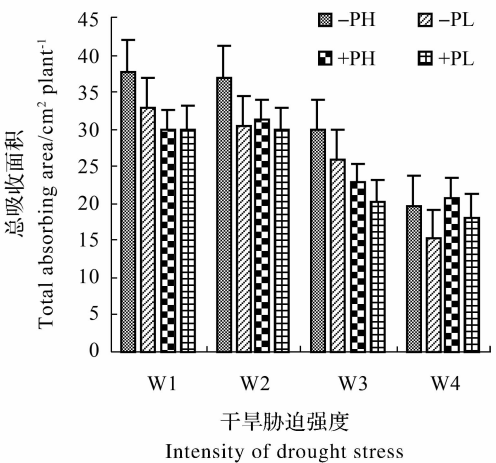


图1 不同干旱胁迫下根系总面积变化  
Fig.1 Change of total root area under different drought treatment

64%,呈显著水平;在相同条件下进行干旱处理,活跃吸收面积的变化规律与总吸收面积相似。随着干旱强度的增加,根系的活跃吸收面积逐渐降低,但磷低效基因型降低的幅度较大。因此,根系的活跃吸收面积随着胁迫程度的加强而降低,这种变化很可能与根系的能量代谢有关。

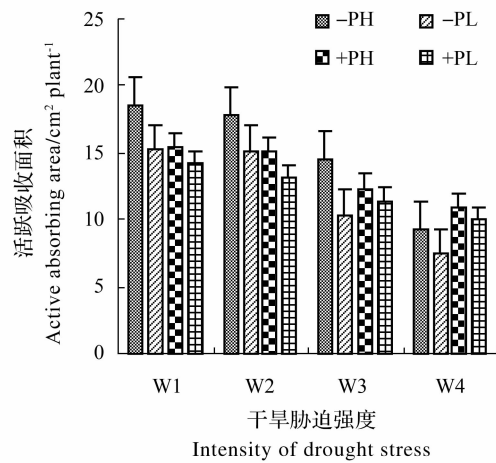


图2 不同干旱胁迫下根系活跃吸收面积变化  
Fig.2 Change of root active absorbing area under different drought treatment

2.3 大豆叶片细胞膜透性变化

逆境条件下,细胞膜结构和功能受到损坏,表现为大量电解质和某些小分子有机物大量外渗,使细胞内部环境破坏,生理功能受到影响。根据细胞膜结构破坏,导致电解质外渗使外部溶液电导率增大原理,相对电导率测定已成为目前衡量细胞膜完整性的一个重要指标。

黑河 27 和黑河 29 在干旱和磷素胁迫下,细胞膜透性变化如图 3。低磷胁迫能使两磷效率基因型大豆相对电导率增加,-PH 与 +PH 相比,相对电导率增加了 19.81%,细胞膜透性变化不显著;而 -PL 与 +PL 相比,相对电导率增加了 59.47%,细胞膜变化呈极显著水平;+PH 与 +PL 相比,相对电导率变化无显著性差异。在相同条件下进行不同程度干旱胁迫,+PH 与 -PH 处理相比较,在轻度和中度干旱胁迫下,细胞膜透性变化不显著,而在重度干旱胁迫下,细胞膜透性变化达极显著水平;+PL 与 -PL 处理相比较,细胞膜透性变化较大,随着干旱胁迫程度增加细胞膜透性急剧增加,差异达极显著水平(图 3)。说明在磷素缺乏下,干旱胁迫对磷高效基因型黑河 27 细胞膜结构破坏程度相对较小,而对磷低效基因型黑河 29 细胞膜结构破坏程度较大,致使电解质大量外渗,导致细胞内部环境破坏,生理功能代谢紊乱。因此,低磷和干旱双重胁迫下,细胞膜结构破坏程度依次为 -PL > -PH > +PL > +PH。

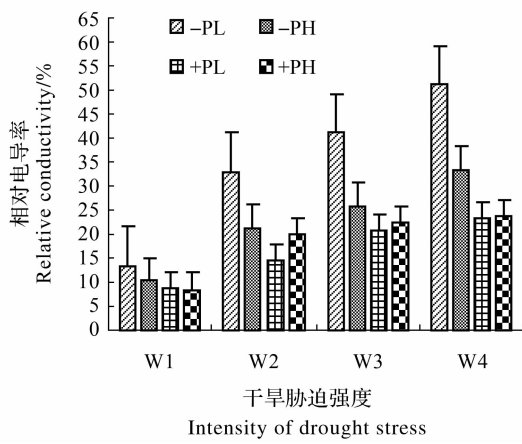


图3 不同干旱胁迫大豆叶片相对电导率变化  
Fig.3 Change of relative conductivity under different drought treatment

2.4 大豆叶片 MDA 含量的变化

MDA 是氧自由基攻击细胞膜上的类脂中不饱和脂肪酸而发生的膜脂过氧化产物,具有很强的细胞毒性,对膜和细胞中的许多生物功能分子如蛋白质,核酸和酶等均有很强的破坏作用,并参与破坏生物膜的结构与功能。在正常情况下细胞内 MDA 含量很低,当细胞受到逆境胁迫细胞膜脂过氧化分解时,导致 MDA 大量积累。

从图 4 可以看出,低磷胁迫能使大豆叶片中 MDA 含量升高,-PH 与 +PH 相比,MDA 含量升高

了 5.11%,但差异性不显著;而 - PL 与 + PL 相比,MDA 含量升高 31.48%,差异性达极显著水平;+ PH 与 + PL 相比,MDA 含量无显著性差异。在相同条件下进行不同程度干旱胁迫,随着干旱胁迫强度的增加,各处理植株叶片中 MDA 含量均增加,与细胞膜透性变化趋于一致。+ PH 与 - PH 处理相比,在轻度干旱胁迫下 MDA 含量变化不显著,而在中度和重度干旱胁迫下 MDA 含量变化达显著水平;而 + PL 与 - PL 处理相比,MDA 含量变化差异达极显著水平。说明 MDA 含量随干旱强度的增加而不断积累,导致大豆植株的衰老进程在加速。但磷高效基因型黑河 27 MDA 含量的积累是逐渐达到显著水平的,所以保护能力或修复能力强,生物膜受损程度低,有缓冲功能,细胞膜脂过氧化程度较小。而磷低效基因型黑河 29 在较短的时间内积累了大量的 MDA,则保护能力或修复能力相对较低,因而受损非常严重,从而膜的透性增大。所以对生物膜自我保护或修复能力的强弱也是不同基因型重要差别。

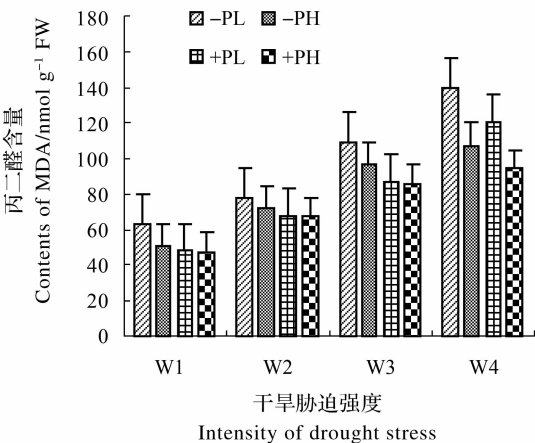


图 4 不同干旱胁迫大豆叶片 MDA 含量变化  
Fig. 4 Change of MDA content under different drought treatment

2.5 大豆叶片细胞 SOD、POD 活性变化

超氧化物歧化酶(SOD)以催化  $O_2^-$  发生歧化作用起到清除  $O_2^-$  的解毒作用。SOD 将  $O_2^-$  歧化产生的  $H_2O_2$  由细胞内过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)清除。发生的歧化反应是  $O_2^- + O_2^- + 2H^+ \longrightarrow H_2O_2 + O_2$ ,是防止氧自由基对细胞膜系统伤害的保护酶。从而减低细胞内活性氧的浓度,对细胞膜系统起保护作用。

不同磷效率基因型大豆在低磷和干旱胁迫下 SOD 和 POD 变化如图 5、6 所示,低磷胁迫能使大豆

细胞中保护酶活性降低,- PH 与 + PH 相比,活性分别下降了 1.80%、7.0%, - PL 与 + PL 相比下降了 5.89%、16.09%。在相同条件下进行干旱处理,+ PH、- PH 和 + PL 处理保护酶活性变化曲线相似,在轻度干旱胁迫下保护酶活性始终增加。以上这些特征表明:在轻度短期干旱刺激下,有利于提高大豆功能叶片保护酶活性。磷高效基因型大豆能有效利用有限的磷素营养保持体内保护酶活性,维持正常的生理代谢。而磷低效基因型大豆这种能力较差,所以在低磷和干旱双重胁迫下,保护酶活性不能得以保持,导致活性氧大量积累,膜脂过氧化程度增加,衰老进程加速。

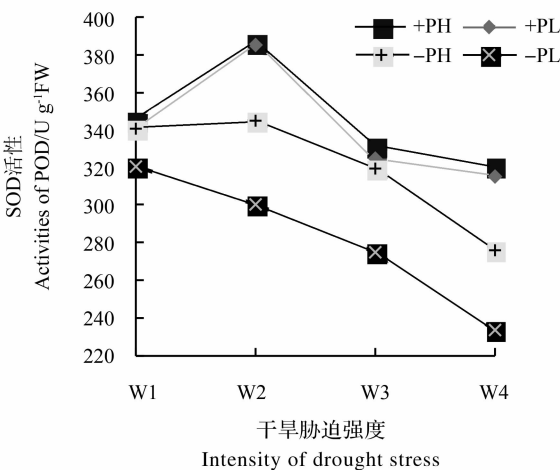


图 5 不同干旱胁迫下 SOD 活性变化  
Fig. 5 Change of activities of SOD under different drought treatment

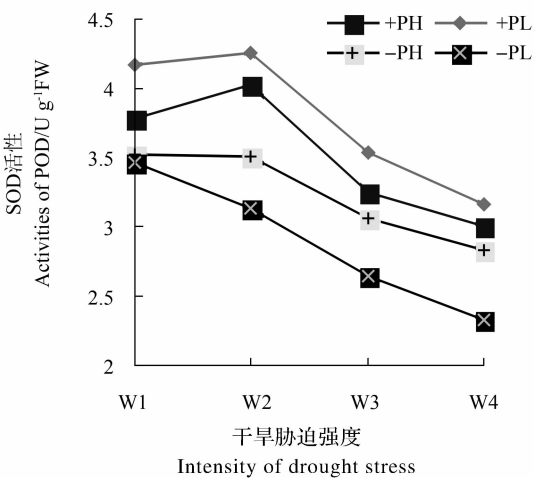


图 6 不同干旱胁迫下 POD 活性变化  
Fig. 6 Change of activities of POD under different drought treatment

2.6 大豆叶片含水量变化

在低磷和干旱胁迫下,大豆叶片的含水量变化和相对含水量变化,反映磷素和干旱对大豆从外界吸收水分、大豆体内的水分运输与分配以及大豆对水分的利用情况。

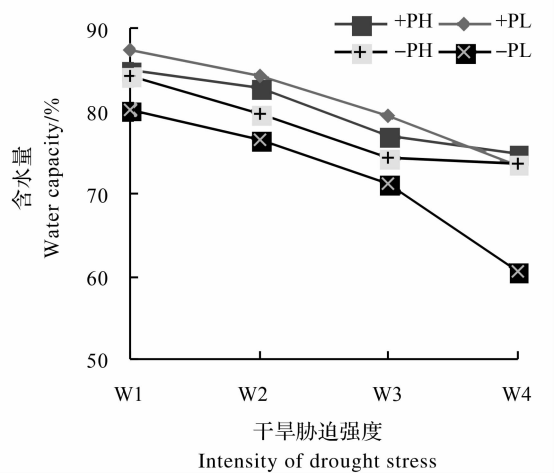


图7 不同干旱胁迫下含水量变化

Fig. 7 Water capacity under different drought treatment

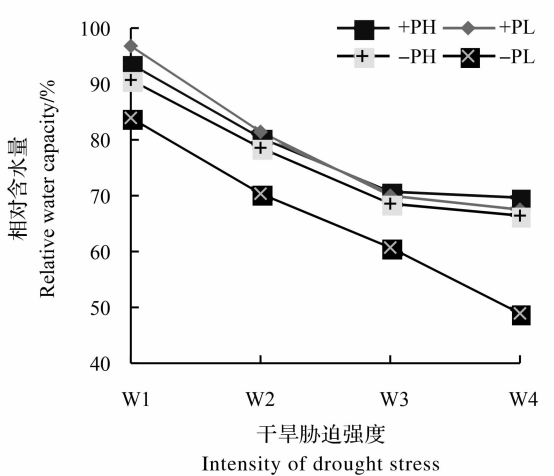


图8 不同干旱胁迫下相对含水量变化

Fig. 8 Relativity water capacity under different drought treatment

如图7、8所示,低磷胁迫下,叶片内的含水量和相对含水量下降,-PH与+PH处理相比,含水量下降0.8%,相对含水量下降3.04%;-PL与+PL处理相比,含水量下降8.7%,相对含水量下降13.36%。在低磷胁迫下,磷低效基因型大豆叶片含水量和相对含水量下降明显,这可能是低磷能够改变细胞原生质的粘性和弹性,降低细胞内胶体水合程度和束缚水含量,从而影响组织和细胞的保水能

力。无论是磷高效基因型还是磷低效基因型,随干旱胁迫的加剧含水量和相对含水量逐渐下降。在重度干旱胁迫下,+PH、-PH与对照相比含水量分别下降了12.12%、12.71%,相对含水量分别下降了25.89%、26.75%;+PL、-PL与对照相比含水量分别降低了16.01%、25.08%,相对含水量分别下降了30.45%、41.86%,变化比较明显。因此,大豆叶片内含水量和相对含水量情况与低磷和干旱胁迫有关,证明了磷素营养对于干旱条件下大豆的水分调控有着重要的作用,磷素营养通过对植物在生理和形态上的作用使植物的保水能力增强。

3 结论与讨论

众多研究表明,磷素营养与水分之间有着十分密切的关系。水分影响磷素营养在土壤中的运动和植物体对磷素的吸收、利用和分配,反之适宜的磷素营养水平也能够一定程度上提高植物体对干旱的适应性及其水分利用效率,达到“以肥调水”的目的<sup>[12-15]</sup>。

低磷和干旱胁迫使MDA含量升高,从而导致细胞膜透性增大。黑河27可以通过对磷素高效利用,提高保护酶(SOD、POD)活性降低O<sub>2</sub><sup>-</sup>的产生速率,从而降低细胞膜透性,而黑河29这种自我保护能力较差。说明磷高效基因型在低磷和干旱胁迫条件下细胞膜稳定性较强,能较好地维持细胞膨压,保证其正常的生理过程进行。

黑河27在低磷和干旱胁迫下具有生长的优势,以较高的根系活力,大幅度降低膜透性和较高的SOD酶的生理活性来抑制和减少低磷胁迫所造成的不利影响,从而提高磷素营养和水分利用效率,启动自身的自我保护机制来实现生长优势的维持,表现出较强的抵御低磷和干旱胁迫的能力,而黑河29主要通过增加根系面积等形态变化来适应低磷和干旱胁迫,这就决定其适应在供磷充分条件下生长。

参 考 文 献

[1] 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[J]. 生态农业研究,1994,2(1):16-23.  
[2] 李继云,刘秀娣,李振声,等. 有效利用土壤营养元素的作物育种新技术研究[J]. 中国科学( B辑),1995,21(1):41-48.  
[3] 王美丽,严小龙. 大豆根形态和根分泌物特性与磷效率[J].

华南农业大学学报,2001,22(3):1-3.

[4] 严小龙,廖红,戈振扬,等. 植物根构型特性与磷吸收效率[J]. 植物学通报,1999,17(6):511-519.

[5] 曹爱琴,严小龙. 不同供磷条件下大豆根构型的适应性变化[J]. 华南农业大学学报,2000. 22(1):21-26.

[6] 王应祥,廖红,严小龙. 大豆适应低磷胁迫的机理初探[J]. 大豆科学,2003,22(3):208-212.

[7] 钟鹏,朱占林,李志刚,等. PEG 处理对大豆幼苗活力及膜系统修复的影响[J]. 中国农学通报,2004,20(3):126-129.

[8] 钟鹏,朱占林,李志刚,等. 低磷和干旱胁迫对大豆叶保护酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(2):153-155.

[9] 张宪政. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社. 1990,25-196.

[10] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社. 1990,83-86.

[11] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社. 2000,11-173.

[12] 张士功,刘国栋. 渗透胁迫和缺磷对小麦幼苗生长的影响[J]. 植物生理学通讯,2001,37(2):12-16.

[13] 汪邓民,王军. 磷钙锌对烟草生长、抗逆性保护酶及渗透物的影响[J]. 土壤,2000,32(1):34-37.

[14] 李虹,张锡梅. 不同基因型小麦苗期对低磷和水分胁迫的反应[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(1):72-78.

[15] 张士功,刘国栋. 低磷和干旱胁迫对小麦生长发育影响的探究初探[J]. 西北植物学报,2002,22(3):574-578.

(上接 856 页)

[5] 王贤智,张晓娟,周蓉,等. 大豆重组自交系群体荚粒性状的 QTL 分析[J]. 作物学报,2007,33(3):441-448.

[6] 王仁晓,李培金,陈红旗,等. 水稻顶节间长度控制基因(EUI)的精细定位[J]. 遗传学报,2005,32(9):955-959.

[7] 郑康乐. 水稻抽穗期基因的精细定位、克隆和生物学功能分析[J]. 中国水稻科学,2005,19(1):85-90.

[8] 丁效华. 作物数量性状基因图位克隆研究进展[J]. 植物遗传资源学报,2005,6(4):464-468

[9] Frary A, Nesbitt T C, Grandillo S, et al. Cloning and transgenic expression of fw2.2: a quantitative traits locus key to the evolution of tomato fruits[J]. Science, 2000, 289:85-87.

[10] Lincoln S E, Lander S L. Mapmaker/exp 3.0 and Mapmaker/QTL1.1[M]. Whitehead Institute of Medical Research. Technical Report. Cambridge, MA, 1993

[11] Cregan P B, Jarvik T, Bush A L, et al. An integrated genetic linkage map of the soybean genome[J]. Crop Science, 1999, 39(5): 1464-1490.

[12] Wang S C, Basten C J, Zeng Z B. Cartographer V. 2. 5. 2005, [Online] Available at <http://statgen.ncsu.edu/qtlcart/WQTL-Cart.htm>.

[13] Churchill A G, Doerge R W. Empirical threshold values for quantitative trait mapping[J]. Genetics, 1994, 138(3):963-971.

[14] Wang D L, Zhu J, Li Z K, et al. QTL Mapper Version 1.6[M]. Copyright 2003 by Zhejiang University, Texas A&M University.

[15] 孟庆长. 大豆 GmNAC 和 GmLFY 转录因子编码基因的克隆、鉴定和种子性状的 QTL 定位研究[D]. 南京农业大学博士学位论文, 2006.

[16] 高用明, 朱军, 宋佑胜, 等. 水稻永久 F<sub>2</sub> 群体抽穗期 QTL 的上位性及其与环境互作效应的分析[J]. 作物学报, 2004, 30(9):849-854.

[16] 曹立勇, 朱军, 任立飞, 等. 水稻幼苗活力相关性状的 QTLs 定位和上位性分析[J]. 作物学报, 2002, 28(6):809-815.

[17] 曹立勇, 朱军, 颜启传, 等. 水稻籼粳交 DH 群体幼苗中胚轴长度的 QTLs 定位和上位性分析[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(3):221-224.

[18] 徐鹏, 王慧, 李群, 等. 大豆油份含量 QTL 的定位[J]. 遗传, 2007, 29(1):92-96.

[19] 郭咏梅, 刘家富, 李自超, 等. 水、旱栽培条件下稻谷粒型和粒重的相关分析及其 QTL 定位[J]. 作物学报, 2007, 33(1):50-56.