

## 低磷对大豆主根伸长生长的影响

刘鹏, 周国权, 严小龙, 廖红\*

华南农业大学根系生物学研究中心, 广州 510642

**摘要:** 文章采用卷纸培养和分层琼脂培养的方法, 研究磷对大豆主根伸长影响的结果表明: 低磷[0.2  $\mu\text{mol}(\text{KH}_2\text{PO}_4)\cdot\text{L}^{-1}$ ]显著促进大豆主根伸长, 特别是延长大豆主根根尖至最新侧根间的距离; 组织切片表明, 低磷对主根伸长的促进主要是通过延迟主根伸长区的分化实现的, 并且低磷对主根的促进作用不受亚磷酸盐的影响。琼脂分层培养的结果表明, 在磷分布不均匀的条件下, 低磷影响主根的伸长生长, 上层或下层不施磷的大豆主根伸长均有增加。

**关键词:** 低磷; 主根; 伸长; 大豆

## Effects of Low Phosphorus on Taproot Elongation of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]

LIU Peng, ZHOU Guo-Quan, YAN Xiao-Long, LIAO Hong\*

Root Biology Centre, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** The study elucidated the effect of phosphorus (P) on soybean taproot elongation by the methods of rolled paper culture and stratified agar culture. Our results showed that the taproot elongation of soybean, especially the distance from the taproot tip to newest lateral root, was stimulated by low phosphorus. The taproot elongation promoted by low phosphorus mainly attributed to the delay of the differentiation in the elongation zone of soybean root and could not be affected by applying phosphite. Under the condition of heterogeneous distribution of phosphorus in stratified agar culture, low phosphorus accelerated taproot elongation with no phosphorus in the top or bottom agar.

**Key words:** low phosphorus; taproot; elongation; soybean (*Glycine max*)

植物的主根和侧根对养分吸收、固定植株以及根系与其它生物建立共生系统体系都有作用。两者的发生发育除了受遗传因素控制外, 还受环境因素的影响。已有的研究表明, 植物生长介质中的氮、磷、硫和铁都可以影响主根和侧根的发生和发育(刘鹏等 2006)。另有报道表明, 环境中的磷影响根系发育不必经过代谢途径。例如, 亚磷酸盐可以恢复磷饥饿引起的植物代谢和发育过程中的反应, 但这种物质不能参与植物体内的磷代谢(Ticconi 等 2004)。迄今, 这方面的工作主要集中于模式植物拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)的研究。本文以大豆为材料, 研究磷对大豆幼苗主根生长的影响。

### 材料与方 法

材料为大豆[*Glycine max* (L.) Merr.], 实验分两步: (1)高、低磷酸盐和亚磷酸盐卷纸培养试验选用磷高效率的大豆基因型BX10(赵静等 2004)。营养液采用 1/2 Haogland 营养液(Liao 等 2006), 包括高磷[1.0 mmol ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) $\cdot\text{L}^{-1}$ ]、低磷[0.2  $\mu\text{mol}$

( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) $\cdot\text{L}^{-1}$ ]以及亚磷酸盐[1.0 mmol ( $\text{KH}_2\text{PO}_3$ ) $\cdot\text{L}^{-1}$ ] 3个处理(Ticconi 等 2004; Nacry 等 2005)。选择饱满的种子用 10% 的双氧水消毒 1 min。播种前将培养纸平铺在干净的平板上, 沿着划好的直线将种子放好。将放好种子的培养纸卷好并包好, 放入培养杯中, 纸卷在杯中竖直。最后放入培养箱中培养至 240 h 时, 用直尺测量主根长, 并在显微镜(Leica DMLB2, 德国)下, 用刻度尺测量主根尖到最新侧根原基的距离。再取根尖样品放入盛有福尔马林醋酸(formalin-acetic acid, FAA)固定液中, 固定 24 h。用 7022 树脂包埋后于旋转切片机(Leica RM2135, 德国)上切片。用甲苯氨蓝将制好的玻片染色, 然后放在显微镜下观察大豆主根伸长情况。组织纵切片的取样部位从距离主根尖端 1.7~2.0 cm 处取, 每个处理重复 4 次。

收稿 2008-03-23 修定 2008-07-14

资助 国家自然科学基金(30571111)。

\* 通讯作者(E-mail: hliao@scau.edu.cn; Tel: 020-85283380)。

(2)琼脂分层施磷培养试验选用磷高效率大豆, 设4个处理, 包括上层高磷+下层高磷(HP+HP)、上层低磷+下层低磷(LP+LP)、上层低磷+下层高磷(LP+HP)、上层高磷+下层低磷(HP+LP)。高磷部分的磷浓度为 $1.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 低磷为 $0.2 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。试验流程为: 植物凝胶(Sigma公司, 美国)和不含磷的1/2 Hoagland营养液按3.5:1 000的比例配制后于高温高压灭菌下使其融解。将煮好的植物胶溶液倒在培养用的矩形平板(40 cm×20 cm×2 cm)上, 每个平板倒600 mL。割去上部5 cm, 留出的空间供植株地上部分生长。再在其下15 cm处割出一条宽1 mm的空隙, 分为上下两层。然后选取长势一致的大豆幼苗分别转到平板上培养。其中高磷中发芽的苗转移到上层为高磷的平板上, 低磷中发芽的苗转移到上层为低磷的平板上。每个平板放2株苗。移苗后10 d取样, 测定主根长和主根根尖至最新长出的侧根间的距离。地上部用于测定植株中全磷含量。

数据均用Excel 2003进行单、双因素方差分析。

## 实验结果

### 1 磷对大豆幼苗主根生长的影响及其对亚磷酸盐信号的感受

图1~3显示: (1)高、低磷处理10 d的主根长差异非常显著, 低磷处理促进大豆主根伸长。同时, 磷分布均一的卷纸培养系统中, 亚磷酸盐处理的主根长度与低磷处理的一致, 即都显著高于高磷处理的, 说明亚磷酸盐并不能消除低磷促进主根伸长的作用(图1)。

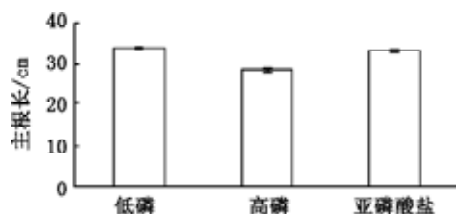


图1 磷对大豆主根伸长的影响

Fig.1 Effect of phosphorus on taproot elongation of soybean

(2)低磷对大豆幼苗主根尖至最新长出的侧根之间距离的影响与对主根伸长的影响一致。低磷处理10 d后的主根尖至最新长出的侧根之间距离

显著高于高磷处理(图2)。主根尖至最新长出的侧根之间距离与亚磷酸盐处理的反应一致: 在磷分布均一的卷纸培养系统中, 亚磷酸盐处理的植株主根尖至最新侧根之间的距离与低磷处理的一致, 即都显著高于高磷处理的(图2)。

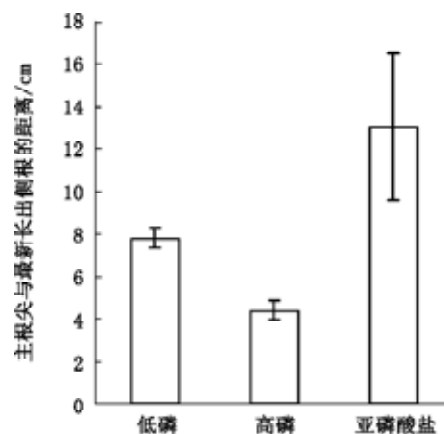


图2 磷对大豆主根尖与最新长出侧根的距离的影响

Fig.2 Effect of phosphorus on the distance from taproot tip to new lateral root of soybean

(3)在位置相同的根段, 高磷处理下已经出现侧根原基的分化, 而低磷处理下却没有, 说明其主根伸长区分化延迟, 因而主根的伸长生长得到促进(图3)。上述两方面结果一致。

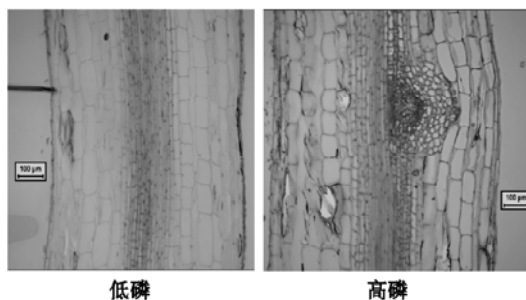


图3 低磷对大豆主根根尖伸长区分化的影响

Fig.3 Effect of low phosphorus on differentiation of elongation zone of taproot tip of soybean

图中线段表示实际长度100  $\mu\text{m}$ 。

### 2 分层施磷对大豆幼苗磷吸收和主根伸长的影响

分层施磷的结果表明, 分层施磷影响大豆幼苗对磷的吸收。HP+HP和HP+LP处理的地上部磷含量均高于LP+LP和LP+HP处理的(图4)。并且分层施磷还影响主根伸长生长。LP+LP、LP+HP和HP+

LP处理的主根长都显著高于HP+HP处理的(图5)。无论上层或下层含有低磷信号,不论植株体内磷含量高或低,主根都能对低磷信号作出反应进行伸长生长。这说明在分层磷处理系统中,低磷可作为信号来调控主根的伸长(图5)。

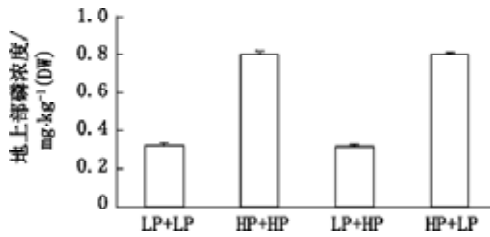


图4 分层施磷对大豆幼苗地上部磷含量的影响

Fig.4 Effect of heterogeneous phosphorus on phosphorus content in soybean shoot

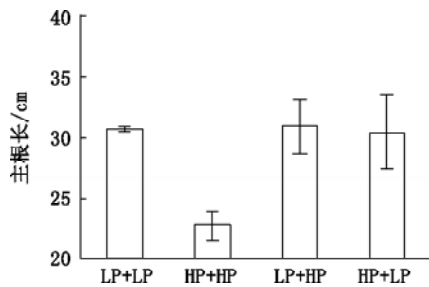


图5 分层施磷对大豆主根伸长的影响

Fig.5 Effect of heterogeneous phosphorus on taproot elongation of soybean

## 讨 论

本文结果表明,低磷可以诱导大豆主根的伸长(图1)。这一现象与双子叶模式植物拟南芥对低磷的反应正好相反(López-Bucio等2002)。而在拟南芥中,低磷是抑制拟南芥主根生长的(Sánchez-Calderón等2005)。组织切片的结果也显示:低磷对大豆主根分生区没有影响,但可推迟主根伸长区的分化,因而主根有快速伸长的活力(图3)。

在油菜和拟南芥等一些双子叶植物中,亚磷酸盐可以恢复磷饥饿引起的代谢和发育过程的反应,但这种物质不能参与植物体内的磷代谢(Carswell等1996; Varadarajan等2002; Ticcon等2004)。有人认为亚磷酸盐可作为一种磷信号来调控植物根系的发育,从而恢复低磷诱导的代谢和发育过程的反

应(Ticconi等2004)。但是,本文中结果表明,亚磷酸盐并不能恢复低磷引起的主根伸长的反应(图1),亚磷酸盐与低磷处理的反应几乎一致,这说明低磷处理的大豆主根伸长是通过体内磷代谢而不是磷的信号转导途径调控的。两类植物对低磷反应有异的原因,尚待进一步研究。

在低磷+低磷、高磷+低磷和低磷+高磷下处理的主根均伸长,而高磷+高磷则否(图5);这说明如果介质中施磷量低,主根就会伸长生长。另外,不论植株体内含磷量高或低,只要生长介质中含磷量低,主根就伸长生长。

## 参考文献

- 刘鹏, 区伟贞, 王金祥, 严小龙, 廖红(2006). 磷有效性与植物侧根发生发育. 植物生理学通讯, 42 (3): 395~400
- 赵静, 付家兵, 廖红, 何勇, 年海, 胡月明, 邱丽娟, 董英山, 严小龙(2004). 大豆磷效率应用核心种质的根构型性状评价. 科学通报, 49 (1): 1249~1257
- Carswell MC, Grant BR, Theodorou ME, Harris J, Niere JO, Plaxton WC (1996). The fungicide phosphonate disrupts the phosphate-starvation response in *Brassica nigra* seedlings. *Plant Physiol*, 110: 105~110
- Liao H, Wan HY, Shaff J, Wang XR, Yan XL, Kochian LV (2006). Phosphorus and aluminum interactions in soybean in relation to Al tolerance: exudation of specific organic acids from different regions of the intact root system. *Plant Physiol*, 141 (2): 674~684
- López-Bucio J, Hernandez-Abreu E, Sánchez-Calderón L, Nieto-Jacobo MF, Simpson J, Herrera-Estrella L (2002). Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the *Arabidopsis* root system. *Plant Physiol*, 129: 244~256
- Nacry P, Canivenc G, Müller B, Azmi A, Van Onckelen H, Rossignol M, Doumas P (2005). A role for auxin redistribution in the responses of the root system architecture to phosphate starvation in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 138: 2061~2074
- Sánchez-Calderón L, López-Bucio J, Chacón-López A, Cruz-Ramírez A, Nieto-Jacobo F, Dubrovsky JG, Herrera-Estrella L (2005). Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol*, 46 (1): 174~184
- Ticconi CA, Delatorre CA, Lahner B, Salt DE, Abel S (2004). *Arabidopsis pdr2* reveals a phosphate-sensitive checkpoint in root development. *Plant J*, 37: 801~814
- Varadarajan DK, Karthikeyan AS, Matilda PD, Raghothama KG (2002). Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiol*, 129: 1232~1240