

耐低磷胁迫下玉米自交系幼苗的生长及磷素分配特征

陈宇^{1,2}, 张慧², 薛艳芳², 刘霞², 高文伟¹, 石书兵¹

(1. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830091; 2. 山东省农业科学院玉米研究所, 济南 250100)

摘要: 选取耐低磷型玉米自交系 QXN233 和低磷敏感的 QXH0121 为材料, 研究低磷、正常施磷、高磷 3 个生长条件下两个自交系幼苗的生长及磷素的分配情况。结果表明, 在低磷和正常施磷条件下, 自交系 QXN233 的地上部、根系与整株干重均显著高于 QXH0121。低磷条件下, 两个自交系根部形态差异较大, QXN233 的根长、根表面积、根体积、根尖数均大于 QXH0121, 且 QXN233 的侧根数有所增加, 推测其通过侧根的大量发育, 增加根系表面积与根际环境的接触, 促进根系对磷素的吸收。低磷条件下 QXN233 具有较小的根冠比, 其地上部的磷素分配比例更高, 表明 QXN233 能够吸收并输送更多的磷到地上部, 从而使植株能够在低磷条件下更好地生长。

关键词: 玉米; 低磷胁迫; 植株形态; 磷素分配

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Growth and Phosphorus Distribution Characteristics of Low-Phosphorus Tolerance Maize Inbred Line

CHEN Yu^{1,2}, ZHANG Hui², XUE Yan-fang², LIU Xia², GAO Wen-wei¹, SHI Shu-bing¹

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830091;

2. Maize Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: To investigate the character of growth and phosphorus distribution of low-phosphorus tolerance maize, two different maize inbred lines, the QXN233 of low-phosphorus tolerable and the QXN0121 of normal, were used as the testing materials. Three P levels of high, normal and low were set up under the conditions of sand and nutrient culture. The results showed that, under the low and normal P level condition, the dry weight of shoot, root and pant of QXN233 was higher than QXN0121, under condition of the low P level, the significant difference of the root architecture between these maize inbred lines was exhibited. The root length, surface area, volumes, the number of root tips of QXN233 was relative higher than QXN0121, and QXN233 have more lateral root than QXN0121, suggest that the P uptake of QXN233 was facilitated by their more developed lateral root which increased the contact area of the root surface and the soil. In addition, QXN233 had smaller root-shoot ratio, and had more P distribution ratio between the shoot and root, imply QXN233 could uptake and transport more P to shoot for the better development of plant under the low-phosphorus stress.

Key words: Maize; Low-phosphorus stress; Form; Distribution of phosphorus

磷是植物生长发育不可缺少的大量元素之一,

其对促进植物生长发育、调控生理代谢及抗逆性等方面具有重要作用^[1~4]。土壤中磷肥利用率极低, 遗传学缺磷已成为全世界农业生产中最重要的限制因子之一, 同时, 土壤中无效磷素的积累也破坏生态系统^[5~7]。

玉米是我国重要的粮饲作物, 其对缺磷极敏感^[8]。在长期的选择过程中, 玉米也形成了相应的适应机制, 以提高对土壤难溶性磷的吸收和利用效率, 从而更好地适应低磷环境。因此, 利用和发掘作

收稿日期: 2015-06-18

基金项目: 国家自然科学基金(31301271)、公益性行业(农业)科研专项(201503130)、中国博士后基金(2014M560559)

作者简介: 陈宇(1990-), 女, 山东济宁人, 硕士, 主要从事玉米低磷生理研究。Tel: 13609977493

E-mail: 963102335@qq.com

刘霞和高文伟为本文通讯作者。

物自身对磷素高效吸收利用的潜力,提高土壤中潜在磷的利用率,是解决缺磷带来的生产和生态问题的重要途径^[9]。玉米苗期是对磷营养的敏感时期,本研究以前期筛选的耐低磷玉米自交系 QXNZ33 和低磷敏感玉米自交系 QXNH0121 为材料,进行高供磷、正常供磷和低供磷 3 个条件的石英砂培养处理,研究耐低磷型玉米自交系的在不同供磷水平下的生长发育和磷素分配特征,为进一步研究玉米耐低磷胁迫的生理及分子机制提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

采用供低磷(5 μmol/L)营养液的石英砂培养法,对 24 份玉米自交系材料进行苗期的初步筛选与鉴定,根据各材料干重与缺磷症状的综合表现,筛选出 2 个玉米自交系进行磷营养特性的研究。其中, QXN233 为耐低磷型玉米自交系,选自瑞德窄基群

体;QXH0121 为低磷敏感型自交系,选自塘四平头小群体。供试玉米自交系种子全部来源于山东省农业科学院玉米研究所。

1.2 培养方法

挑选个体均匀、完整的上述两个玉米自交系种子,用 10%的 H₂O₂ 表面消毒 30 min,之后用去离子水洗净,再把种子放入铺有滤纸的托盘中用饱和 CaSO₄ 浸泡催芽;当玉米芽长至 1 叶 1 心时,选取生长基本一致的幼苗,去掉胚乳移栽到预装有 5 000 g 石英砂(> 0.25 ~ 0.50 mm)的塑料花盆中进行培养,每盆种 2 株玉米。

两个玉米品种均设有低磷(P1, 1 μmol/L)、正常施磷(P2, 500 μmol/L)、高磷(P3, 1 000 μmol/L)3 个不同的磷素水平。移栽后的幼苗,每隔 2 d 浇 1 次营养液,每盆每次 500 mL。营养液为改良的 Hogland 配方(表 1)。待玉米苗长至 3 叶 1 心期,出现低磷症状时收获进行取样。

表 1 营养液配方
Table 1 The composition of nutrient solution

项 目	化合物	浓度(mmol/L)	项 目	化合物	浓度(mmol/L)
Item	Compound	Concentration	Item	Compound	Concentration
大量元素 Macroelement	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.325	微量元素 Microelement	H ₃ BO ₃	0.01000
	K ₂ SO ₄	0.375		MnSO ₄ ·H ₂ O	0.00100
	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1.000		ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.00100
	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ Na ₂ O ₈ ·2H ₂ O	0.100		CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.000 50
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.100		(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂ ·4H ₂ O	0.000 05
	KCl	0.050			
	KH ₂ PO ₄	0.500			

1.3 测定项目与分析方法

(1)植株生长与根系形态测定:取样时选取地上部和根系,杀青,85℃恒温烘干称重。其中,根系在烘干前用 EPSON 扫根仪进行根系扫描。

(2)植株磷素含量测定:将烘干的样品消煮,用

火焰分光光度计进行养分测定。数据采用 Excel 和 SAS 软件分析。

2 结果与分析

2.1 低磷胁迫对不同玉米自交系苗期生长的影响

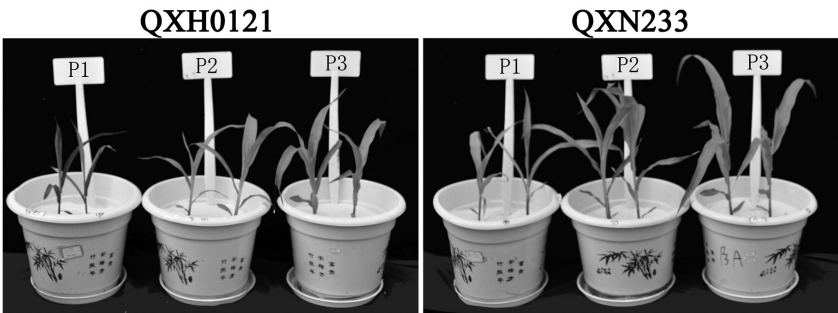
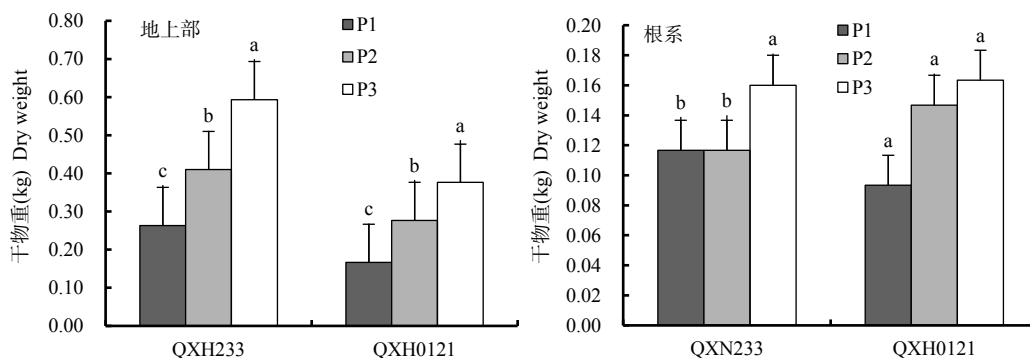


图 1 不同磷素水平下不同玉米自交系地上部生长情况

Fig.1 The shoot growth of different maize inbred lines under the different phosphorus levels

如图 1、图 2 所示,在 P1 水平下,QXN233、QXH0121 两个玉米自交系的生长受到抑制,植株矮小,并且自交系 QXH0121 的叶片呈现紫红色。比较两个玉米自交系,在低磷下,自交系 QXN233 的地上

部干重以及根系干重均显著高于自交系 QXH0121,说明低磷胁迫对自交系 QXN233 的幼苗生长影响较小,即 QXN233 较耐低磷胁迫。



注:不同小写字母代表5%显著水平。下图同。

Note: Different letters in the same column mean significant at 5 % level. The same below.

图2 不同磷素水平对玉米自交系地上部及地下部生物量的影响

Fig.2 Effects of different phosphorus levels in the upper part of maize inbred lines and underground biomass

2.2 低磷胁迫对不同玉米自交系根系的影响

在低磷胁迫下,玉米自交系 QXN233、QXH0121 根系生长均受到抑制,根长、根的表面积、根体积及根尖均较正常磷水平及高磷条件下均有所降低(图3)。比较而言,QXN233 的根部受抑制程度较小,且根长、根表面积、根体积、根尖均大于 QXH0121(图4)。

可以看出,P1 条件下 QXN233 的侧根数显著多于自交系 QXH0121,推测 QXN233 通过侧根的大量发育,增加根系表面积与根际土壤环境的接触,从而促进其根系对磷素的吸收。此外,低磷胁迫下 QXN233 的根冠比明显小于 QXH0121 的根冠比,反映出玉米自交系对于不同磷效率的响应(图5)。

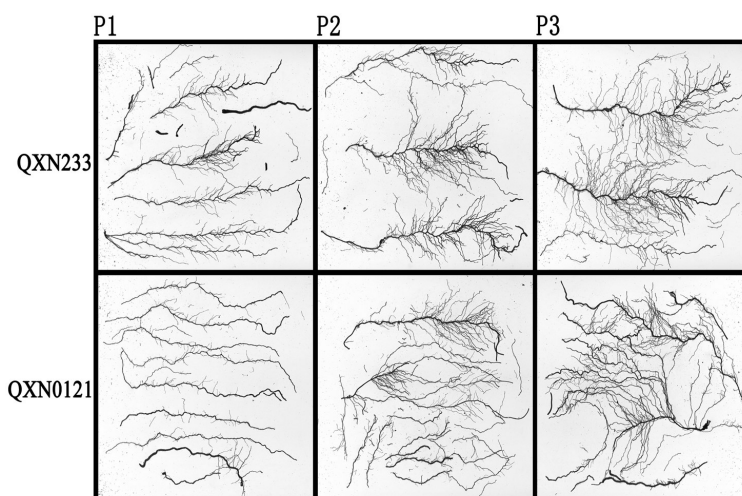


图3 不同磷素水平对不同玉米自交系根系形态的影响

Fig.3 The root architecture of different maize inbred lines under the different phosphorus levels

2.3 低磷胁迫对玉米自交系磷吸收及分配的影响

在同一磷水平条件下,两个玉米自交系的磷分配均表现为地上部>地下部。在低磷水平下,自交系 QXN233 整体的磷素累积量较自交系 QXH0121 高,同时磷素在自交系 QXN233 根系中的分配比要

低于 QXH0121,说明低磷胁迫下,相比于自交系 QXH0121,自交系 QXN233 能够吸收并输送更多的磷到地上部,从而使植株能够在低磷条件下更好地生长(表2)。

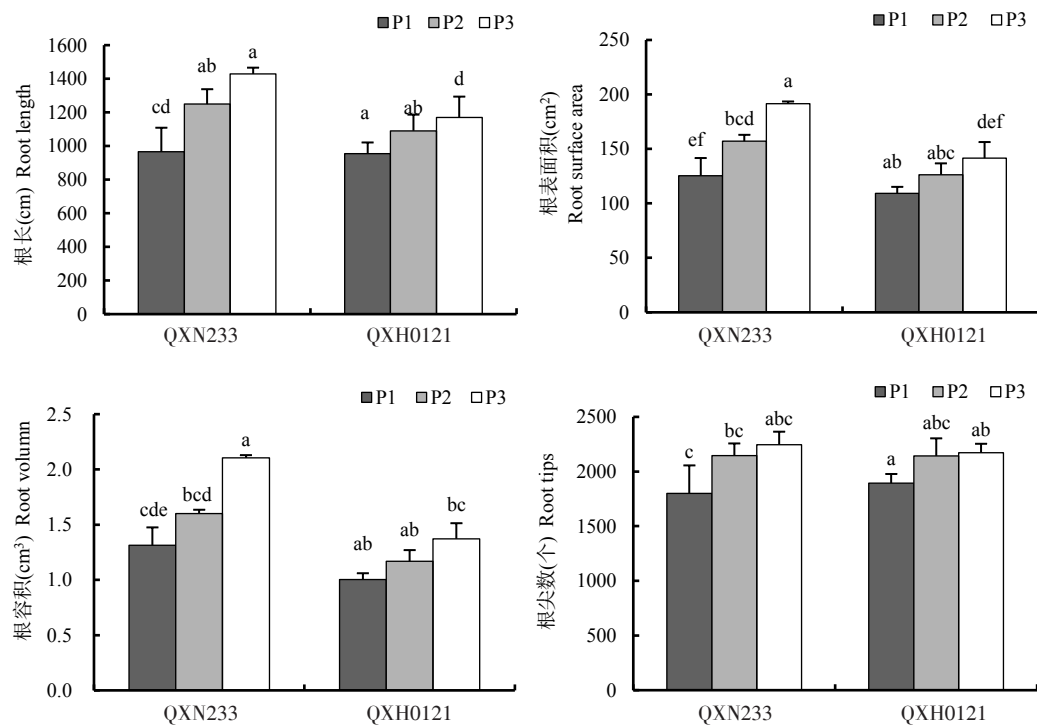


图4 不同磷素水平对玉米自交系根长、根表面积、根容积以及根尖的影响

Fig.4 Different level of phosphorus of inbred lines in maize root length, root surface area, root volume and the effect of root tip

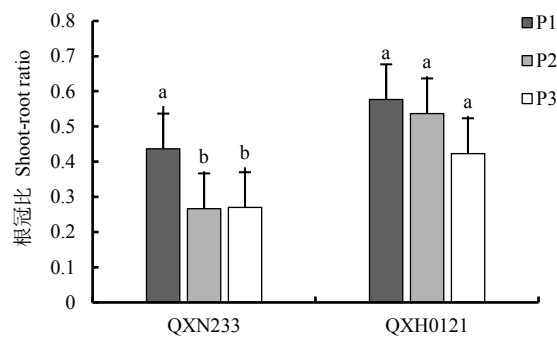


图5 不同磷素水平对玉米自交系根冠比的影响

Fig.5 Effects of different phosphorus levels on root shoot ratio of maize inbred lines

表2 不同磷素水平对玉米自交系地上部和根系以及磷素积累量与分配的影响

Table 2 Effects of different phosphorus levels on maize inbred lines of shoot and root and phosphorus accumulation amount and distribution

自交系 Inbred line	处 理 Treatment	磷含量(g/kg) P content		磷素积累量(g/株) P accumulated			分配比例(%) Distribution ratio	
		地上部 Shoot	根 系 Root	地上部 Shoot	根 系 Root	全 株 Plant	地上部 Shoot	根 系 Root
QXN233	P1	1.6 b	1.4 b	407.5 b	163.5 c	571.0	71.0	29.0
	P2	3.8 a	2.3 a	1 653.3 a	264.3 b	1 917.6	86.0	14.0
	P3	3.4 a	2.2 a	1 876.8 a	348.7 a	2 225.4	84.0	16.0
QXH0121	P1	1.6 b	1.3 b	250.8 b	115.7 b	366.5	68.0	32.0
	P2	5.3 a	2.8 a	1 439.4 a	213.8 a	1 653.2	87.0	13.0
	P3	5.0 a	2.6 a	1 521.0 a	243.9 a	1 764.9	86.0	14.0

3 结论与讨论

低磷条件下,两个玉米自交系地上部干重降低,这可能与缺磷降低叶片伸展度、光合效率和抑制玉米叶片细胞分裂有关^[10],同时低磷也抑制了玉米自交系根系的生长。前人研究表明,低磷胁迫对植物地上部和根系均有抑制,对根系的抑制较弱^[11],长期缺磷会限制根系生长^[12],与本研究结果相一致。本研究中耐低磷的自交系QXN233比QXH0121具有更高的地上部生物量和更低的根冠比,反映出自交系QXN233能够更好地在低磷条件下生长。

根系是作物吸收养分的主要器官,低磷逆境下的根系形态是作物有效吸收利用磷的特异性机制^[13],玉米根系常常通过根系适应性反应来提高其对土壤磷的吸收能力,如根系大小、根系形态的改变等^[14, 15]。本研究中,低磷胁迫下,玉米自交系QXN233、QXH0121根系的根长、根表面积、根容重和根尖长度均有所降低,但QXN233均大于QXH0121。根系表面积大和根系体积大是磷高效利用的主要特征。

参考文献:

- [1] 张 燕,陈 波,肖源灵,等.玉米自交系耐低磷特性鉴定[J].广州农业科学,2014(8):35-38.
Zhang Y, Chen B, Xiao Y L, et al. Identification of corn inbred lines with low-phosphorus tolerance[J]. Guang Zhou Agriculture Science, 2014(8): 35-38. (in Chinese)
- [2] 郑建平,李 明.玉米耐低磷特性的研究进展[J].科技信息,2007(20):72.
Zheng J P, Li M. Progress of research on low phosphorus characteristics of maize[J]. Science & Technology Information, 2007(20): 72. (in Chinese)
- [3] 徐立华,徐相波,王玉红,等.低磷胁迫对4个玉米自交系生长及生理生化特征的影响[J].山东农业科学,2014,46(5):82-84.
Xu L H, Xu X B, Wang Y H, et al. Effects of low phosphorus stress on seedling growth, physiological and biochemical characteristics of four maize inbred lines[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2014, 46(5): 82-84. (in Chinese)
- [4] 苏顺宗,王锋锴,刘 丹,等.一个玉米 *Phl1* 家族磷转运蛋白基因克隆和功能分析[J].核农学报,2013,27(7):885-894.
Su S Z, Wang F K, Liu D, et al. Cloning and functional analysis of phosphorus transporter gene from a maize *phl1* family[J]. Journal of Nuclear Agricultural Science, 2013, 27(7): 885-894. (in Chinese)
- [5] 马建华,孙 毅,王玉国,等.低磷胁迫下对玉米自交系及其杂交种苗期生理特性的影响[J].山西农业科学,2014,42(3):220-222.
Ma J H, Sun Y, Wang Y G, et al. Influence of low phosphorous stress on physiological characteristics of inbred line and cross-breeds seedlings of maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2014, 42(3): 220-222. (in Chinese)
- [6] 杨 永,石海春,柯永培,等.几个玉米自交系和杂交种耐低磷能力的研究[J].玉米科学,2007,15(5):12-16.
Yang Y, Shi H C, Ke Y P, et al. Study on the ability of low phosphorus tolerance of some maize inbred lines and hybrids[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(5): 12-16. (in Chinese)
- [7] 王 静.西昌地区玉米自交系苗期耐低磷特性鉴定[J].黑龙江农业科学,2013(2):5-9.
Wang J. Identification of low phosphorus in seedling stage of maize inbred line in Xichang[J]. Heilongjiang Agriculture Science, 2013(2): 5-9. (in Chinese)
- [8] 丁 艳,韩 卓,王泽港,等.不同基因型玉米幼苗对低磷条件的影响[J].中国农学通报,2011,27(30):32-34.
Ding Y, Han Z, Wang Z G, et al. Response of low phosphorus condition on different genotypes of maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30): 32-34. (in Chinese)
- [9] 史向远,王秀红,韩彦青,等.玉米耐低磷基因型的筛选[J].山西农业科学,2012,40(3):217-220,223.
Shi X Y, Wang X H, Han Y Q, et al. Screening of low phosphorus genotypes in maize[J]. Shandong Agriculture Science, 2012, 40(3): 217-220, 223. (in Chinese)
- [10] Assuero S G, Mollier A, Pellerin S. The decrease in growth of phosphorus-deficient maize leaves is related to a lower cell production [J]. Plant, Cell & Environment, 2004, 7(27): 887-895.
- [11] Khamis S, Chaillou S, Lamaze T. CO₂ Assimilation and partitioning of carbon in maize plants deprived of orthophosphate[J]. J. Exp. Bot., 1990, 41(12): 1619-1625.
- [12] Hajabbasi M A, Schumacher T E. Phosphorus effects on root growth and development in two maize genotypes[J]. Plant and Soil, 1994, 158(1): 39-46.
- [13] 黄爱缨,蔡一林,滕中华,等.玉米自交系苗期耐低磷的根系生理特性研究[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1419-1422.
Huang A Y, Cai Y L, Teng Z H, et al. Physiological characteristics of low phosphorus in seedling stage of maize inbred line[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6): 1419-1422. (in Chinese)
- [14] 张丽梅,贺立源,李建生,等.不同耐低磷玉米磷营养特性研究[J].中国农业科学,2005,38(1):110-115.
Zhang L M, He L Y, Li J S, et al. Study on the phosphorus nutrition of different phosphorus tolerant corn[J]. Chinese Agricultural Science, 2005, 38(1): 110-115. (in Chinese)
- [15] 张丽梅,贺立源,龚阳敏,等.不同耐低磷玉米自交系生长发育特性研究[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):56-62.
Zhang L M, He L Y, Gong Y M, et al. Characteristic of growth and development of maize inbred lines with different phosphorus efficiency under low-p stress[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(1): 56-62. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)