

文章编号: 1005-0906(2007)02-0107-04

低钾胁迫对玉米苗期根系生长 和钾吸收特性的影响

刘延吉¹, 田晓艳², 曹敏建¹

(1. 沈阳农业大学, 沈阳 110161; 2. 辽宁石油化工大学环境与生物工程学院, 辽宁 抚顺 113001)

摘要: 研究低钾胁迫对玉米苗期根系生长和钾吸收特性的影响。玉米自交系种子 A(不耐低钾)和 B(耐低钾)用三个钾离子浓度 (5 $\mu\text{mol/L}$, 100 $\mu\text{mol/L}$, 1 000 $\mu\text{mol/L}$) 进行液体培养, 4 周时将苗转入培养桶中, 连续培养 50 天。在转入的 0 d、3 d、10 d、25 d、50 d 天时距根尖 2 cm 处取样, 观察根部形态特征及解剖结构, 对其根系活力、Imax、Km 进行测定。结果表明: 耐低钾品种 B 低钾条件下, 根表形态结构上, 根毛数量增加, 且形成部位距根尖较近; 根解剖结构上, 木质部导管分化增强, 并改善了疏导组织运输能力; 根冠比上, 长度、重量根冠比增加; 根系吸收能力上, 根系活力、Imax 显著提高, Km 显著降低。耐低钾品种从根形态结构改变及根系活跃吸收能力增强两方面协同作用适应低钾胁迫, 提高钾吸收能力。

关键词: 玉米; 低钾胁迫; 钾吸收; 解剖结构; 根系活力

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

The Effects of Low Potassium Stress on Root Growth and Potassium Absorption of Maize Seedling

LIU Yan-ji¹, TIAN Xiao-yan², CAO Min-jian¹

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161; 2. Environmental Technology and Biotechnology College, Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, Fushun 113001, China)

Abstract: The article studied stress response on root system growth and potassium absorption of maize seedling at K^+ deficiency. Two inbred lines of maize seed, A which sensitive to K^+ deficiency and B which tolerant to K^+ deficiency, were cultured in nutrient solutions of three different K^+ concentration (5, 100, 1 000 $\mu\text{mol/L}$). After 4 weeks, the maize seedling had been cultured, the plants were transplanted into culture barrel and then cultured for 50 days. Sampling was made near by root tip 2 cm on time(0, 3, 10, 25, 50 days), when to observed root system morphological character and dissection structure, and determined its root system vigor, Imax, Km. The results showed that under lower K^+ concentration, root hair number of B was increased and grewed near by the root tip. Xylem canal differentiation enhance at dissection structure, and it improved transportation ability of leading organization. Root top ratio of length and weight increases, root system vigor and Imax of B obviously increased while Km obviously decreased. B improved potassium absorption through synergistic action both root system morphological character and active potassium absorbency.

Key words: Maize; Lower potassium stress; Potassium absorption; Dissection structure; Root system vigor

目前, 我国现存耕地面积中大约 1/4 至 1/3 的土壤缺 K 或严重缺 K, 在进行农作物生产时, 必须

施加钾肥。我国钾资源匮乏, 钾肥需大量进口。进入 80 年代, 北方地区缺钾日趋严重, 目前研究耐低钾玉米的生理特性等方面研究国内鲜见报道。本文研究耐低钾玉米的生理特性, 为培育耐低钾高产的新型玉米品种、提高作物产量、改善作物品质提供借鉴。

1 材料和方法

收稿日期: 2007-01-04

基金项目: 国家重大攻关 973 项目(G1999011707)

作者简介: 刘延吉(1959-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 细胞信号转

导。Tel: 13998815963 Email: yanjiliu@yahoo.com.cn

曹敏建为本文通讯作者。

1.1 实验材料

自交系玉米种子 713(A, 不耐低钾胁迫品种)和 336(B, 耐低钾胁迫品种), 由沈阳农业大学农学院提供。

1.2 实验方法

用 0.1% HgCl_2 消毒种子 10 min, 无离子水浸泡 12 h, 25℃ 昼 / 夜(30℃/25℃)萌发 2 d。1/2Hoagland 溶液培养, 每 24 h 加氧 1 次, 每 4 d 更换溶液 1 次, 12 d 时将玉米苗转入 3 个钾离子浓度的培养盆(5 $\mu\text{mol/L}$, 100 $\mu\text{mol/L}$, 1 000 $\mu\text{mol/L}$) 梯度培养, 4 周时将苗转入培养桶中, 更换培养液与加氧方式同上。连续培养 50 天。在转入的 0 d、3 d、10 d、25 d、50 d 天

时距根尖 2 cm 处取样, 以 FAA 固定液 (60%乙醇 90 mL, 福尔马林 5 mL, 冰醋酸 5 mL) 固定, 使用 Olympus10 观察根部成熟区整体形态, 制作石蜡切片; 使用 Olympus20 观察根部成熟区解剖结构; 采用甲稀兰吸收法测定根系吸附面积与活跃吸收面积。计算 K_m 按 $K_m = [(S_0 - S) / (t + V)] / [(2.3/t) \times \log(S_0/S)]$ 公式进行。实验地点在沈阳农业大学植物生理实验室进行。

2 结果与分析

2.1 不同供钾水平对两个玉米品种根冠比及形态特征的影响

2.1.1 低钾对植株长度根冠比的影响

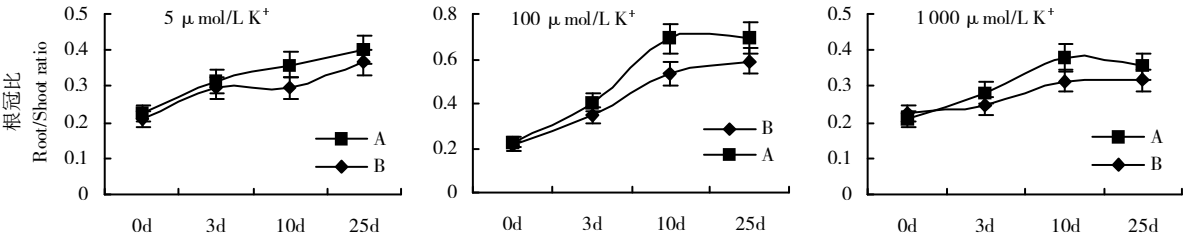


图 1 钾浓度为 5 $\mu\text{mol/L}$ 、100 $\mu\text{mol/L}$ 、1 000 $\mu\text{mol/L}$ 时根冠比

Fig.1 Variation of root/shoot ratio in 5 $\mu\text{mol/L}$ K⁺, 100 $\mu\text{mol/L}$ K⁺ and 1 000 $\mu\text{mol/L}$ K⁺

由图 1 可见, 低钾条件下, 不耐低钾自交系 A 的长度根冠比显著增加, 在第 10 天时, A 长度根冠比的差异达到显著水平。

2.1.2 低钾对植株干重根冠比的影响

植物低亲和 K⁺ 吸收转运是在外界 K⁺ 浓度为

mmol/L 级时进行的, 并且在生理浓度范围内不会达到饱和, 主要由离子通道完成。高亲和性 K⁺ 吸收是在外界 K⁺ 浓度低于 300 $\mu\text{mol/L}$ 时发生作用的。可能是靠水解 ATP 提供能量的 K⁺ 泵或 K⁺/H⁺ 交换泵完成。

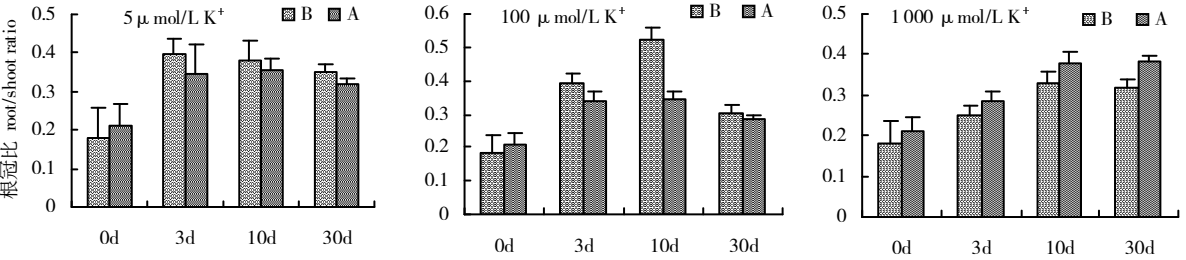


图 2 钾浓度为 5 $\mu\text{mol/L}$ 、100 $\mu\text{mol/L}$ 、1 000 $\mu\text{mol/L}$ 时干重根冠比

Fig.2 Variation of dry weight root/shoot ratio in 5 $\mu\text{mol/L}$ K⁺, 100 $\mu\text{mol/L}$ K⁺ and 1 000 $\mu\text{mol/L}$ K⁺

由图 2 可以看出, 1 000 $\mu\text{mol/L}$ K⁺ 的条件下, A 与 B 干重根冠比的增加趋势基本相同, A 干重根冠比大于 B。说明在高浓度 K⁺ 条件下, A 低亲和 K⁺ 吸收转运能力大于 B。在 5 $\mu\text{mol/L}$ K⁺ 和 100 $\mu\text{mol/L}$ K⁺ 条件下, B 干重根冠比显著大于 A。说明在低浓度 K⁺ 条件下, B 高亲和性 K⁺ 吸收能力显著大于 A。

2.1.3 不同供钾水平两个玉米品种根毛区整体形态和根毛区解剖结构

由图 3 可见, 上述试验材料经低钾处理 3 天后,

B 可诱导根毛的产生, 且根毛产生部位距根尖较近, 根毛数量多。A 距根尖 2 cm 内不产生根毛, 形成根毛的部位距根尖较远。由此可见, B 在低钾条件下, 可以通过产生更多根毛来适应低钾环境。

图 4 是低钾处理 10 天时不同浓度 A 与 B 根的解剖结构。从图 4 可以看出, 在完全营养液中, A 与 B 导管数目是相同的, 但在低钾条件下, B 的导管数目比 A 多, 根的中柱径向加粗、木质化程度加深。在缺钾刺激下, B 的根形态与结构都发生了变化, 形态

上通过增加根毛增加根系吸收能力,结构上通过增加导管数目、改善木质部结构来提高根的运输能力,

这也是 B 在低钾条件下能够正常生长的重要原因之一。

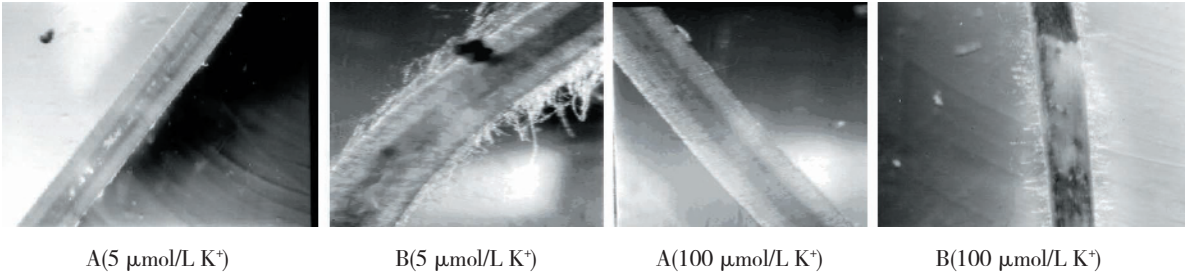


图 3 两个玉米品种根毛区整体形态比较

Fig.3 The comparison between the two maize varieties in root hair integral configuration

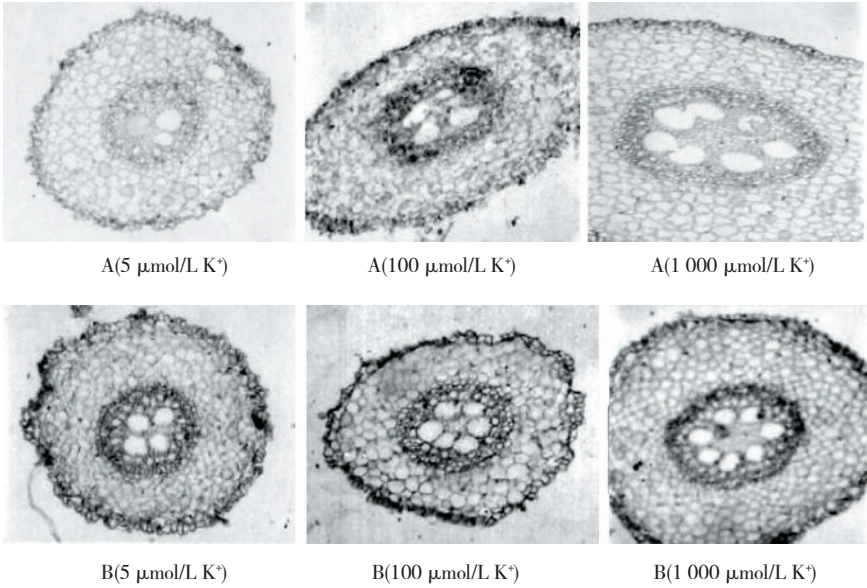


图 4 两个玉米品种根毛区解剖结构比较

Fig.4 The comparison between the two maize varieties in root hair anatomical structure

2.2 不同供钾对两个玉米品种钾吸收特性的影响

2.2.1 低钾对根系活力的影响

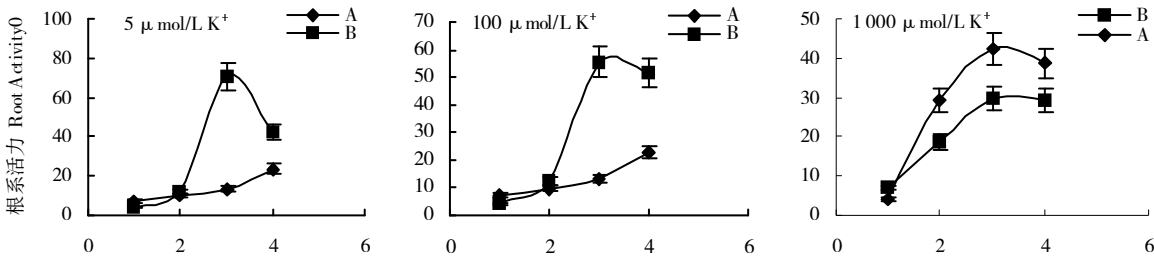


图 5 钾浓度为 5 μmol/L、100 μmol/L、1 000 μmol/L 时的根系活力

Fig.5 Root activity in 5 μmol/L K⁺, 100 μmol/L K⁺ and 1 000 μmol/L K⁺

由图 5 可看出,当营养液处于高钾条件时,A 的根系活力显著高于 B;当营养液处于低钾条件时,自交系之间的根系活力的变化有明显的差异,B 的根系活力前期迅速升高,然后增势变缓,后期逐渐稳定在较高的水平;A 的根系活力缓慢增加,显著小于

B。B 的根系活力差异达到了极显著水平,而 A 的差异不显著。

2.2.2 低钾对 Km、Imax 值的影响

植物根系吸收生理学特征的表征主要是通过吸收动力学参数 (km—米氏常数,Imax—最大吸收速

度)加以描述的。钾高效基因型植物具有 km 值小、Imax 值大的特征。从表 1 可以看出,在完全营养液中,A 与 B 的 km 值都很高,说明二者对钾的亲合力较低,这时钾吸收是通过钾通道进行的。在低钾条

件下,A 与 B 的 km 值都有所下降,但 B 下降的幅度大于 A,说明 B 具有钾高效基因型的特征,有较强的吸钾能力。

表 1 玉米不同自交系吸收 K⁺ 的动力学参数
Table 1 The parameters Km and Imax of K⁺ absorbed in different inbred lines of maize

品 种 Varieties	钾处理(μ mol/L) Potassium treatment	Km(× 10 ⁻⁶ mol/L)			Imax(× 10 ⁻⁹ mol/L·sec)		
		0 d	3 d	10 d	0 d	3 d	10 d
A	5	6.263 3	5.420 0	5.710 0	5.385	6.620	9.617
	100	6.263 3	5.894 0	5.980 0	5.385	6.725	9.813
	1 000	6.263 3	6.600 0	6.600 0	5.385	6.443	7.093
B	5	6.640 0	3.455 0	3.420 0	5.358	8.690	14.330
	100	6.6400	4.008 1	3.646 3	5.358	9.420	17.660
	1 000	6.640 0	6.760 0	6.000 0	5.358	6.810	9.519

3 讨 论

低钾条件下,细胞渗透调节失调,受钾调节的酶活性下降,地上部分光合受阻,低钾信号通过 IAA (促进碳水化合物向根系转运,从而促进了根系的生长)极性运输由植物地上部分传导到地下,诱导根系生长,提高钾的吸收。因此,低钾条件下,由于长期对环境的适应导致基因型的差异,对缺钾采取不同的适应方式。在低钾环境下生长的自交系,通过根数、根毛变化,调节对环境的适应;而在高肥水环境下生长的自交系,则通过根长的改变来适应环境的变化。由根的解剖结构可见,耐低钾自交系在低钾下,不仅根毛组织形态发生改变,而且内部的木质部结构发生相应的变化。因此,根部从形态与结构两个方面适应低钾刺激,以此调节钾的吸收与运转。

缺钾刺激植物的形态与结构协同作用,从转录和翻译水平上产生新的钾传递蛋白,提高高亲和钾吸收能力,降低 Km 值,增加 Imax,促进钾吸收。耐性品种的钾吸收以两种方式进行,初期通过膜传递蛋白磷酸化水平迅速反应适应低钾环境,后期通过基因表达产生新的传递蛋白参入根毛结构,通过扩大根系活跃吸收面积和提高高亲和能力适应低钾环境。

参考文献:

[1] Alonso R N, Francisco R. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants[J]. Exp. Bot., 2006, 57: 1149-1160.

[2] Anne A, Véry, Herv é S. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants[J]. Annu. Rev. Plant Biol., 2003, 54: 575-603.

[3] Ashley M K, Grant M, Grabov A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins[J]. Exp. Bot., 2006, 57: 425-436.

[4] Andrews M, Maule H G, Raven J A, Mistry A. Extension growth of Impatiens glandulifera at low irradiance: importance of nitrate and potassium accumulation[J]. Ann. Bot., 2005, 95: 641-648.

[5] Julia F, Liam D. Root hairs as a model system for studing plant cell growth[J]. Annals of Botany, 2001, 88: 1-7.

[6] Mark W S, Britto D T, Herbert J K. Rapid, futile K⁺ cycling and pool-Size dynamics define low-affinity Potassium transport in barley [J]. Plant Physiology, 2006, 141: 1494-1507.

[7] Ryoung S, Howard B, Daniel P S. Reactive oxygen species and root hairs in arabidopsis root response to nitrogen, posphorus and potassium deficiency[J]. Plant Cell Physiol, 2005, 46: 1350-1357.

[8] Miklós E, Sarjala T. Correlation between the levels of potassium and polyamines in the leaves of grapevine [J]. Plant Physiology, 2002, 46 (3-4): 203-204.

[9] Xu W F, Shi W M. Expression profiling of the 14-3-3 gene family in response to salt stress and potassium and iron deficiencies in Young Tomato(*Solanum lycopersicum*) roots: Analysis by real-time RT-PCR [J]. Ann. Bot., 2006, 98: 965 - 974.

[10] Markus G, Pascal M, Julian I S. The Potassium transporter *AtHAK5* functions in K⁺ deprivation-induced high-affinity K⁺ uptake and AKT1 K⁺ channel contribution to K⁺ uptake kinetics in arabidopsis roots[J]. Plant Physiology. 2005, 137: 1105-1114.

[11] 刘 蓓,曹敏建,闰洪奎. 低钾胁迫下不同耐性玉米自交系生理差异的研究[J]. 玉米科学,2006,14(3):90-92.

(责任编辑:李万良)