

文章编号: 1005-0906(2007)03-0022-04

玉米自交系铁 7922 苗期耐低氮胁迫原因探讨

孙 健, 冯汉宇, 周顺利, 王志敏

(农业部作物栽培与耕作学重点开放实验室; 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘 要: 以低氮胁迫(NO_3^- -N 0.2 mmol/L)与正常供氮(NO_3^- -N 2 mmol/L)条件下的生物量比值作为耐低氮能力指标, 从 12 份玉米自交系中筛选出在低氮胁迫条件下苗期能够正常生长的自交系铁 7922。通过不同玉米自交系对低氮胁迫反应差异的比较研究, 从根系与氮利用效率对低氮环境的响应以及硝酸盐吸收动力学等 3 个方面对铁 7922 耐低氮原因进行了探讨。结果表明, 铁 7922 对低氮环境的适应是多因素共同作用的结果, 表现在氮胁迫浓度下根干重的增加、氮利用效率的显著提高以及较小的 K_m 和低的 C_{min} 。单纯的根干重的增加 (掖 515) 或氮利用效率的提高 (H21) 或较小的 K_m (4F1、豫 8701) 并不能保证在低氮环境的正常生长。

关键词: 玉米自交系; 氮胁迫; 根系; 氮利用效率

中图分类号: S513.024

文献标识码: A

Discussion on the Resistance of Maize Inbred Line Tie 7922 to Low Nitrogen Stress in Seedling

SUN Jian, FENG Han-yu, ZHOU Shun-li, WANG Zhi-min

(Key Laboratory of Crop Cultivation & Farming System, Ministry of Agriculture; College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: According to the biomass ratio of maize inbred line grew in two nitrate levels (0.2 mmol/L, low nitrogen stress level; 2 mmol/L, normal nitrogen level) in water culture, the maize inbred line Tie7922 which grew normally in low nitrogen stress solution in seedling was observed. Comparing the responses to low nitrogen stress of 12 maize inbred lines, the resistance mechanism of Tie7922 to low nitrogen stress of was discussed from three aspects: root growth, nitrogen use efficiency(NUE) and nitrate uptake dynamics parameters. The adaptation of Tie7922 to low nitrogen was a joint effect of several factors: the root dry matter was increased and the NUE was improved significantly when the inbred line was cultivated in low nitrogen solution, the smaller K_m and the lower C_{min} in normal nitrogen supply. But when the root dry matter increased single (the maize inbred line Ye515), or NUE improved single (the maize inbred line H21), or a smaller K_m single (the maize inbred lines 4F1 and Yu8701), they can not grow well as in normal nutrition solution.

Key words: Maize inbred lines; Low nitrogen stress; Root; Nitrogen use efficiency

自从 Harvey(1939)首次报道不同玉米品种在吸收利用氮素方面的差异以来, 利用耐低氮营养的遗传特性筛选改良品种, 以适应瘠薄的生长环境及提高氮肥的利用效率成为一条重要的生物学途径。孙

世友等报道了氮胁迫下根系分泌物、硝酸还原酶活性与不同效率玉米基因型之间的关系; 王艳等从根系形态的角度研究了低氮胁迫条件下玉米基因型的差异。但有关研究仅限于某一个方面, 对于深入了解玉米耐低氮胁迫的生理生化机制尚显不足。本文通过比较不同供氮水平下玉米自交系在根系干重、生物量、硝酸盐吸收动力学及植株氮利用效率上的差异, 筛选出了苗期耐低氮胁迫的玉米自交系铁 7922。通过不同基因型间的比较分析, 探讨了氮吸收能力(根重量)、氮利用效率以及硝酸盐吸收动力学参数与耐低氮胁迫间的关系。

收稿日期: 2007-03-12; 修回日期: 2007-04-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(30300212)

作者简介: 孙 健(1981-), 女, 吉林松原人, 硕士, 主要从事玉米营养生理研究。Tel: 010-62732557

E-mail: sj3571@163.com

周顺利为本文通讯作者。E-mail: zhoushl@cau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验材料

以不同遗传背景的12份常规玉米自交系为研究材料(表1)。

表1 供试玉米自交系名称及遗传背景
Table 1 Maize inbred lines and its genetic background

编号 No.	自交系 Inbred lines	遗传背景 Genetic background	编号 No.	自交系 Inbred lines	遗传背景 Genetic background
1	掖478	瑞德群	7	Mo17	兰卡斯特
2	掖107	瑞德群	8	4F1	兰卡斯特
3	铁7922	瑞德群	9	丹340	自330
4	H21	塘四平头	10	综31	自330
5	文黄413	塘四平头	11	豫8701	热带亚热带种质
6	掖515	塘四平头	12	南21-3	热带亚热带种质

1.2 试验方法

试验采用水培的方法进行。水培室室温18~25℃,营养液温度20~24℃,室内湿度为40%~60%,光强250~300 lx,昼夜光照时间为12 h/12 h。

1.2.1 植株培养

选择均匀一致的玉米种子,2%次氯酸钠消毒10 min后用去离子水冲洗3次,然后在饱和硫酸钙溶液中浸泡4~6 h,后转移到该溶液浸泡的纱布中发芽,待种子露白后播于饱和硫酸钙浸湿的石英砂上,室温下暗室培养。2叶1心时精选长相相似的幼苗,去胚乳,移至加有pH 5.6±0.1的营养液的培养钵中固定培养。营养液组成为(mmol/L):K₂SO₄ 0.75, KH₂PO₄ 0.25, MgSO₄·7H₂O 0.65, EDTA-NaFe 0.1, H₃BO₃ 1.0×10⁻², MnSO₄·H₂O 1.0×10⁻³, ZnSO₄·7H₂O 1.0×10⁻³, CuSO₄·5H₂O 1.0×10⁻⁴, Na₂Mo₇O₂₄·4H₂O 5.0×10⁻⁶, 氮以Ca(NO₃)₂·4H₂O供给。营养液用电动气泵连续通气,每2 d更换一次。

1.2.2 氮营养特性反应差异的比较研究

试验设定两个氮浓度,NO₃⁻-N 2 mmol/L(正常浓度)和NO₃⁻-N 0.2 mmol/L(胁迫浓度)。玉米自交系长至6叶1心时取样,每个自交系3株作为一个重复,3~4次重复。具体处理方法如下:先将样品洗净后擦干,按地上部、根两个部分分开,测定地上部及根鲜重,烘干(105℃杀青0.5 h,在70~80℃烘干),称重,粉碎,用自动分析凯氏定氮仪KDY-9830测定全氮含量。

氮利用效率=植株生物量(干重)/植株全氮含量。

1.2.3 硝酸盐吸收动力学测定

硝酸盐吸收动力学测定采用改进常规耗竭法,即玉米在正常氮浓度(2 mmol/L)培养至6叶1心时,将培养苗从完全营养液中转移到无氮营养液中培养48 h(其中钙用2 mmol/L CaCl₂补充),后取健苗,每5株为一个重复,转至600 mL完全培养溶液中进行吸收试验,每30 min吸取1 mL培养溶液,共吸收5 h。吸收后测定根系鲜重、干重及吸收液的硝态氮浓度,3~4次重复。硝态氮的测定采用水杨酸比色法。

硝酸盐吸收动力学参数的计算参照毛达如等(1994)的方法。

2 结果与分析

2.1 不同供氮水平下玉米自交系生物量的反应差异

为了表征不同玉米自交系对低氮胁迫的反应差异,计算了胁迫浓度与正常供氮条件下的地上部干重、根干重以及单株干重的比值(表2)。结果表明,不同玉米自交系之间对低氮胁迫的反应差异显著。在低氮胁迫条件下是否能够达到正常供氮时的生物量(即单株干重的比值≥1)作为判断指标,发现铁7922苗期能够适应低氮胁迫环境,单株干重比大于1。

表2 12份玉米自交系在氮胁迫浓度与正常供氮条件下的地上部干重、根干重以及单株干重的比值

Table 2 The ratio of maize inbred line grew in two nitrogen levels in shoot dry matter weight, root dry matter weight and biomass per plant

编号 No.	自交系 Inbred lines	根冠比 Ratio of root to crown		地上部干重比 Shoot dry matter weight ratio	根干重比 Root dry matter weight ratio	单株干重比 Dry matter weight ratio per plant
		胁迫 Stress	正常 Normal			
1	掖478	0.42	0.26	0.40	0.64	0.44
2	掖107	0.38	0.33	0.73	0.85	0.75
3	铁7922	0.32	0.30	0.96	1.09	1.03
4	H21	0.51	0.26	0.44	0.86	0.53
5	文黄413	0.31	0.25	0.80	0.97	0.83

续表 2 Continued 2

编 号 No.	自交系 Inbred lines	根冠比 Ratio of root to crown		地上部干重比 Shoot dry matter weight ratio	根干重比 Root dry matter weight ratio	单株干重比 Dry matter weight ratio per plant
		胁迫 Stress	正常 Normal			
6	掖 515	0.50	0.24	0.53	1.12	0.64
7	Mo17	0.52	0.29	0.39	0.70	0.46
8	4F1	0.96	0.44	0.32	0.70	0.44
9	丹 340	0.55	0.33	0.24	0.41	0.28
10	综 31	0.61	0.39	0.49	0.77	0.57
11	豫 8701	0.62	0.48	0.36	0.46	0.39
12	南 21-3	0.69	0.36	0.43	0.82	0.54

12 份玉米自交系在胁迫浓度的根冠比均明显大于正常供氮浓度，这也体现在根干重比均大于地上部干重比上。但是单纯的根系生长的加强并不一定能够保证玉米自交系在低氮胁迫条件下的正常生长。从根干重比可以看出,在胁迫浓度下有 3 个自交系的根干重超过或接近正常浓度时的重量，分别是铁 7922 为 1.09、掖 515 为 1.12 和文黄 413 为 0.97。但只有铁 7922 的单株干重或者地上部干重超过或

接近正常供氮浓度时的重量；另外 2 个自交系的地上部干重比并不高,分别为 0.53 和 0.80,甚至自交系掖 107 的地上部干重比也超过了掖 515(其根干重比仅为 0.85)。可见,氮胁迫条件下根系生长的加强对作物适应低氮环境有贡献，但是仅仅通过根系生长的加强并不一定能够适应低氮胁迫环境。

2.2 玉米自交系的单株氮积累量及氮利用效率分析

表 3 12 份玉米自交系单株氮积累量及氮利用效率
Table 3 The nitrogen accumulation amount and nitrogen use efficiency of 12 maize inbred lines

编 号 No.	自交系 Inbred lines	氮积累量(mg/ 株)		氮利用效率 (mg/g)		氮利用效率比值 NUE _{0.2} /NUE ₂
		Nitrogen accumulation amount		Nitrogen use efficiency (NUE)		
		胁迫 Stress	正常 Normal	胁迫 Stress	正常 Normal	
1	掖 478	24.2	123.8	0.84	0.37 abc	2.27
2	掖 107	16.0	42.0	0.66	0.33 ab	2.00
3	铁 7922	24.0	55.6	0.81	0.32 a	2.53
4	H21	16.2	86.0	1.06	0.38 abc	2.79
5	文黄 413	15.5	45.5	0.77	0.32 a	2.41
6	掖 515	19.2	61.7	0.79	0.39 abc	2.03
7	Mo17	16.0	81.0	0.77	0.34 ab	2.26
8	4F1	18.7	76.0	0.75	0.42 abcd	1.79
9	丹 340	8.2	60.1	0.87	0.42 abcd	2.07
10	综 31	22.4	91.0	0.86	0.37 abc	2.32
11	豫 8701	17.5	86.4	0.91	0.47 cd	1.94
12	南 21-3	14.3	58.9	0.84	0.38 abc	2.21

表 3 结果表明，不同自交系在低氮胁迫浓度下的氮积累总量差异较正常供氮浓度下的差异要小，最高与最低相差 2 倍，而正常供氮浓度下相差 6 倍。

在正常氮浓度下，玉米自交系氮利用效率变化范围在 32% ~ 42%，变异系数为 14%。氮胁迫浓度下,所有玉米自交系的氮利用效率均明显提高,变化范围为 66% ~ 105%,变异系数为 11%。正常氮浓度下,4F1 和丹 340 的氮利用效率最大，铁 7922 和文黄 413 的最低,也就是说在正常供氮水平下铁 7922

和文黄 413 每吸收单位的氮生产的干物质最少;在胁迫浓度下,H21 的氮利用效率最大,豫 8701 次之，铁 7922 的也不高。计算两个浓度下的氮利用效率的比值(NUE_{0.2}/NUE₂)发现,H21 最大,铁 7922 次之，也就是说，为了适应低氮的生长环境,H21 和铁 7922 通过协调自身的代谢过程利用有限资源生产出更多物质的能力，而更多的地上部生物量可能会反过来再增强这种适应能力。但是,应该说通过氮利用效率的提高来适应低氮的胁迫环境的作用有限，自交系

H21 的 $NUE_{0.2}/NUE_2$ 最大,但其地上部干重比仅为 0.44,单株干重比仅为 0.53。

2.3 玉米自交系硝态氮的根系吸收动力学参数比较分析

表 4 12 份玉米自交系硝酸盐吸收动力学参数
Table 4 The nitrate uptake dynamics parameters of 12 maize inbred line

编号	自交系	$V_{\max}$	K_m	$C_{\min}$
No.	Inbred lines	[$\mu\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{g}\cdot\text{h})$]	($\mu\text{mol}/\text{L}$)	($\mu\text{mol}/\text{L}$)
1	掖 478	1.16 c	136.68 cde	38.34 cd
2	掖 107	1.96 de	64.34 b	45.11 de
3	铁 7922	0.41 a	35.35 ab	31.30 a
4	H21	1.80 d	105.80 c	42.51 cd
5	文黄 413	2.83 g	206.01 f	42.82 cd
6	掖 515	2.00 de	337.91 g	40.90 cd
7	Mo17	2.23 f	159.93 e	39.89 c
8	4F1	0.66 b	18.10 a	44.53 de
9	丹 340	1.92 de	105.44 c	39.47 c
10	综 31	2.12 ef	145.45 de	42.30 cd
11	豫 8701	0.87 b	28.57 a	47.42 e
12	南 21-3	1.93 de	120.61 cd	35.52 b

根系吸收动力学参数($V_{\max}$ 、 K_m 、 $C_{\min}$)可以用来衡量植物根系对离子的吸收能力。最大吸收速率($V_{\max}$)表示离子吸收(结合)位点的量;米氏常数(K_m)的倒数表示根吸收位点对离子亲和力的大小;最低吸收浓度($C_{\min}$)表示离子的最低有效吸收浓度。高的 $V_{\max}$ 、低的 K_m 与 $C_{\min}$ 有利于对离子的吸收。

以硝态氮为氮源测定了玉米自交系的硝态氮根系吸收动力学,结果表明玉米各个自交系间差异明显(表 4)。 $V_{\max}$ 测定值为 0.41~2.83 $\mu\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{g}\cdot\text{h})$,其中文黄 413 的 $V_{\max}$ 值最大,铁 7922 的 $V_{\max}$ 最小; K_m 测定范围为 18.10~337.91 $\mu\text{mol}/\text{L}$,其中 4F1 的 K_m 最小,掖 515 的 K_m 最大; $C_{\min}$ 测定范围为 31.30~45.11 $\mu\text{mol}/\text{L}$,其中铁 7922 的 $C_{\min}$ 最小,掖 107 的 $C_{\min}$ 最大。统计结果表明,铁 7922 在 K_m 方面与最小的 4F1 自交系之间差异不显著,在 $V_{\max}$ 与 $C_{\min}$ 方面与其他自交系的差异达到显著性水平。结合胁迫浓度与正常浓度时的地上部干重比与单株干重比(表 2)进行分析发现,铁 7922 的 $V_{\max}$ 最小,但其单株干重比或地上部干重比接近或在 1 以上, $V_{\max}$ 在自交系对低氮胁迫的适应方面起的作用可能相对较低。同时,单纯的低的 K_m 也并不能适应低氮环境,4F1 与豫 8701 有比铁 7922 更低的 K_m ,但其在低氮浓度下的生物量尚不足正常浓度的一半。

3 结论与讨论

实践表明,不同玉米基因型对低氮环境的适应能力是不一样的。在低氮胁迫环境,有些可以正常生长,有些则明显受到抑制。对于耐低氮机制,从吸收与利用的角度看主要表现在以下几个方面:一是在根形态发生学方面,通过根长的增加、根量的增大、侧根和根毛等的大量发生扩大根系的吸收面积,增强对环境氮的获取能力;二是通过自身吸收机能的调节,提高对环境氮的吸收能力和转运能力;三是表现在氮的利用效率(生产效率)方面,即植物吸收的单位氮能够生产出更多的生物产量。

本文证明了不同玉米自交系在耐低氮胁迫与氮效率上存在较大差异。同时,通过比较胁迫环境与正常环境下的生物量比值,筛选出了苗期耐低氮胁迫的玉米自交系铁 7922,并与其他自交系的比较,从以上 3 个方面对其耐低氮胁迫的原因进行了探讨。可以看到,掖 515 在胁迫浓度与正常浓度的根干重比值大于 1;H21 在胁迫浓度与正常浓度的氮利用效率比最大;4F1 与豫 8701 有很低的 K_m ;南 21-3 有与铁 7922 相接近的 $C_{\min}$ 。但是,只有铁 7922 在低氮胁迫条件下能够正常生长。因此,玉米自交系铁 7922 对低氮胁迫环境的适应是多个因素共同作用的结果,即在氮胁迫浓度下根系的正常生长($R_{0.2}/R_2>1$)、氮利用效率的显著提高($NUE_{0.2}/NUE_2$)以及较小的 K_m 和低的 $C_{\min}$ 。

参考文献:

[1] Harvey P H. Hereditary variation in plant nutrition[J]. Genetics, 1939, 24: 437-461.
[2] Presterl T, Gron S,et al. Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under condition of low and high nitrogen input[J]. Plant Breeding, 2002, 121: 480-186.
[3] 曹敏建,等. 耐低氮胁迫玉米的筛选与评价[J]. 玉米科学,2000,8 (4):64-69.
[4] 春 亮,等. 玉米自交系对低氮反应的田间与盆栽评价[J]. 玉米科学,2005,13(1):28-32.
[5] 向春阳,等. 玉米不同基因型对氮营养胁迫的反应[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2002,14(4):5-7.
[6] 关义新,等. 不同玉米自交系氮效率的分析[J]. 玉米科学,2004, 12(1):100-102.
[7] 孙世友,等. 氮胁迫下不同效率玉米基因型的生理特性[J]. 河北农业科学,2006,10(1):26-28.
[8] 王 艳,等. 玉米氮素吸收的基因型差异及其与根系形态的相关性[J]. 生态学报,2003,23(2):297-302.

(责任编辑:张 英)