

Zn²⁺ 活度对不同耐低锌水稻基因型生长及锌吸收的影响*

陈光才 李迎春

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 富阳 311400)

王人民

(浙江大学农学系 杭州 310029)

杨肖娥

(浙江大学资源科学系 杭州 310029)

摘要 试验研究 Zn²⁺ 活度对不同耐低 Zn 水稻基因型生长及 Zn 吸收的影响结果表明, Zn²⁺ 活度较低时水稻生长发育受抑, 其株高、叶片数、干物质积累量均随 Zn²⁺ 活度的降低而下降, 而根冠比、地上部和地下部 Zn 浓度之比则升高, 且低 Zn 条件下耐低 Zn 水稻基因型“ IR8192 ”的 Zn 转运能力、维持根系生长能力均高于 Zn 敏感水稻基因型“ IR26 ”。

关键词 水稻 基因型 Zn²⁺ 活度 Zn 缺乏

Effects of Zn²⁺ activity on seedling growth and Zn uptake of rice differing in resistance to Zn-deficit CHEN Guang-Cai, LI Ying-Chun (Research Institute of Sub-tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China), WANG Ren-Min (Department of Agronomy, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China), YANG Xiao-E (Department of Resources Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China), *CJEA*, 2006, 14(2): 56 ~ 58

Abstract The effects of Zn²⁺ activity on seedling growth and Zn uptake of rice differing in resistance to Zn-deficit show that when the Zn²⁺ activity is low, the growth and development of rice is inhibited; the plant height, leaf number, and dry matter accumulation of rice decrease with the decreasing of Zn²⁺ activity, while the ratio of root to shoot and the Zn concentration ratio of shoot to root increase; Zn transferring capacity, supporting the root growth capacity of Zn-efficient rice genotype 'IR8192' are higher than those of Zn-inefficient rice genotype 'IR26' as Zn deficiency.

Key words Rice, Genotype, Zn²⁺ activity, Zn-deficiency

(Received Oct. 31, 2004; revised Dec. 9, 2004)

土壤缺 Zn 广泛分布于从热带到温带、不同 pH 值、不同有机质含量的土壤以及钙质土、钠质土、湿地土壤和石灰性土壤等各种土壤类型中^[4,5]。随农业生产水平的不断提高,栽培作物不断从土壤中带走大量 Zn,又加剧了土壤和农作物缺 Zn^[6,7],土壤和作物缺 Zn 问题已引起世界各国的高度关注,1966 年印度学者 Nene 首先报道水稻缺 Zn 症。中国 6667 万 hm² 水稻土有效锌含量低于 0.5μg/g,其中石灰性土壤大面积缺 Zn^[1,2],缺 Zn 已成为水稻生产的重要障碍因子之一^[1,8~11]。国际水稻研究所(IRRI)通过田间试验筛选出一批耐低 Zn 的水稻品种并应用于生产,但田间筛选工作量大且受水稻发育特性影响,效率不高,且目前对水稻耐低 Zn 机理研究报道甚少。本试验研究了供 Zn 水平对不同耐低 Zn 水稻基因型生长及 Zn 吸收转运的影响,探讨了水稻 Zn 营养高效的生理机制,为解决水稻缺 Zn 乃至人体缺 Zn 问题提供理论依据。

1 试验材料与方法

试验选用国际水稻研究所筛选出的耐低 Zn 水稻基因型“ IR8192 ”和 Zn 敏感水稻基因型“ IR26 ”为材料,用螯合剂缓冲营养液^[12]培养并选取整齐水稻秧苗,先用蒸馏水培养至 3 叶期(期间换水 1 次),再用 1/2 浓度不含 Zn 营养液培养 4d,之后进行无 Zn 全营养液培养至秧龄 20d 时移栽到塑料桶中,每桶 18 株,设置 4 个 Zn 水平,即在 HEDTA 螯合缓冲培养液中各加入 0.5μmol/L、2μmol/L、10μmol/L 和 40μmol/L ZnSO₄,经 GEOCHEM-PC2.0 版计算 Zn²⁺ 活度 {pZn²⁺ = (-log[Zn²⁺])} 分别为 11.4、11.0、10.3 和 9.7, pZn²⁺ 值越大, Zn²⁺ 活度越小。植物对 Zn 的吸收主要依赖于 Zn²⁺ 的自由活度, Zn²⁺ 活度又随培养液组成及溶液 pH 不同而不同, Zn²⁺ 活度(pZn²⁺)能更精确地反映植物对 Zn 的实际需要,而添加螯合剂能控制 Zn²⁺ 自由活度以

* 国家杰出青年基金项目(39925024)部分研究内容

保持营养液培养不同缺 Zn 程度植株^[12,13]。每桶加营养液 6L, pH 控制在 6.5 ± 0.1 , 每 1d 调节 1 次, 每隔 5d 换一次营养液。试验采用裂区设计, Zn^{2+} 活度为主区, 基因型为副区, 随机排列, 3 次重复。秧苗培养至 20d、27d、34d、41d 或 42d 时各处理分别取 18 株秧苗, 考察其株高、叶龄、地上部、地下部干物质质量。营养液培养于 43d 时结束, 各处理亦分别取 18 株秧苗, 分地上部和地下部冲洗干净后在 75℃ 下烘干、粉碎, 在 550℃ 高温下灰化 8h, 用 1:1 盐酸溶解并定容, 用原子吸收光谱仪 (SHIMADIUAA-6800 型) 测定 Zn 浓度。用 DPS 软件进行试验数据统计分析^[3]。

2 结果与分析

2.1 不同 Zn^{2+} 活度对供试水稻基因型生长的影响

由表 1 可知秧龄 41d 时水稻株高随 Zn^{2+} 活度的降低而降低, 并在 Zn^{2+} 活度 9.7、10.3、11.0 时达显著差异。缺 Zn^{2+} 活度 10.3 比 Zn^{2+} 活度 9.7 时“IR8192”水稻株高下降 14.83%, “IR26”下降 36.66%, 当 Zn^{2+} 活度下降到 11.4 时 Zn 敏感水稻基因型“IR26”在 27d 后基本停止生长, 34d 后完全停止生长, 而耐低 Zn 水稻基因型“IR8192”则一直到秧龄 41d 还保持生长。水稻叶片数随 Zn^{2+} 活度的降低而减少, 各水稻基因型间差异显著, 且不同秧龄各水稻基因型表现不同。从处理 7d (秧龄 27d) 开始各水稻基因型生长的叶片数均随 Zn^{2+} 活度降低而减少; 秧龄 34d 时不同 Zn^{2+} 活度水稻叶片数均达显著差异, “IR8192”在 Zn^{2+} 活度 9.7 和 10.3 间叶片数无显著差异。在极度缺 Zn 即 Zn^{2+} 活度 11.4 时秧苗出叶速度明显下降甚至停止, 在秧龄 41d 时“IR8192”仍保持缓慢生长趋势, 叶片数继续增加, 而“IR26”则在秧龄 34d 时叶片数不再变化, 基本停止生长。

表 2 不同 Zn^{2+} 活度对 42d 秧龄水稻干物质积累的影响

Tab 2 Effect of Zn^{2+} activity on the dry matter accumulation of rice aged 42d

基因型	Zn 活度	总干物质	地上部干物	地下部干物	根冠比
Genotype	Zn^{2+}	量/ g·株 ⁻¹	质量/ g·株 ⁻¹	质量/ g·株 ⁻¹	Root/shoot
	activity	Total dry weight	Shoots dry weight	Root dry weight	
IR26	9.7	0.365Aa	0.298Aa	0.067Aa	0.227Dd
	10.3	0.163Bb	0.130Bb	0.033Bb	0.254Bb
	11.0	0.134Cc	0.106Cc	0.028Bb	0.264Aa
	11.4	0.082Dd	0.066Dd	0.016Cc	0.241Cc
IR8192	9.7	0.418Aa	0.372Aa	0.046Aa	0.123Cc
	10.3	0.305Bb	0.262Bb	0.043Aa	0.165Bb
	11.0	0.180Cc	0.154Cc	0.026Bb	0.171Bb
	11.4	0.085Dd	0.070Dd	0.015Cc	0.213Aa

差异。随 Zn^{2+} 活度的下降, 地上部干物质质量降低, 各基因型间存在显著差异, 从 Zn^{2+} 活度 9.7 降至 10.3, “IR26”显著降低地下部干物质质量, 而“IR8192”地下部干物质质量减少未达显著水平。轻微缺 Zn 条件下即 Zn^{2+} 活度由 9.7 降到 11.0, 各水稻基因型根冠比随 Zn^{2+} 活度的下降而升高; 在极度缺 Zn 即 Zn^{2+} 活度 11.4 时不同水稻基因型根冠比表现有所差异, “IR26”根冠比下降, 而“IR8192”则继续上升并达显著水平。

表 1 不同 Zn^{2+} 活度对供试水稻基因型生长的影响*

Tab 1 Effect of different Zn^{2+} activities on the seedling growth of rice

基因型	项 目	Zn 活度	秧龄/ d			
			20	27	34	41
Genotype	Items	Zn^{2+} activity	Seedling age			
IR26	株高/ cm	9.7	17.325	29.767Aa	33.254Aa	37.210Aa
		10.3	17.325	21.500Bb	21.567Bb	23.567Bb
		11.0	17.325	20.500Bc	20.186Bb	21.231Cc
		11.4	17.325	19.167Bc	19.833Bb	19.833Cc
	叶数/ 片	9.7	4.112	6.267Aa	6.733Aa	7.167Aa
		10.3	4.112	5.733Bb	6.253Bb	6.367Bb
		11.0	4.112	4.443Cc	5.033Cc	5.036Cc
		11.4	4.112	4.232Cc	4.267Dd	4.267Dd
IR8192	株高/ cm	9.7	18.532	33.000Aa	35.767Aa	37.767Aa
		10.3	18.532	28.167Bb	29.167Bb	32.167Bb
		11.0	18.532	26.733Bb	24.000Cc	26.350Cc
		11.4	18.532	23.500Cc	23.733Cc	24.733Cc
	叶数/ 片	9.7	4.312	6.233Aa	6.900Aa	7.500Aa
		10.3	4.312	5.667Bb	6.800Aa	7.200Aa
		11.0	4.312	5.267Cc	6.033Bb	6.033Bb
		11.4	4.312	4.567Dd	5.100Cc	5.262Cc

* 表中数值为 18 株秧苗的平均值, 不同字母为 Duncan's 新复极差测验的多重比较, A, B, C 表示 $P < 0.01$ 差异显著, a, b, c 表示 $P < 0.05$ 差异显著, 下同。

2.2 不同 Zn^{2+} 活度对供试水稻基因型秧苗干物质积累分配的影响

由表 2 可知各水稻基因型秧苗总干物质积累均随 Zn^{2+} 活度的下降而降低, 但降幅存在显著基因型差异。当 Zn^{2+} 活度从 9.7 降至 10.3 时各水稻基因型干物质积累量均显著下降, “IR26”下降 55.34%, “IR8192”下降 27.03%。在 Zn^{2+} 活度 11.0 和 11.4 时各水稻基因型总干物质质量均极显著下降。水稻秧苗地上部和地下部干物质质量均随 Zn^{2+} 活度降低而下降, 但地上部、地下部变化存在

表 3 不同 Zn^{2+} 活度对不同部分水稻秧苗含 Zn 量的影响Tab 3 Effect of different Zn^{2+} activities on the Zn concent of rice seedling in different parts

基因型 Genotype	Zn 活度 Zn^{2+} activity	地上部含 Zn 量/ $mg \cdot kg^{-1}$ Zn content of shoot	地下部含 Zn 量/ $mg \cdot kg^{-1}$ Zn content of root	秧苗总 Zn 量/ $\mu g \cdot 株^{-1}$ Total Zn per plant	地上部 Zn/ 地下部 Zn Shoot Zn/ root Zn
IR26	9.7	71.84Aa	160.61Aa	32.23	0.447
	10.3	55.93Bb	91.79Bb	9.97	0.609
	11.0	43.95BCc	63.96Cc	7.57	0.687
	11.4	41.32Cc	62.23Cc	3.28	0.664
IR8192	9.7	85.35Aa	192.28Aa	40.45	0.444
	10.3	58.37Bb	88.16Bb	19.22	0.662
	11.0	52.03CcBb	74.14Cc	9.93	0.702
	11.4	46.72Cc	64.96Dd	5.38	0.719

2.3 不同 Zn^{2+} 活度对供试水稻基因型秧苗 Zn 吸收分配的影响

由表 3 可知水稻秧苗各部分含 Zn 量均随 Zn^{2+} 活度的降低而下降。水稻秧苗地上部、地下部和秧苗累积含 Zn 量均在 Zn^{2+} 活度 9.7 时达最高, 在 Zn^{2+} 活度 11.4 时达最低, 各水稻基因型下降幅

度差异显著。在相同 Zn^{2+} 活度下, 各水稻基因型含 Zn 量也存在明显差异, Zn^{2+} 活度 11.0 时地上部含 Zn 量“IR8192”为 $52.03mg/kg$, “IR26”为 $43.95mg/kg$, 前者比后者高 18.38%。 Zn^{2+} 活度 9.7 时“IR8192”地下部含 Zn 量为 $192.28mg/kg$, 远高于“IR26”的 $160.61mg/kg$, 在 Zn^{2+} 活度 11.4 时两者差异不显著。各水稻基因型累积吸 Zn 量均随 Zn^{2+} 活度降低而下降, Zn^{2+} 活度下降到 10.3 时供试水稻基因型单株累积吸 Zn 量“IR26”下降 69.07%, “IR8192”下降 52.48%。 Zn^{2+} 活度 11.4 时各水稻基因型累积吸 Zn 量“IR8192”为 $5.38\mu g/株$, “IR26”仅为 $3.28\mu g/株$ 。供试水稻基因型地上部和地下部含 Zn 量之比在 Zn^{2+} 活度 9.7 时最低, 并随外界 Zn^{2+} 活度的降低而增加, 不同水稻基因型增幅有明显差异。当 Zn^{2+} 活度进一步下降到 11.4 时, “IR26”地上部与地下部含 Zn 量之比较 Zn^{2+} 活度 11.0 略有下降, “IR8192”达最大值, 增加 61.94%。

3 小 结

Zn^{2+} 活度较低时水稻生长发育受到抑制, 株高、叶片数、干物质积累量均随 Zn^{2+} 活度的降低而下降, 但地上部与地下部 Zn 浓度之比、根冠比则升高, 说明低 Zn 条件下各水稻基因型均能把更多的 Zn 从地下部向地上部转运, 同时水稻秧苗生长地上部比地下部更易受到抑制, 秧苗能够增加地下部干物质的积累来扩大根系以增加对营养元素的吸收。低 Zn 条件下耐低 Zn 水稻基因型“IR8192”Zn 转运能力和维持根系生长的能力均高于 Zn 敏感水稻基因型“IR26”。

参 考 文 献

- 1 刘 铮. 中国土壤中锌含量和分布规律. 中国农业科学, 1994, 27(1): 30 ~ 37
- 2 刘 铮, 朱其清, 唐丽华等. 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布. 土壤学报, 1982, 19(3): 203 ~ 209
- 3 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及 DPS 数理系统. 北京: 科学出版社, 2002
- 4 Sillanpaa M, Vlek P.L.G. Micronutrients and the agro-ecology of tropical and Mediterranean regions. Fert. Res., 1985, 7: 151 ~ 167
- 5 Takker P.N., Walker C.D. The distribution and correction of zinc deficiency. Zinc in Soils and Plants. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 151 ~ 165
- 6 Cakmak I., Dirici R., Torun B., et al. Role of rye chromosomes in improvement of zinc efficiency in wheat and triticale. Plant and Soil, 1997, 196: 249 ~ 253
- 7 Ktan H.R., McDonald G.K., Rmgel Z. Chickpea genotypes differ in their sensitivity to Zn deficiency. Plant and Soil, 1998, 198: 11 ~ 18
- 8 Yoshida S., Forno D.A., Bhadrachalam A. Zinc deficiency of the rice plants on calcareous and neutral soils in Philipines. Soil Sci. Plant Nutri., 1971, 17: 83 ~ 87
- 9 Cayton M.T.C., Reyes E.D., Neue H.U. Effect of zinc fertilization on the mineral nutrition of rice differing in tolerance to zinc deficiency. Plant and Soil, 1985, 87: 319 ~ 327
- 10 Ponnampereuma F.N. Breeding crop plant to tolerate soil stress. Plant Improvement and Somatic Cell Genetics. New York: Academic Press, 1982. 73 ~ 97
- 11 Rattan P.K., Shrkla L.M. Critical limits of deficiency and toxicity of zinc in paddy rice. Common Soil Sci., Plant Analy., 1984, 15(9): 1041 ~ 1050
- 12 Bell P.F., Chaney R.L., Angle R.S., et al. Free metal activity and total metal concentration as indices of metal availability to barley (*Hordeum vulgare* cv 'Kalages'). Plant and Soil, 1991, 130: 51 ~ 62
- 13 Chaney R.L. Metal speciation and interaction among elements affect trace element transfer in agricultural and environment food-chains. Metal Speciation: Theory, Analysis, and Application. Chelsea, MI: Lewis Publishers, Inc., 1988. 219 ~ 260