

# 水稻籽粒钾和蛋白质含量的基因型差异

刘建祥 杨肖娥 吴良欢 杨玉爱 (浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310029)

## Genotypic Difference in Potassium and Protein Content in Rice Grain

L U Jian-xiang, YANG Xiao-e, WU Liang-huan, YANG Yu-ai

(College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** Field experiment was conducted with three rice genotypes differed in the tolerance to low potassium stress. The results showed that low potassium stress led to decreasing in the content of potassium and crude protein in milled rice grains. The content of potassium in hull was higher than that in milled rice grain; and was correlated significantly with that of crude protein in milled rice grains. The relative potassium content in milled rice or hull and crude protein content in milled rice was higher for the efficient genotype than that for the inefficient genotype.

**Key words:** rice; potassium; crude protein; genotype

**摘 要:** 采用对低钾胁迫敏感程度不同的3种水稻基因型进行田间试验, 以研究水稻籽粒中钾和蛋白质含量。结果表明, 低钾胁迫降低水稻籽粒中钾含量和粗蛋白含量, 谷壳中钾含量高于米粒中钾含量, 米粒中钾含量与粗蛋白含量呈显著正相关。钾高效基因型在低钾胁迫下谷壳和米粒中具有较高的钾相对含量, 其米粒中的粗蛋白相对含量也较高。

**关键词:** 水稻; 钾; 粗蛋白; 基因型

中图分类号: Q 945; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2002)01-0083-03

水稻是我国的主要食粮, 其常年种植面积和产量分别占粮食作物的30%和40%<sup>1</sup>, 我国居民的食物中70%的热量, 65%的蛋白质和大部分微量元素来自谷类<sup>2</sup>。钾是植物必需营养元素之一, 参与植物体内的一系列生理生化过程, 在植物生长、代谢、酶活性调节和渗透调节中发挥着重要作用<sup>3</sup>。生长期为115 d单季水稻生产9.8 t/hm<sup>2</sup>稻谷约需K<sub>2</sub>O 258 kg<sup>4</sup>。钾离子能促进植物体内氨基酸的运转, 特别是运转到发育的籽粒中, 同时激活蛋白质合成中的许多酶, 因此钾与水稻籽粒中蛋白质含量关系密切。同时钾也是人体和动物必需的元素之一, 人和动物细胞中的钾含量高达100~160 mmol/L, 较血浆(3.5~5.0 mmol/L)高25~30倍。钾作为能量传递酶辅助因子, 在碳水化合物贮存和细胞生长方面有其特殊作用; 钾在细胞内有极显著的渗透活性, 它在维持细胞内外液体的适宜分布中起着主要作用, 因而也在维持细胞最佳容积中起主要作用<sup>5</sup>。缺钾对心肌<sup>6</sup>、骨骼肌<sup>7</sup>、平滑肌<sup>8</sup>有十分显著的作用, 常导致肌肉病变、高血压以及低血钾症等疾病<sup>5</sup>。虽然有人提出可以通过加入含钾的食品添加剂来增加食品中的钾含量, 但由于食品中添加钾将影响到食品的味道(既咸又苦)<sup>9</sup>, 故食品生产中有关含钾添加剂的可行性的资料报道较少。我国耕地普遍缺钾, 严重缺钾土壤(速效钾<50 mg/kg)和一般缺钾土壤(速效钾为50~70 mg/kg)总计0.23亿hm<sup>2</sup>, 约占耕地面积的23%, 在南方大部分为水稻土<sup>10</sup>。许多研究表明, 水稻的不同基因型在钾的吸收、转运、利用等方面存在显著差异<sup>11~14</sup>, 如何提高钾素经济利用效率以及提高籽粒中钾含量和蛋白质含量, 缓解我国钾素资源不足(除青海和新疆罗布泊钾矿资源外, 目前在其他地方尚未发现具有开发利用价值的钾矿资源<sup>15</sup>), 提高我国人民日常

生活中钾摄入量, 减轻上述疾病, 促进人类健康具有重要的理论和实践意义。此外, 钾是“抗逆元素”、“品质元素”, 又是“经济用水元素”, 提高作物钾素经济利用效率对于提高农产品品质和经济用水具有不可忽略的作用。

目前有关水稻钾营养基因型差异的研究主要集中在形态差异方面, 不同水稻基因型种子中钾含量的差异的报道很少, 刘国栋等曾报道过水稻种子含钾量的基因型差异<sup>16</sup>, 但低钾胁迫下水稻体内钾经济利用效率(internal K use efficiency, IKUE)与籽粒中钾含量和蛋白质含量的关系还很不清楚, 本文将对这一领域作初步探讨, 旨在为筛选和选育钾高效兼籽粒富钾水稻基因型提供借鉴。

## 1 材料与方法

经大容量水培筛选后选用籼稻(*Oryza sativa* L. subsp. *indica*) 基因型HA-881043、九农早1号和铜梁火种(分别代表钾高效、钾中效和钾低效3种基因型)于浙江大学试验农场进行田间试验, 土壤为低钾小粉土, 含速效N 49.5 mg/kg; 速效P (0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>提取) 41.5 mg/kg; 速效K 30.6 mg/kg; 全N 0.24%; 全P 0.10%; 全K 1.92%; 有机质1.04%; pH 5.99。采用裂区设计, 主处理设施钾(K<sub>1</sub>)与不施钾(K<sub>0</sub>)两个水平, 副处理为3种基因型, 4次重复, 随机排列, 整区面积32.5 m<sup>2</sup>, 裂区面积2.7 m<sup>2</sup>。每小区施N 150 kg/

收稿日期: 2000-06-29; 修改稿收到日期: 2001-02-12。

基金项目: 浙江省自然科学基金青年科技人才培养专项资金资助项目(315200)。

第一作者简介: 刘建祥(1975-), 男, 在读博士研究生。

$\text{hm}^2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; 施钾小区施  $\text{K}_2\text{O}$  189  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , N、P、K 源分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。收获时以小区计产, 推算理论产量; 每小区取 5 兜, 分别将稻谷和茎秆于 110 杀青, 80 烘干, 微型粉碎机粉碎后用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  消煮, 火焰分光光度计测定样品钾含量。稻谷碾后将谷壳和糙米粒分别用微型粉碎机粉碎后按吉田昌一的方法提取 1 mol/L HCl 浸提,  $W(\text{样品}) : V(\text{提取液}) = 1 : 25$ , 提取 24 h, 火焰分光光度计测定钾含量, 用开氏法测定米粒粗蛋白质含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水稻钾经济利用效率的基因型差异

种植在低钾胁迫土壤( $K_0$ )上的水稻, 其体内钾经济利用效率(籽粒产量/吸钾量)差异很大(图 1)。HA-881043 的钾效率是铜梁火种的 1.49 倍, 两者之间差异达极显著水平。九农早 1 的钾效率介于两者之间, 但与两者差异均不显著。当低钾胁迫解除后水稻钾素经济利用效率有所下降, 但 3 种基因型间均不显著。以上说明在同等缺钾条件下, 钾高效基因型(HA-881043)比钾低效基因型(铜梁火种)更能有效利用体内吸收的钾, 以维持植株生长和新陈代谢。钾高效基因型为研究钾高效利用的生理基础, 提高钾的经济利用效率提供

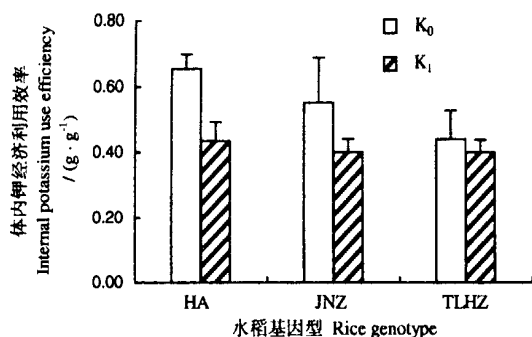


图 1 不同水稻基因型低钾胁迫下( $K_0$ )和正常条件下( $K_1$ )的钾素经济利用效率

Fig. 1. Internal potassium use efficiency in different treatments for different rice genotypes

HA - HA-881043; JNZ- 九农早 1 号; TLHZ- 铜梁火种。下同。

HA - HA-881043; JNZ- Jiunongzao 1; TLHZ- Tonglianghuo-zhong. The same as in figures below.

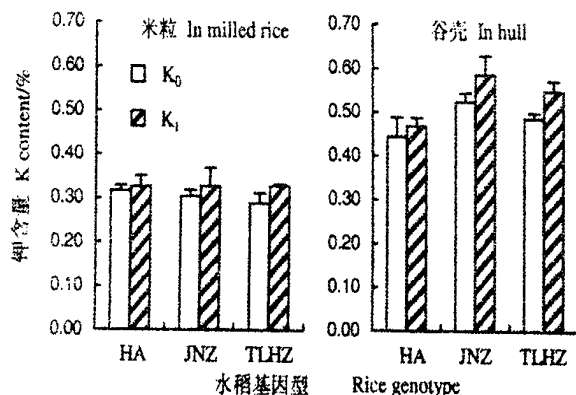


图 2 不同水稻基因型低钾胁迫下( $K_0$ )和正常条件下( $K_1$ )谷壳和米粒中钾含量

Fig. 2. Content of potassium in milled rice or hull in different treatments for different rice genotypes

了很好的材料。

### 2.2 不同水稻基因型米粒和谷壳钾含量的差异

水稻是以收获地上部籽粒为生产目的的农作物, 但水稻吸收的钾主要积累在茎秆中, 籽粒中的钾含量相对较低。从图 2 可以看出, 谷壳中的钾含量比米粒中钾含量高, 这与麦麸中钾含量比面粉中钾含量高的结果一致<sup>5</sup>。在低钾胁迫下谷壳钾含量降低 5%~11%, 米粒钾含量降低 3%~12%, 同时各基因型降低的幅度存在显著差异(图 2)。钾高效基因型 HA-881043 谷壳和米粒中相对钾含量(低钾胁迫下钾含量/正常条件下钾含量)分别为 95% 和 97%, 而钾低效基因型铜梁火种谷壳和米粒中相对钾含量分别只有 89% 和 88%, 钾中效基因型九农早 1 相对钾含量居于两者之间, 分别为 90% 和 93%。刘国栋等的研究表明, 耐低钾能力强和吸钾能力强的水稻其种子含钾量最丰富<sup>16</sup>, 这与我们的研究结论一致, 可见我们筛选出的钾高效基因型水稻在低钾胁迫下其籽粒(不管是谷壳还是米粒)钾含量降低的程度相对较小。

### 2.3 不同水稻米粒粗蛋白质含量的基因型差异

钾能有效地促进作物对氮的吸收和利用, 有利于蛋白质的合成; 同时钾能促进碳水化合物的代谢, 产生有机酸作为氨基酸的受体, 有利于氨基酸的形成, 促进蛋白质的合成。从图 3 可以看出, 低钾胁迫导致米粒粗蛋白明显减少, 降低幅度为 3%~12%。适量增施钾肥有利于米粒蛋白质的积累。相关分析表明, 米粒中的钾含量与米粒中粗蛋白质的含量的相关性达极显著水平, 相关系数为  $r = 0.9004$  ( $n = 6$ ,  $P = 0.02$ )。不同基因型在低钾胁迫下钾素经济利用效率不同, 因而低钾胁迫对其籽粒粗蛋白积累的影响并不一致(图 3)。钾高效基因型 HA-881043 在低钾胁迫下仍具有较高的粗蛋白质相对含量(低钾胁迫下含量/正常条件下含量), 钾低效基因型铜梁火种则具有较低的粗蛋白质相对含量。钾中效的基因型九农早 1 的粗蛋白质相对含量居于 HA-881043 和铜梁火种两者之间。

### 2.4 不同钾处理谷粒中钾含量与粗蛋白含量的关系

对谷粒中的钾含量与粗蛋白含量进行相关分析, 结果表明谷粒中钾含量与粗蛋白含量呈正相关, 低钾胁迫降低谷壳和米粒中钾含量及米粒中粗蛋白含量(表 1)。

## 3 讨论

农业的可持续发展是本世纪面临的重大课题, 如何提高

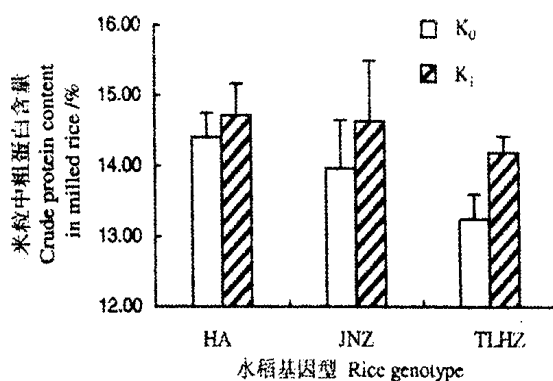


图 3 不同水稻基因型低钾胁迫下( $K_0$ )和正常条件下( $K_1$ )米粒中粗蛋白含量

Fig. 3. Content of crude protein in milled rice in different treatments for rice genotypes

表 1 不同处理谷壳和米粒中钾含量和粗蛋白含量

Table 1 Content of potassium in hull or milled rice grain and content of crude protein in milled rice grain				%
项目	谷壳钾含量	米粒钾含量	米粒粗蛋白含量	
Item	K content in hull	K content in milled rice	Crude protein in milled rice	
K <sub>0</sub>	0 4838 ± 0 0403 A	0 3032 ± 0 0140 a	13 8693 ± 0 5800 a	
K <sub>1</sub>	0 5332 ± 0 0600 B	0 3270 ± 0 0013 b	14 5060 ± 0 2855 b	
K <sub>0</sub> /K <sub>1</sub>	0 9074	0 9273	0 9561	

数据后跟有不同大、小写字母表示 K<sub>0</sub> 与 K<sub>1</sub> 处理间差异达  $P = 0.01$  和  $P = 0.05$  显著水平。  
The values followed by different capital or small letters are significantly different at  $P = 0.01$  or  $P = 0.05$  level, respectively.

养分的利用效率,改善作物的品质,促进人类的健康是植物营养学家和育种学家的当前任务。钾是“抗逆元素”、“品质元素”,又是“经济用水元素”,由于我国钾素资源短缺和钾素利用效率普遍不高,土壤和作物缺钾都很严重<sup>15</sup>。水稻不同基因型对钾素的经济利用效率存在差异,同时,不同水稻基因型籽粒钾素和蛋白质积累各有特点,所以提高水稻对钾素的经济利用效率,提高籽粒中钾和蛋白质含量具有重要的意义。水稻种子中积累的钾主要来源于开花 17 d 以后,尤其是糊粉层发育后期,钾还能置换蛋白体球状晶体中的钙和锌而淀积在其中<sup>17</sup>。水稻吸收的钾主要积累在营养体(稻草)中,即使在谷粒中谷壳比米粒的钾含量也高,谷粒中钾含量与粗蛋白含量呈显著正相关,低钾胁迫降低谷壳和米粒中的钾含量以及米粒中粗蛋白含量。钾素经济利用效率不同的水稻基因型对低钾胁迫的敏感程度不一样。在同等缺钾条件下,钾高效基因型(HA-881043)与钾低效基因型(铜梁火种)相比,前者更能有效利用体内吸收的钾,以维持植株生长和新陈代谢;钾高效基因型其体内钾再运转和再利用的能力强,同时钾高效基因型能较好地维持叶片的光合功能,其光合作用较强,同化物运输较快,蛋白质合成较快,因而钾高效基因型 HA-881043 在低钾胁迫下谷壳和米粒中钾含量(或粗蛋白含量)降低的幅度比钾低效基因型铜梁火种小,钾中效基因型九农早 1 其含量居于两者之间。可见我们筛选出的钾高效基因型 HA-881043 不但对低钾胁迫的抗性较强,钾素经济利用效率高,而且其籽粒中具有相对较高的钾素含量和粗蛋白含量。但钾高效基因型在低钾胁迫下是否都具有较高的籽粒钾含量和粗蛋白含量还有待更多的试验数据验证。钾对肾功能、激素分泌以及人体酸碱平衡调节有非常重要的作用,通过品种筛选或遗传育种的方法,可以提高大米中的钾含量从而提高人们钾摄入量,同时提高籽粒蛋白质含量也是提高水稻品质的重要方面之一。此外,钾是植物体内 60 多种酶的激活剂,钾含量高的水稻种子有利于萌发,促进幼苗健壮,为其再生育进程中较好地抵抗逆境奠定了物质基础。筛选和培育水稻钾营养高效基因型,特别是籽粒富钾高效基因型对于农业的可持续发展和提高人类健康有重要的意义。

参考文献

1 Ma Z Y (马忠玉), Wu Y C (吴永常). Contribution of rice genetic improvement to yield increase in China. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 2000, 14(2): 112- 114. (in Chinese with English abstract)

2 Qiu L C (裘凌沧). Exploitation and utilization of better quality gemplasm resources for increasing human health. In: Annual Report of CNRR I (中国水稻研究所年报). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press (中国农业科技出版社), 1992 1- 4. (in Chinese)

3 Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. San Diego:

Academic Press, 1995.

4 De Datta S K, Mikkelsen D S. Potassium in rice. In: Munson R D. Potassium in Agriculture (农业中的钾). Beijing: Science Press (科学出版社), 1995 537- 565. Translated by Fan Q Z (范钦桢), Zheng W Q (郑文钦). (in Chinese)

5 Serfass R E, Manatt M W. Potassium in human nutrition. In: Munson R D. Potassium in Agriculture (农业中的钾). Beijing: Science Press (科学出版社), 1995 471- 483. Translated by Fan Q Z (范钦桢), Zheng W Q (郑文钦). (in Chinese)

6 Bartoshuk L M. Sensory analysis of the taste of NaCl. In: Kare M. Biological and Behavioral Aspects of Salt Intake. New York: Academic Press, 1980 83- 97.

7 Prioreschi P. Experimental cardiac necrosis and potassium. *Can Med Assoc J*, 1967, 25: 5- 8.

8 Bilbrey G L, Herbin L, Carter W, et al. Skeletal muscle resting membrane potential in potassium deficiency. *J Clin Invest*, 1973, 52: 3011- 3018.

9 Lindeman R D. Mineral metabolism in the aging and the aged. *J Am Coll Nutr*, 1982, 1: 49- 73.

10 Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences (中国农业科学院土壤肥料研究所). Regionalization of Chemical Fertilizer in China (中国化肥区划). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press (中国农业科技出版社), 1986. (in Chinese)

11 Liu H G (刘亨官), Liu Z X (刘振新), Liu F X (刘放新). Studies on the screening of low K-tolerant rice species (varieties) and their K-absorbing characteristics. *J Fujian Acad Agr Sci* (福建省农科院学报), 1987, 2(2): 10- 17. (in Chinese with English abstract)

12 An L S (安林升), Ni J S (倪晋山), Li G F (李共福). Physiological characteristics of K-deficit tolerance rice variety. *Plant Physiol Can* (植物生理学通讯), 1995, 31(4): 257- 259. (in Chinese)

13 Xie S P (谢少平), Ni J S (倪晋山), Li G F (李共福). The study of K<sup>+</sup> (<sup>86</sup>Rb<sup>+</sup>) transport and compartmentation in roots of potassium deficiency tolerant rice cultivar. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 1989, 15(4): 377- 381. (in Chinese with English abstract)

14 Li G F (李共福), Xie S P (谢少平). Tolerance of rice to potassium deficiency and its identification. *Crop Research* (作物研究), 1991, 5(1): 4- 9. (in Chinese)

15 Liu J X (刘建祥), Yang X E (杨肖娥). Genotypic difference in potassium nutrition for rice plant in relation to rice production. *Plant Physiol Can* (植物生理学通讯), 2000, 36(4): 384- 389. (in Chinese)

16 Liu G D (刘国栋), Liu G L (刘更另). Genotypic differences in potassium contents of rice seeds. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1997, 11(3): 179- 182. (in Chinese with English abstract)

17 Ogawa M, Tanaka K, Kassai Z. Energy-dispersive X-ray analysis of phytin globoids in aleurone particles of developing rice grains. *Soil Sci Plant Nutr*, 1979, 25: 437- 448.