

## 不同旱稻品种(系)间铁营养状况的比较

郝红梅 邹春琴 张福锁

(中国农业大学 农业部植物营养学重点开放实验室,植物-土壤相互作用教育部重点实验室,北京 100094)

**摘要** 在水培条件下,比较了不同旱稻品种(系)在不同供铁水平下植株铁营养状况的差异。结果表明:不论是否供铁,不同旱稻品种(系)在生物量、植株铁含量、叶绿素 SPAD 值、铁在植株体内的分配等方面均存在显著差异。其中旱稻 297 地上部相对铁含量(43%)及缺铁条件下铁吸收总量( $560 \mu\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ )为最大,TP 某株系的相对生物量(地上部为 106%、根系为 108%)及缺铁条件下铁在地上部的分配比例(84%)为最高。

**关键词** 铁;旱稻;铁营养状况

中图分类号 Q 945.12

文章编号 1007-4333(2003)05-0079-04

文献标识码 A

### Difference in iron nutritional status of different aerobic rice varieties (lines)

Hao Hongmei, Zou Chunqin, Zhang Fusuo

(Key Laboratory of Plant Nutrition, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** The comparisons in iron nutritional status of different aerobic rice varieties (Lines) were conducted in nutrient solution under the controlled conditions. The results showed that there were significant differences in the biomass, Fe concentration in plants, chlorophyll SPAD reading and the Fe distribution in shoots and roots among different tested aerobic rice varieties (lines). While Handao297 had the highest relative Fe concentration (43%) in shoots and the biggest Fe content in whole plants ( $560 \mu\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ ) under the iron deficient condition, and TPmouzhuixi had the biggest relative biomass (shoot 106%, root 108%) and the highest distribution of Fe in shoots (84%) under the iron deficient condition among the tested aerobic rice varieties (lines).

**Key words** iron; aerobic rice; iron nutrition

水稻是耗水耗能很大的作物,目前由于水资源的短缺,水稻的大面积种植在某些地区受到了一定程度的限制<sup>[1,2]</sup>。

而旱稻的产量低、品质差、铁、锌等微量元素缺乏又是限制旱稻发展的重要因子<sup>[3]</sup>。与水稻种植条件相比,在旱稻的栽培条件下,旱稻根际氧化还原电位和土壤 pH 值都较高,因此旱地有效铁含量远远低于水田。Takahashi 等人的试验结果表明:水田改为旱地 5 年之后,土壤有效铁含量由原来的  $0.959 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  减少为  $0.104 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而总铁含量无明显的下降<sup>[4]</sup>,铁的缺乏是旱稻生产中遇到的严重问题<sup>[5,6]</sup>。

研究表明挖掘植物自身的潜力来改善作物铁营养是解决作物缺铁的可行途径之一<sup>[7~9]</sup>。Senadhira 等人在进行稻米种子资源的筛选时发现:939 种糙米铁的平均含量为  $12.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而其变异范围在  $70.5 \sim 24.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[10]</sup>。可见不同基因型稻米中铁含量存在很大差异,因而通过挖掘旱稻自身的潜力改善旱稻铁具有很大意义,目前有关旱稻铁营养的研究报道几乎是个空白。

本研究主要目的是在水培条件下,对不同旱稻品种(系)铁营养状况的差异进行初步探讨,为深入进行旱稻铁营养特性的机理研究、铁高效旱稻品种

收稿日期:2003-06-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30000103)

作者简介:郝红梅,硕士研究生;邹春琴,副教授,联系作者,主要从事植物营养生理、微量元素营养与人体健康研究, E-mail: zc0206@cau.edu.cn

(系)的选育及解决旱稻生产缺铁问题奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物培养

试验材料是在本校稻作研究室王化琪教授大田试验初步筛选的基础上(综合考虑了生物量、抗病性及基因型),根据种子铁含量的高低进一步筛选出以下8个旱稻品种(系):89B271-某株系、89B271-17(混)、91B特3、旱稻72、TP某株系、旱稻297、90B10-1、旱稻99-19;其铁含量分别为:83、75、73、73、72、64、60和50 mg·kg<sup>-1</sup>。种子用10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>浸泡30 min后,在饱和CaSO<sub>4</sub>溶液中吸胀8 h,催芽至种子露白后播入石英砂中。待幼苗长至一叶一心时(10 d),去胚乳后移至体积为1 L的营养液中培养,同时设置不供铁(-Fe)和供铁(+Fe)2个处理。每盆24株苗,每2 d换一次营养液。昼夜光照为14/10 h,温度为30/25℃,光照强度为250~300 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。营养液采用国际水稻所的常规营养液,营养液的组成为(mol·L<sup>-1</sup>):NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 1.43×10<sup>-3</sup>;NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 3.2×10<sup>-4</sup>;K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5.15×10<sup>-4</sup>;CaCl<sub>2</sub> 10<sup>-3</sup>;MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1.67×10<sup>-3</sup>;MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 10<sup>-5</sup>; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·2H<sub>2</sub>O 5.2×10<sup>-7</sup>;H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2×10<sup>-5</sup>;ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1.5×10<sup>-7</sup>;CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 1.6×10<sup>-7</sup>;EDTA-Fe 10<sup>-4</sup>,pH5.0。

移苗30 d后收获,将地上部和根系分开,并记录植株鲜重。植物样在105℃下杀青30 min,80℃下烘干,称干重,用不锈钢粉碎机粉碎待用。

### 1.2 测定方法

用HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>联合消煮,原子吸收分光光度计测定种子和植株铁含量。

收获前用SPAD-502型叶绿素仪直接测定叶绿素SPAD值。每盆测12株,每株测倒数第一片展开叶的中部。

采用SAS统计软件包进行数据分析,品种间显著性差异用LSD法检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物量

无论供铁或不供铁,不同旱稻品种(系)间地上部和根部干重都有极显著差异(表1)。不供铁时,旱稻297、89B271-某株系、TP某株系、91B特3、90B10-1地上部干重比较大,而旱稻99-19、旱稻72的较小,旱稻99-19地上部干重仅为89B271-某株系的27%;91B特3的根干重最大,而旱稻99-19的较小,仅为91B特3的24%。在供铁条件下,旱稻297、91B特3的地上部干重较大,而旱稻99-19的较小,仅为91B特3的32%;91B特3的根干重最大,而旱稻99-19的最小,仅为91B特3的24%。

表1 铁对旱稻生物量和根冠比的影响

Table 1 Effects of Fe supply on the biomass and the root/shoot ratio of aerobic rice plants

品种(系)	地上部干重/(g pot <sup>-1</sup> )		根系干重/(g pot <sup>-1</sup> )		相对生物量/%		根冠比	
	- Fe	+ Fe	- Fe	+ Fe	地上部	根系	- Fe	+ Fe
89B271-某株系	4.36 a	5.14 ab	0.88 b	1.08 b	85 b	81 b	0.20 d	0.21 bc
TP某株系	4.24 a	4.01 c	0.82 b	0.75 cd	106 a	108 a	0.20 d	0.19 d
旱稻297	4.17 a	5.28 a	0.91 ab	1.16 b	79 b	78 bc	0.22 cd	0.22 b
91B特3	3.88 a	5.55 a	1.06 a	1.53 a	70 bc	70 bc	0.27 a	0.27 a
90B10-1	3.74 a	5.02 ab	0.90 b	1.14 b	74 bc	79 bc	0.24 bc	0.23 b
89B271-17(混)	2.70 b	4.54 bc	0.60 c	0.98 bc	60 c	61 c	0.22 cd	0.22 bc
旱稻72	1.97 c	2.80 d	0.50 c	0.62 d	70 bc	80 b	0.25 ab	0.22 b
旱稻99-19	1.18 c	1.79 e	0.25 d	0.36 e	66 bc	68 bc	0.21 d	0.20 cd
显著性检验	**	**	**	**	**	**	**	**

注: 相对生物量=缺铁处理的生物量/加铁处理的生物量×100%。同一列相同字母表示差异不显著(P<0.05); \*表示5%的显著水平下差异显著;\*\*表示1%的显著水平下差异极显著。下同。

表1结果还表明,不同旱稻品种(系)间地上部及根系的相对生物量均存在极显著差异。其中TP某株系的地上部及根部的相对生物量都最大,分别

为106%和108%;而89B271-17(混)地上部及根部的相对生物量都最小,分别为60%和61%。另外,不同品种(系)间根冠比也存在极显著差异(表1),

无论缺铁处理或加铁处理, TP 某株系的根冠比都最小, 分别为 0.20 和 0.19; 而 91B 特 3 的根冠比最大, 均为 0.27。

2.2 植株铁含量和铁在植株体内的分配

无论供铁与否, 不同旱稻品种(系)之间地上部和根系铁含量均有显著差异(表 2)。在不供铁条件

下, 旱稻 72 的地上部铁含量较高, 而 89B271- 某株系的较低; 旱稻 99-19 的根部铁含量较高, 而 91B 特 3 的较低。供铁处理中, 91B 特 3 的地上部铁含量较高, 而 89B271-17(混)的较低; 旱稻 99-19 根部的铁含量最高, 而 91B 特 3、90B10-1 的较低。

表 2 铁对旱稻植株铁含量的影响  
Table 2 Effects of Fe supply on the Fe concentration of aerobic rice plants

品种(系)	地上部铁含量/(mg kg <sup>-1</sup> )		根系铁含量/(mg kg <sup>-1</sup> )		相对铁含量/ %	
	- Fe	+ Fe	- Fe	+ Fe	地上部	根系
旱稻 72	99 a	244 abc	174 b	785 b	41 ab	22 b
旱稻 297	92 ab	214 cd	96 c	426 c	43 a	23 b
旱稻 99-19	86 abc	258 ab	307 a	1226 a	33 cd	25 ab
TP 某株系	82 bcd	232 abcd	80 c	485 c	35 bcd	16 c
91B 特 3	79 bcd	232 abcd	62 d	264 d	30 d	24 b
90B10-1	78 cd	267 a	81 c	290 d	35 bcd	28 a
89B271-17(混)	75 cd	204 d	82 c	452 c	38 abc	18 c
89B271-某株系	70 d	224 bcd	84 c	514 c	31 cd	17 c
显著性检验	* *	*	* *	* *	* *	* *

注: 相对铁含量 = 缺铁处理的铁含量 / 加铁处理的铁含量 × 100 %。

从表 2 看出, 不同旱稻品种间相对铁含量存在极显著差异, 其中旱稻 297 地上部的铁相对含量比较高, 而 91B 特 3 的比较低; 90B10-1 根部的铁相对含量比较高, 而 TP 某株系的比较低。说明 90B10-1 吸收铁的能力可能比较强, 而 TP 某株系的吸收能力可能较弱; 旱稻 297 从根部向地上部转移铁的能力

可能较强, 而 91B 特 3 的转移能力可能较弱。

无论供铁与否, 8 个旱稻品种的总吸铁量存在显著性差异(表 3)。在缺铁处理中, 旱稻 297 的吸铁量最大, 而旱稻 99-19 的最小。供铁处理中, 91B 特 3 的吸铁量最大, 而旱稻 99-19 的吸铁量最小。

表 3 旱稻铁吸收总量和铁在植株体内的分布

Table 3 The Fe contents in whole plant and the distribution of Fe in the shoots and roots of aerobic rice plants

品种(系)	吸铁量/(μg plant <sup>-1</sup> )		铁在地上部的分布/ %		铁在根系的分布/ %	
	- Fe	+ Fe	- Fe	+ Fe	- Fe	+ Fe
旱稻 297	469 a	1620 b	81 ab	70 bc	19 cd	30 cd
TP 某株系	419 ab	1295 cd	84 a	72 b	16 d	28 d
89B271-某株系	381 abc	1706 ab	80 ab	66 c	20 cd	34 c
91B 特 3	376 abc	1884 a	82 ab	79 a	18 cd	21 e
90B10-1	364 abc	1485 bc	80 b	78 a	20 c	22 e
旱稻 72	281 bcd	1163 d	69 c	56 d	31 b	44 b
89B271-17(混)	253 cd	1367 cd	80 ab	73 b	20 cd	27 d
旱稻 99-19	177 d	902 e	57 d	50 e	43 a	50 a
显著性检验	*	* *	* *	* *	* *	* *

注: 地上部铁分配比例 = 地上部的吸铁量 / 铁吸收总量 × 100 %; 根系铁分配比例 = 根部的吸铁量 / 铁吸收总量 × 100 %。

从铁在植株体内的分布来看(表 3), 缺铁后所有旱稻品种(系)向地上部的转移增加, 品种(系)间差异极显著。缺铁处理中, 铁在 TP 某株系地上部的

分配比例最高, 在根系的分配比例最低; 而旱稻 99-19、旱稻 72 的分配比例则相反。供铁处理中, 铁在 91B 特 3、90B10-1 地上部的分配比例最高, 而在根系

的分配比例则最低;旱稻 99-19、旱稻 72 刚好相反。

### 2.3 叶片叶绿素 SPAD 值

无论供铁或不供铁,8 个品种(系)间叶片叶绿素 SPAD 值存在极显著差异(表 4)。供铁条件下,90B10-1 叶片叶绿素 SPAD 值最大,而 TP 某株系的叶片叶绿素 SPAD 值最小。从相对值来看,90B10-1 的相对值最低,旱稻 72、旱稻 99-19 的相对值较高。

表 4 铁对旱稻叶片叶绿素 SPAD 值的影响  
Table 4 Effects of Fe supply on the chlorophyll SPAD reading of the aerobic rice plants

品种(系)	叶绿素 SPAD 值/(SPAD)		相对值叶绿素 SPAD 值 / %
	- Fe	+ Fe	
旱稻 72	28.0 a	33.0 bc	85 a
旱稻 99-19	27.8 a	33.4 bc	83 a
旱稻 297	27.2 a	34.6 b	78 ab
89B271-某株系	24.1 ab	34.1 bc	71 abc
TP 某株系	26.1 abc	32.5 c	80 a
89B271-17(混)	21.2 bc	33.6 bc	63 bc
91B 特 3	21.2 bc	34.5 b	62 c
90B10-1	19.9 c	36.4 a	55 c
显著性检验	**	**	**

注: 相对叶绿素 SPAD 值 = 缺铁处理的叶绿素值/供铁处理的叶绿素值  $\times 100\%$

### 3 讨论

从本试验所选的 8 个旱稻品种(系)种子铁含量来看,不同品种(系)种子铁含量的确存在很大的变异,与 Senadhira 的结果一致。其中 89B271-某株系种子铁含量最高为  $83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,旱稻 99-19 最低为  $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。种子间铁含量的这种差异,为进一步进行种子富铁旱稻品种的筛选提供了可能性。本试验为了消除不同种子铁含量对苗期铁营养状况产生的不同影响,移栽时去掉了胚乳。

研究结果表明,旱稻不同品种(系)间生物量、植株铁含量、叶绿素 SPAD 值、铁在植株体内分配等均存在明显差异(表 1~4)。其中旱稻 297、89B271-某株系、TP 某株系在缺铁条件下地上部生物量、吸铁总量以及铁向地上部的分配比例都比较大,而旱稻 99-19、旱稻 72 则很小,表明不同旱稻品种对缺铁的反应不同。TP 某株系的相对生物量大于 100%,说明 TP 某株系对缺铁的反应不敏感,在缺铁条件下仍然能获得相对较大的生物量,这种材料对进行铁高

效品种的培育有重要价值。尽管在所测试的 8 个旱稻品种中,TP 某株系的种子铁含量和植株铁含量都不是最高(表 2),但其吸收的铁向地上部的转移量比较大(表 3),这对于提高植株体内铁の利用有重要意义。另外,从相对铁含量、相对叶绿素含量及相对生物量的比较来看,旱稻 72 等的相对铁含量、相对叶绿素含量均较高,说明其在缺铁条件下能够保持体内相对较好的铁营养状况。但其相对生物量并不高,可能是由于铁の利用受到影响,因而在进行植株铁营养状况的评价时应该全面综合进行分析。

综上所述,在所提供的 8 个旱稻品种(系)中,铁营养状况存在显著差异,这为我们深入研究旱稻微量元素营养,寻找解决旱稻缺铁问题奠定了基础。但对于铁高效旱稻品种的选育指标的确定还需综合考虑。

旱稻种子由中国农业大学王化琪教授提供,在此表示特别感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 薛全义,荆宇,华玉凡. 略论我国旱稻的生产及发展[J]. 中国稻米, 2002, 4: 5~7
- [2] 汤圣祥,丁力. 国际水稻研究所的陆稻研究[J]. 世界农业, 2002, 253(5): 20~22
- [3] Fageria N K, Baligar V C, Jones C A. Rice [A]. In: Fageria N K ed. Growth and Mineral Nutrition of Field Crop [C]. New York: Marcel Dekker Inc, 1997. 283~336
- [4] Takahashi T, Park C Y, Nakajima H. Ferric iron transformation in soils with rotation of irrigated rice-upland crops and effect on soil tillage properties [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1999, 45(1): 163~173
- [5] Neue HU, Lantin R S, Flowers T J. Micronutrient toxicities and deficiencies in rice [J]. Soil Mineral Stresses Approaches to Crop Improvement, 1994, 7: 175~200
- [6] Barbosa Filho M P, Yamada T. Upland rice production in Brazil [J]. Better Crops International, 2002, 16: 43~46
- [7] Marschner H. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition [J]. Field Crops Research, 1998, 56: 203~207
- [8] 李春俭,张福锁,谭祖卫. 植物对缺铁的反应及其调控[J]. 世界农业, 1995, 9: 30~31
- [9] 李延轩,张锡洲,张仁绥. 植物营养遗传性[J]. 西南农业学报, 1999, 12: 115~122
- [10] Senadhira D, Graham R D, Gregorio G B. High iron rice [J]. Philippine Journal of Crop Science, 1998, 23(1): 64