

## 有色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量及 与种皮颜色相关分析

郭咏梅<sup>1,2</sup>, 段延碧<sup>3</sup>, 李少明<sup>3</sup>, 黄平<sup>2</sup>, 涂建<sup>2</sup>, 李华慧<sup>2</sup>, 萧凤回<sup>1</sup>, 谭学林<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201; <sup>2</sup>云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明 650205;

<sup>3</sup>云南农业大学农科实验教学中心, 昆明 650201)

**摘要:**用 AAS 方法测定了弥勒县相同生态条件下种植的 27 份有色稻和 34 份普通稻糙米 4 种矿质元素含量, 并对有色米和普通米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量进行了比较研究。结果表明, 有色稻米 4 种矿质元素含量明显高于无色稻米, 其差异均达显著水平, 其含量高低依次为 Zn > Fe > Cu > Mn; 对黑、褐、红、黄、绿 5 种不同种皮颜色的稻米 4 种矿质元素含量进行比较研究, 发现稻米 Fe 含量高低依次为黑 > 绿 > 褐 > 红 > 黄, Zn 含量依次为绿 > 红 > 黑 > 褐 > 黄, Cu 含量依次为黑 > 褐 > 红 > 黄 > 绿, Mn 含量依次为褐 > 黑 > 红 > 黄 > 绿; 并且 Fe 和 Mn 含量在不同颜色稻米间差异均达显著水平, 与有色米种皮颜色密切相关, 而 Zn 和 Cu 差异不显著, 与有色米种皮颜色关系不大。黑米和褐米富 Fe、Zn、Cu 和 Mn, 绿米富 Fe 和 Zn, 红米富 Zn 和 Cu, 黄米 4 种矿质元素含量较低, Fe、Cu 和 Mn 均低于普通稻米。

**关键词:**有色稻米; 矿质元素; 含量; 种皮颜色

## Evaluation and Correlation Analysis on Mineral Concentrations and Pigment Content in Pericarp of Color Rice

GUO Yong-mei<sup>1,2</sup>, DUAN Yan-bi<sup>3</sup>, LI Shao-ming<sup>3</sup>, HUANG Ping<sup>2</sup>, TU Jian<sup>2</sup>,

LI Hua-hui<sup>2</sup>, XIAO Feng-hui<sup>1</sup>, TAN Xue-lin<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Faculty of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201;

<sup>2</sup>Food Crops Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205;

<sup>3</sup>Experiment Teaching Center for Agriculture Specialty, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201)

**Abstract:** The different color rice were evaluated based on four mineral concentrations of brown rice from 61 accessions harvested from Mile experiment farm under the uniform ecological conditions by AAS method. The results showed that the Fe, Zn, Cu and Mn concentration of the color rice was higher than that of the white rice, and the four mineral concentrations in brown rice was Zn > Fe > Cu > Mn. In addition, Fe and Zn concentration of color rice were affected by pigment content in pericarp of it, Cu and Mn of color rice were not influenced by pigment content in pericarp of it. Fe concentration of the color rice was in turn black rice > green rice > brown rice > red rice > yellow rice, Zn concentration of the color rice was in turn green rice > red rice > black rice > brown rice > yellow rice, Cu concentration of the color rice was in turn black rice > brown rice > red rice > yellow rice > green rice, Mn concentration of the color rice was in turn brown rice > black rice > red rice > yellow rice > green rice. There were some differences among Fe, Zn, Cu and Mn average concentrations in brown rice of the different color rice, black rice and brown rice rich on Fe, Zn, Cu and Mn, green rice rich on Fe and Zn, red rice rich on Zn and Cu. Four concentration of yellow rice were lower than that of the other color rice.

**Key words:** Color rice; Mineral concentrations; Content; Pigment content in pericarp

收稿日期: 2011-02-24 修回日期: 2011-07-12

基金项目: 云南省基金项目(2009ZC143M)

作者简介: 郭咏梅, 副研究员, 硕士。从事水稻育种研究。E-mail: yongmei.g@163.com

在我国丰富多样的水稻种质资源中,蕴藏着珍贵的有色米资源,其中以云南、广西、湖南、贵州省居多。就种皮的颜色而言,按糙米带色程度可分为乌黑、红黑、紫红、红褐、红、褐、黄和绿 8 个等级,其中以黑米稻和红米稻占多数<sup>[1]</sup>。带色糙米除具有一些天然色素外,还富含矿质元素等营养成分<sup>[2,3]</sup>。矿质元素在人体中具有重要的生理功能,对维护人体健康起着积极的作用<sup>[4]</sup>。同时,Fe、Zn 和 Mn 等矿质元素是人体必需微量元素,在人体内无法合成,只能从食物中摄取。因此,有色稻米种质的发掘与利用已成为功能稻米研究的热点。

目前,有关有色稻米种质资源评价、色素基因、以及相关遗传研究,主要涉及常见的黑米和红米,其他颜色有色稻米研究较少。对不同颜色稻米的营养特性进行评价和相关遗传研究,对实现有色稻米种质创新意义重大。本研究在相同环境下,比较分析有色稻米和普通稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素及黑、褐、红、绿和黄等 5 种不同颜色稻米 4 种矿质元素含量,研究矿质元素含量与稻米种皮颜色的关系,为有色稻米种质资源的发掘与利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料收集和种植

在云南省弥勒县棚普镇同田种植 27 份有色稻米和 34 份普通稻米。田间插秧规格 16.7cm × 26.7cm,10 行区,行长 5m,田间试验及水肥管理正常。成熟后,及时收获脱粒。经晾晒干燥后,保存于通风良好的阴凉处,放置 3 个月后,用作分析原料。

### 1.2 稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素含量的测定

**1.2.1 样品准备** 种子于室温下平衡水分 72h,用砻谷机(SatakeThu35B, Satake, 日本)碾成糙米脱壳后,用旋风式磨粉机(LMT63L2, Brabender, 德国)磨成粉,备用。

**1.2.2 样品预处理** 用干灰化法处理样品。准确称取 5g 米粉放入 30ml 瓷坩锅中,然后置于可调电炉上,置于通风橱中缓缓加热,进行碳化,直至不再冒烟为止。将瓷坩锅放入马弗炉内,先以低温加热,逐渐升高温度至 600℃,保温 2h,直至样品完全变为白色。冷却后取出,加入 5ml 蒸馏水和 HCl 1:1 的溶液进行溶解,并转入 50ml 容量瓶中,用去离子水定容,摇匀,待测。用原子吸收分光光度法(AAS)测定米粉中 Fe、Zn、Cu 和 Mn 的含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 有色稻米与无色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量比较

通过对 27 份有色稻米和 34 份普通稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量分析,结果表明(表 1):有色米和普通米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素含量依次为 Zn > Fe > Cu > Mn,4 种矿质元素含量在有色稻米和无色稻米间差异均达显著水平(表 2),其中,Fe、Zn 和 Cu 差异均达极显著水平。有色稻米 4 种矿质元素含量均高于无色稻米,有色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量(单位:mg/kg,下同)平均为 8.198、10.844、6.550 和 6.363;无色稻米为 7.114、8.838、5.622 和 5.481。由此可知,有色稻米富 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素。

表 1 有色稻米和无色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素含量及方差分析

Table 1 Variance analysis of the content of Fe, Zn, Cu and Mn in color rice and writer rice

处理 Groups	品种 Type	样本数 N	均值(mg/kg) Mean	标准差 s	标准误 SE	95%置信区间 95% CI	最小值 Min	最大值 Max
Fe	有色米	27	8.198	1.196	0.255	7.668 ~ 8.728	6.01	10.19
	无色米	34	7.114	1.154	0.198	6.712 ~ 7.517	4.92	9.16
Zn	有色米	27	10.844	1.456	0.311	10.198 ~ 11.490	8.13	13.81
	无色米	34	8.838	0.963	0.165	8.502 ~ 9.174	7.14	10.16
Cu	有色米	27	6.550	0.900	0.192	6.151 ~ 6.949	4.54	7.92
	无色米	34	5.622	0.898	0.154	5.309 ~ 5.935	4.20	7.39
Mn	有色米	27	6.363	1.225	0.261	5.820 ~ 6.906	4.47	9.67
	无色米	34	5.481	0.846	0.145	5.186 ~ 5.776	3.66	7.26

表 2 方差分析结果

Table 2 Analysis of variance

处理 Treat- ment	变异来源 Variation source	平方和 ss	自由度 df	均方 Means square	F	P
Fe	处理间	15.697	1	15.697	11.459	0.001
	处理内	73.975	58	1.370		
	总变异	89.672	59			
Zn	处理间	53.742	1	53.742	38.637	0.000
	处理内	75.111	58	1.391		
	总变异	128.853	59			
Cu	处理间	11.509	1	11.509	14.254	0.000
	处理内	43.600	58	0.807		
	总变异	55.109	59			
Mn	处理间	10.398	1	10.398	10.187	0.002
	处理内	55.118	58	1.021		
	总变异	65.516	59			

## 2.1 不同颜色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量比较

通过对黑、褐、红、绿和黄等 5 种不同颜色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量分析,结果表明(表 3):不同颜色稻米 Fe 含量高低依次为黑 > 绿 > 褐 > 红 > 黄, Zn 含量依次为绿 > 红 > 黑 > 褐 > 黄, Cu 含量依次为黑 > 褐 > 红 > 黄 > 绿, Mn 含量依次为褐 > 黑 > 红 > 黄 > 绿, Fe 和 Mn 含量在不同颜色稻米间差异均达极显著水平,而 Zn 和 Cu 差异不显著(表 4)。由此可知,Fe 和 Mn 含量与有色米种皮颜色密切相关,而 Zn 和 Cu 含量与种皮颜色关系不大。

通过对不同颜色稻米的 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量比较,结果表明:黑米 Fe 含量最高,为 9.710mg/kg, Mn 含量仅次于褐米;褐米 Mn 含量最高,为 8.247mg/kg, Fe 含量与绿米的 9.020mg/kg 相差不大,为 8.907mg/kg,明显高于红米 7.556mg/kg 和黄米 6.756mg/kg;黄米 Fe 含量最低仅为 6.756mg/kg,

表 3 不同颜色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素含量及方差分析

Table 3 Variance analysis of the content of Fe, Zn, Cu and Mn in different color rice

品种 Type	处理 Treatment	样本数 N	均值 Mean	标准差 s	标准误 SE	95% 置信区间 95% CI	最小值 Min	最大值 Max
黑米 Black rice	Fe	4	9.710	0.398	0.199	9.077 ~ 10.343	9.55	10.19
	Zn	4	10.715	0.981	0.491	9.153 ~ 12.277	9.89	11.92
	Cu	4	6.850	0.656	0.328	5.806 ~ 7.894	6.35	7.78
	Mn	4	6.638	0.237	0.119	6.260 ~ 7.015	6.42	6.94
褐米 Brown rice	Fe	3	8.907	1.081	0.624	6.222 ~ 11.591	7.67	9.67
	Zn	3	10.657	1.470	0.849	7.006 ~ 14.307	9.10	12.02
	Cu	3	6.690	0.442	0.255	5.592 ~ 7.788	6.18	6.96
	Mn	3	8.247	1.234	0.713	5.180 ~ 11.313	7.47	9.67
红米 Red rice	Fe	14	7.556	0.882	0.236	7.046 ~ 8.065	6.01	9.19
	Zn	14	10.804	1.627	0.435	9.864 ~ 11.743	8.13	13.81
	Cu	14	6.506	0.794	0.212	6.048 ~ 6.965	4.96	7.92
	Mn	14	6.015	0.967	0.258	5.457 ~ 6.573	4.60	8.26
黄米 Yellow rice	Fe	5	6.756	0.980	0.438	5.539 ~ 7.973	6.01	7.91
	Zn	5	9.020	1.044	0.467	7.724 ~ 10.316	8.41	10.82
	Cu	5	5.794	1.476	0.660	3.961 ~ 7.627	4.55	7.39
	Mn	5	4.990	1.124	0.503	3.594 ~ 6.386	4.47	6.09
绿米 Green rice	Fe	1	9.020	—	—	—	—	—
	Zn	1	12.490	—	—	—	—	—
	Cu	1	4.540	—	—	—	—	—
	Mn	1	4.490	—	—	—	—	—

表4 方差分析结果

Table 4 Analysis of variance

处理	变异来源	平方和	自由度	均方	F	P
Treatment	Variationsource	ss	df	Means quare		
Fe	处理间	25.576	4	6.394	8.387	0.000
	处理内	16.772	22	0.762		
	总变异	42.348	26			
Zn	处理间	16.460	4	4.115	1.969	0.135
	处理内	45.988	22	2.090		
	总变异	62.447	26			
Cu	处理间	6.497	4	1.624	1.923	0.142
	处理内	18.585	22	0.845		
	总变异	25.082	26			
Mn	处理间	23.832	4	5.958	6.421	0.001
	处理内	20.412	22	0.928		
	总变异	44.244	26			

Mn 含量较低,与绿米的 4.490mg/kg 相差不大,为 4.990mg/kg;绿米 Zn 含量最高,为 12.490mg/kg,但 Cu 含量最低,为 4.540mg/kg;而红米、黑米和褐米 Zn 含量相差不大,分别为 10.804mg/kg、10.715mg/kg 和 10.657mg/kg, Cu 含量也相差不大,分别为 6.850mg/kg、6.690mg/kg 和 6.506mg/kg;黄米 Zn 含量最低,仅为 9.020mg/kg, Cu 含量较低,为 5.794mg/kg,仅高于绿米。由此可知,黑米和褐米富 Fe、Zn、Cu 和 Mn,绿米富 Fe 和 Zn,红米富 Zn 和 Cu,黄米 4 种矿质元素含量较低,Fe、Cu 和 Mn 均低于普通稻米。

### 3 讨论

本研究在相同环境下,用 AAS 法测定了 27 份有色稻米和 34 份普通稻米中 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素含量。结果表明,不同基因型间矿质元素含量差异较大,与前人研究结果一致<sup>[5-7]</sup>;4 种矿质元素含量在有色稻米和无色稻米间差异均达显著水平,有色稻米 4 种矿质元素含量明显高于无色稻米,糙米矿质元素含量依次为 Zn > Fe > Cu > Mn。曾亚文等<sup>[8]</sup>用 ICP-AES 法测定了 789 份地方水稻糙米中的 8 种矿质元素,认为糙米元素含量依次为 P > K > Mg > Ca > Zn > Fe > Cu > Mn,本研究结果与其一致,但两种方法测定含量结果区别较大,估计与分析方法和样品预处理不同有关。稻米中 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等属微量元素,分析检测较为困难。目前,矿质

元素含量的测定应用最广泛的为原子光谱法<sup>[9]</sup>,包括原子吸收光谱法(AAS)、原子荧光光谱法(AFS)和原子发射光谱法(AES)。通过不同方法对稻米矿质元素含量进行分析评价,有助于开展微营养种质资源发掘和利用,实现种质创新,并为下一步相关遗传研究奠定基础。

有关水稻子粒矿质元素含量与种皮颜色的相关研究较少,Zeng 等<sup>[7]</sup>分析了 653 份云南稻资源糙米中 8 种矿质元素含量,认为 K、Ca、Fe、Zn 和 Mn 与米色有关。吕文英<sup>[10]</sup>研究认为水稻子粒中矿质元素含量与米色有一定的遗传相关,黑米中含量最高,其次为红米。Koh 等<sup>[11]</sup>认为稻米矿质元素阳离子含量的增加,与黑米色素沉积性状有关。张名位等<sup>[12]</sup>以 3 种种皮颜色深浅不同的黑米稻为材料,开展黑米稻种皮色素含量的遗传效应分析,认为种皮色素含量表现多基因控制的数量性状遗传,色素含量高种皮颜色深,色素含量低种皮颜色浅,水稻子粒中 Fe 和 Mn 含量与黑米色素含量表现为显著正相关。本研究通过比较黑、褐、红、绿和黄等 5 种不同颜色稻米 4 种矿质元素含量,研究 Fe、Zn、Cu 和 Mn 等矿质元素含量与稻米种皮颜色的关系。结果表明,Fe 和 Mn 含量在不同颜色稻米间差异均达极显著水平,而 Zn 和 Cu 含量差异不显著。认为 Fe 和 Mn 含量与有色米种皮颜色密切相关,而 Zn 和 Cu 含量与种皮颜色关系不大。黑米 Fe 含量最高,褐米 Mn 含量最高,绿米 Zn 含量最高,而黄米 4 种矿质元素含量较低,Fe、Cu 和 Mn 均低于普通稻米。

裘凌沧等<sup>[13]</sup>对 9 个黑米品种、33 个红米品种和 210 个普通水稻品种的矿质元素含量分析,认为黑米、红米 P、S 含量明显高于普通稻米。张名位<sup>[14]</sup>研究表明,黑米的铁和锌的含量明显高于普通稻米。韩龙植等<sup>[15]</sup>认为黑糯米 1568 铁和锌含量较高,红米 1201 锌和硒含量较高,认为有色种皮是提高水稻营养特性的特殊性状之一。本研究通过不同种皮颜色矿质元素含量分析结果,认为与无色米相比较黑米和褐米富 Fe、Zn、Cu 和 Mn,绿米富 Fe 和 Zn,红米富 Zn 和 Cu。其中,黑米富 Fe、Zn 和 Mn,红米富 Zn 的研究结果与前人研究一致<sup>[12,14-15]</sup>,并认为黑米和红米还富含 Cu。因此,这些特种稻可作为水稻微营养种质创新的材料,可进一步开展其他矿质元素、花色苷、维生素和氨基酸等营养特性的评价。

(下转 981 页)



# 有色稻米Fe、Zn、Cu和Mn含量及与种皮颜色相关分析

作者: 郭咏梅, 段延碧, 李少明, 黄平, 涂建, 李华慧, 萧凤回, 谭学林, GUO Yong-mei, DUAN Yan-bi, LI Shao-ming, HUANG Ping, TU Jian, LI Hua-hui, XIAO Feng-hui, TAN Xue-lin  
作者单位: 郭咏梅, GUO Yong-mei(云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明650201; 云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明650205), 段延碧, 李少明, DUAN Yan-bi, LI Shao-ming(云南农业大学农科实验教学中心, 昆明, 650201), 黄平, 涂建, 李华慧, HUANG Ping, TU Jian, LI Hua-hui(云南省农业科学院粮食作物研究所, 昆明, 650205), 萧凤回, 谭学林, XIAO Feng-hui, TAN Xue-lin(云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明, 650201)  
刊名: 植物遗传资源学报 ISTIC PKU  
英文刊名: Journal of Plant Genetic Resources  
年, 卷(期): 2011, 12(6)

## 参考文献(15条)

1. Gregorio G B; Senadhira D; Htut T Improving iron and zinc value of rice for human nutrition 1999(09)
2. 张名位 特种稻米及其加工技术 2000
3. 顾德法; 徐美玉 紫黑糯米特种营养研究 1992(05)
4. 孙明茂; 韩龙植; 李圭星 水稻花色苷含量的遗传研究进展[期刊论文]-植物遗传资源学报 2006(02)
5. 韩龙植; 南钟浩; 全东兴 特种稻种质创新与营养特性评价[期刊论文]-植物遗传资源学报 2003(03)
6. 张名位 黑米中几种矿质元素的研究 1992
7. 裘凌沧; 潘军; 段彬伍 有色米及白米矿质元素营养特征[期刊论文]-中国水稻科学 1993(02)
8. 张名位; 杜应琼; 彭仲明 黑米中矿质元素铁、锌、锰、磷含量的遗传效应研究 2000
9. Koh H J; Won Y J; Cha G W Variety variation of pigmentation and some nutritive characteristics in colored rices 1996
10. 吕文英 米类食品中锌、铁、钙、锰、铜等元素含量测定与研究 2000(04)
11. 刘杰朱; 智伟; 孙成效 稻米中矿质元素及其测定方法的研究进展[期刊论文]-中国稻米 2010(05)
12. 曾亚文; 汪禄祥; 普晓英 ICP-AES检测云南稻核心种质矿质元素含量的地带性特征[期刊论文]-光谱学与光谱分析 2009(06)
13. Zeng Y W; Liu J F; Wang L X Diversity of mineral concentrations in cultivated ecotypes of Yunnan rice[期刊论文]-Acta Agronomica Sinica 2006(06)
14. 曾亚文; 刘家富; 汪禄祥 云南稻核心种质矿质元素含量及其变种类型[期刊论文]-中国水稻科学 2003(01)
15. 刘宪虎; 孙传清; 王象坤 我国不同地区稻种资源的铁、锌、钙、硒四种元素的含量初析 1995(02)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zwyczyxb201106021.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201106021.aspx)