

十和田/丽粳 2 号回交重组自交系糙米 Zn 含量与其他元素和农艺性状间相关性

孙正海^{1,2,3}, 曾亚文^{1,2}, 杨树明², 普晓英², 杜娟², 汪祿祥⁴

(¹云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201; ²云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650205;

³西南林学院园林学院, 昆明 650224; ⁴云南省农业科学院质量标准与检验技术研究所, 昆明 650223)

摘要:用 ICP-AES 法测定了十和田/丽粳 2 号/十和田 BC₄F₅ 回交重组自交系 264 个株系糙米 Zn 含量及其在株型间的遗传变异, 分析了糙米 Zn 含量与 16 种元素 (K、P、S、Mg、Ca、Mo、Ni、Fe、Cr、Na、Al、Cu、Sn、B、Mn 和 Sr)、9 个农艺性状 (结实率、实粒数、秕粒数、穗长、有效穗、花药长度、花药宽度、穗茎节间长和倒 2 叶长)、MDA (丙二醛) 含量、3 种酶 (POD、SOD、CAT) 活性间相关性, 旨在揭示糙米 Zn 与其他元素、稻米产量、稻耐冷性等关联性。结果表明: 回交重组自交群体糙米 Zn 含量为正态分布, 有超亲优势株系; 糙米 Zn 含量与 8 种元素 (K、S、P、Mg、Ca、Fe、B、Mn) 含量呈极显著相关, 与 5 种元素 (S、Mg、Ni、Cr、Al) 含量呈显著偏相关; 初步认为糙米 Zn 含量与稻米产量及耐冷性为负相关, 与酶活性相关性不显著。

关键词: 矿质元素; 农艺性状; 酶活性; 相关性; 回交重组自交系

Correlation between Brown Rice Zinc Content with Other Elements and Agronomic Traits in Backcross Recombinant Inbred Lines (BRILs) for Towada/Lijiang2

SUN Zheng-hai^{1,2,3}, ZENG Ya-wen^{1,2}, YANG Shu-ming², PU Xiao-ying², DU Juan², WANG Lu-xiang⁴

(¹College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201; ²Biotechnology and Genetic

Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205; ³School of Horticulture and

Gardening, Southwest Forestry College, Kunming 650224; ⁴Institute of Quality Standards and

Testing Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223)

Abstract: Brown rice zinc content and its variation in 264 plant lines in BRILs (Towada/Lijiang2/ Towada BC₄F₅) were determined by ICP-AES technique. Correlations between brown rice zinc content with sixteen elements (K, P, S, Mg, Ca, Mo, Ni, Fe, Cr, Na, Al, Cu, Sn, B, Mn and Sr) content, nine agronomic traits (seed setting rate, full grains, blighted grains, panicle length, effective tillering, anther length, anther width, uppermost internode length, and reciprocal secondary leaf length), MDA content and three enzyme activity (POD, SOD and CAT) were analysed. The aim of that were to open out association between zinc in brown rice with other mineral element, yield and cold tolerance et al traits of rice. The results showed that brown rice zinc content distribution in BRILs were normal and some lines had more zinc content than parents. Brown rice zinc content significant correlated with eight elements (K, S, P, Mg, Ca, Fe, B, Mn) content at 0.01 level and significantly partial correlated with five elements (S, Mg, Ni, Cr, Al) content at 0.05 level. Brown rice zinc content were deemed primary to correlate negatively with yield and cold tolerance of rice. Correlation between brown rice zinc content with enzyme activity were not significant.

Key words: Mineral element; Agronomic traits; Enzyme activity; Correlation; Backcross recombinant inbred lines (BRILs)

收稿日期: 2008-12-20

修回日期: 2009-02-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30660092); 云南省院省校合作项目 (2006YX12); 人才培养项目 (2005PY01-14)

作者简介: 孙正海, 在读博士, 主要从事植物生物技术及遗传育种研究

通讯作者: 曾亚文, 研究员, 主要从事水稻及大麦资源评价及育种研究。E-mail: zengyw1967@126.com

锌是人体健康和生命有关的 8 种必需微量元素之一,对多种金属酶、转录因子和蛋白起着催化或构建作用^[1],又是目前人体急需补充的微量元素之一,目前因缺锌影响着约 20 亿人的健康^[2]。虽然人类可借助食品添加剂、保健品或药物等补充人体缺乏的锌,但依然存在投资大、费用高、覆盖面小等缺陷,不能根治锌营养不良的问题^[3]。1578 年《本草纲目》提出“药食同源”的观点,现今国内外学者也认为主食是一种最优、安全的矿质元素补充途径,通过生物强化方法可明显提高作物可食用部分矿质元素含量^[4]。稻米是全球半数以上人口的主食,提高稻米中锌含量对克服锌缺乏至关重要。

锌生理功能研究进展显著,特别是锌转运蛋白和基因研究,如原核生物中 ABC 家族和 P 型 ATPase 与锌转运有关,在真核生物中 ZIP 家族和 CDF 家族调控着锌的运输^[1];水稻 *MATE gene* 基因沉默后叶片中锌、锰含量增加,铁含量减少^[5]; HvIRT1 蛋白不仅可运输 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 离子,也能转运 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Cd^{2+} 离子^[6]。653 份云南稻核心种质锌含量显示地方品种明显高于改良品种,红米的 Zn 含量显著高于白米和黑米^[7];粳稻“龙锦 1 号/香软米 1578”248 个 F_3 家系群糙米矿质元素含量遗传分析显示了数量性状特征^[8]。锌肥类型及施用期会显著影响水稻产量^[9],富含磷酸盐土壤加入石灰会减少水稻叶片中锌含量^[10]。

回交重组自交系是指除目标基因及其附近基因片段存在差异外,其他遗传背景大致相同的一对纯系,是进行目标基因定位和目标性状分析的理想群体^[11]。基于回交重组自交系群体研究糙米 Zn 元素与其他矿质元素、产量关联农艺性状、酶活性间相关性还未见报道。本文测定了十和田/丽梗 2 号/4/十和田 BC_4F_5 回交重组自交系 264 份糙米 Zn 含量,分析其与糙米 K、P、S、Mg、Ca、Mo、Ni、Fe、Cr、Na、Al、Cu、Sn、B、Mn 和 Sr 等 16 种元素含量、9 个农艺性状、丙二醛(MDA)含量、3 种氧化物酶活性间相关性,旨在揭示回交重组自交系群体糙米 Zn 与其他元素、稻米产量、稻耐冷性等关联性,为选择培育高 Zn 水稻品种(种质)提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以云南地方品种丽梗 2 号作供体,日本引进品

种十和田作受体,经连续多代回交自交培育出具十和田遗传背景的丽梗 2 号 BC_4F_5 回交重组自交系 264 份,于 2006 年 5 月在云南省农业科学院试验田单亲本种植,每个株系种植 6 株,2 次重复,肥水管理同大田,10 月份收获。

1.2 试验方法

1.2.1 矿质元素含量测定 在农业部农产品质量监测中心(昆明)采用等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)对回交重组自交系群体进行 Zn 元素和其余 16 种元素含量测定。测量步骤:每份稻谷经砗谷机脱壳成糙米并粉碎,准确称取 0.5g 置于烧杯中,加入 5ml 硝酸和 1ml 高氯酸,电热板上加热消解至溶液清亮,蒸至近干,加入 1:1 盐酸 5ml 溶解残渣,后转入 50ml 容量瓶定容待测,作样品空白处理,测定结果平均值作为最终矿质元素含量值。

1.2.2 农艺性状调查 花药长度和宽度:在开花期将花药取至室内,用 50 倍背投显微镜观察,总粒数、实粒数、秕粒数在稻米成熟后取至室内计数;其余性状于收获前在田间进行观察记载。每个重复取 3 株,最后求平均值。

1.2.3 MDA 含量及 POD、CAT 和 SOD 酶活性测定 取孕穗期第 2 片叶片 0.5g 在液氮中研碎,加入 5ml 提取液转移至 10ml 离心管,15000 转离心 15min,取上清液备用。丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)酶活性的测定方法参考文献^[12];每重复测 3 株,2 个重复共 6 株,测定结果的平均值作为该指标最终值。

用 SPSS11.6 统计软件计算糙米 Zn 含量与 16 种元素、9 个农艺形态性状、酶活性的简单相关系数($B-P$: Bivariate correlations pearson)、偏相关系数($P-C$: Partial correlation)、一元回归自变量系数(一元线性回归方程 $y = ax + b$ 中 a , 用 $L-R$: Linear Regression 表示)和多元回归系数(多元线性回归方程 $y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots$ 中 a, b, c, \dots 等, 用 $LD-R$: Linear Regression 表示),并相应进行显著性分析。相关分析以 0.01 水平为极显著相关(用“**”表示),以 0.05 水平为显著相关(用“*”表示);回归系数显著性检验以“**”表示在相伴概率值为 0.01 水平时符合线性回归,以“*”表示在相伴概率值为 0.05 水平时符合线性回归。

2 结果与分析

2.1 亲本及回交重组自交系群体 Zn 含量的变异

测定结果显示,亲本十和田和丽粳 2 号糙米 Zn 含量分别为 33.85mg/kg 和 42.23mg/kg。回交重组自交系群体糙米 Zn 含量分布范围在 23.03 ~ 67.56mg/kg,变异系数为 17.26%,平均值为 43.06 ± 7.37 mg/kg;最高 Zn 含量为 67.56mg/kg,分别为供体丽粳 2 号和双亲均值的 1.6 倍和 1.13 倍。与前人研究相比,回交重组自交系糙米 Zn 含量变异系数小于品种间变异系数 41.20%^[13] 高于 F₃家系变异系数 12.04%^[8],可用作遗传分析和基因定位,超亲优势的存在为通过杂交提高稻米 Zn 含量提供了依据。

2.2 回交重组自交系群体糙米 Zn 含量的次数分布

以群体中 Zn 含量(最大值-最小值)/20 为分布间距作群体 Zn 含量分布柱形图(图 1),计算其峰度和偏度得 0.01 和 0.31,单样本 K-S 检验结果正态分布相伴概率值 $p = 0.90$,分布图为右边拖尾的陡峭峰(偏度和峰度都大于 0),表明群体中高 Zn 含量株系所占比例较高,由此认为丽粳 2 号糙米 Zn 含量基因已被成功导入回交群体中。正态分布相伴概率值 p 大于 0.05,确定该分布为正态分布,表现出数量性状特点。

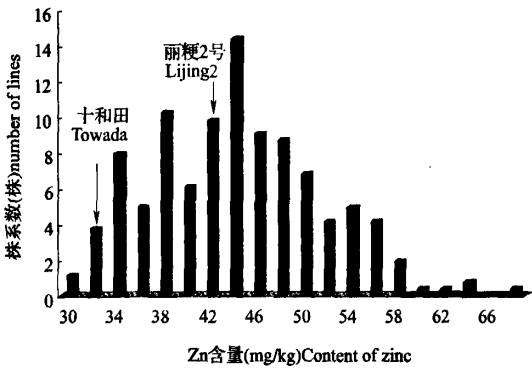


图1 回交重组自交系 Zn 含量次数分布
Fig.1 Frequency distribution for brown rice zinc content in BRILs

2.3 回交重组自交系群体糙米 Zn 含量与 16 种矿物质元素含量的相关性分析

糙米 Zn 含量与 5 种大量元素均呈极显著正相关(表 1),相关性大小依次为 $Mg > K > P > Ca > S$, 11 种微量元素中只与 Fe、B 和 Mn 3 种达极显著相

表 1 糙米 Zn 含量与 5 种大量元素含量的相关性
Table 1 Correlations between zinc with five macroelements content in brown rice

参数	Parameter	K	S	P	Mg	Ca
B-P		0.60**	0.41**	0.55**	0.68**	0.47**
P-C		0.03	0.19**	0.01	0.25**	0.06
L-R		0.02**	0.02**	0.01**	0.04**	0.17**
LD-R		0	0.01**	0	0.02**	0.02*

关水平(表 2)。表明 Zn 含量易受大量元素影响,与曾亚文等^[7]在 653 份云南稻核心种质和孙明茂等^[8]在粳稻“龙锦 1 号/香软米 1578”F₃家系中研究结果一致。由于元素吸收时存在相互促进或抑制现象,而简单相关分析不能消除这一影响,因此分析了 Zn 含量与 16 种元素偏相关。结果发现,5 种大量元素与 Zn 的相关性降低,只有 S 和 Mg 仍与其呈极显著相关,表明这两种元素与其他 3 种相比与 Zn 的关系较紧密,控制它们的基因可能存在连锁现象。与大量元素相比,Zn 与微量元素偏相关变化剧烈,仍有 3 种元素与其达显著或极显著相关(Ni、Cr 和 Al,其中 Cr 为负相关,其余为正相关),但与 Zn 不呈简单显著相关,而前述与 Zn 呈显著简单相关的 3 个元素(Fe、B 和 Mn)则不再呈显著相关。推测 11 种微量元素中,Ni、Cr 和 Al 与 Zn 关系较紧密。

为量化 Zn 与 16 种元素的关系,对 16 种元素与 Zn 进行了一元线性回归和多元线性回归分析。结果显示,8 种元素(K、S、P、Mg、Ca、Fe、B 和 Mn)与 Zn 符合一元线性回归,与 Zn 呈显著简单相关,回归方程:Zn 与 K 为 $y = 3.60 + 0.02x$;Zn 与 S 为 $y = 17.31 + 0.02x$;Zn 与 P 为 $y = 18.60 + 0.01x$;Zn 与 Mg 为 $y = 3.04 + 0.04x$;Zn 与 Ca 为 $y = 17.10 + 0.17x$;Zn 与 Fe 为 $y = 35.27 + 0.68x$;Zn 与 B 为 $y = 40.9 + 1.00x$;Zn 与 Mn 为 $y = 25.00 + 0.58x$ 。多元线性回归结果显示大量元素中 S 和 Mg、微量元素中 Al 和 Ni 与 Zn 符合多元线性回归,这 4 种元素与 Zn 呈显著偏相关。

2.4 回交重组自交系群体糙米 Zn 含量与农艺性状的相关性分析

提高稻米 Zn 含量是否影响稻米产量目前没有定论。糙米 Zn 含量与产量关联的 5 个农艺性状结实率、实粒数、秕粒数、穗长、有效穗相关性如表 3。5 个性状中,结实率与 Zn 含量呈简单负相关,并符合负多元线性回归(回归系数为负值);穗长与 Zn 含量呈极

表 2 糙米 Zn 含量与 11 种微量元素含量相关性

Table 2 Correlations between zinc with eleven microelements content in brown rice

参数 Parameter	Mo	Ni	Fe	Cr	Na	Al	Cu	Sn	B	Mn	Sr
B-P	-0.08	-0.06	0.31 **	-0.05	0.01	0.05	0.00	-0.10	0.24 **	0.41 **	0.11
P-C	-0.12	0.12 *	0.09	-0.13 *	-0.09	0.13 *	0.05	0.02	-0.04	0.01	0.08
L-R	-0.47	-0.32	0.76 **	-0.45	0.01	0.07	0.00	-0.37	1.64 **	0.58 **	6.02
LD-R	-2.1	2.09 *	0.19	-3.52	-0.04	0.23 *	0.09	0.15	-0.16	0.02	7.39

显著简单负相关和显著负偏相关,也符合负多元线性回归。这表明 Zn 在稻米中积累时会降低结实率和穗长,因此可能会降低稻米产量。冷害是目前水稻产区特别是高海拔地区主要限产因子之一,结实率、花药长度、花药宽度、穗茎节间长和倒 2 叶长都

是耐冷性间接评价指标^[14],表 3 显示 Zn 含量与花药长度呈显著简单负相关并符合多元线性负回归,推断提高稻米 Zn 含量可能会降低水稻耐冷性,这一现象已在超级杂交稻协优 9308 重组自交系中有过报道^[15]。

表 3 糙米 Zn 含量与农艺性状的相关性

Table 3 Correlations between brown rice zinc content with agronomic traits

参数 Parameter	结实率 Seed setting rate	实粒数 Full grains	秕粒数 Blighted grains	穗长 Panicle length	有效穗 Effective tillering	花药长度 Anther length	花药宽度 Anther width	穗茎节间长 Uppermost internode length	倒 2 叶长 Reciprocal secondary leaf length
B-P	-0.02	-0.03	0.04	-0.16 **	-0.05	-0.11 *	0.01	-0.11	-0.06
P-C	-0.20 *	0	0	-0.190 *	-0.05	-0.13 *	0.04	0	0.03
L-R	-0.81	-0.01	0.01	-1.20	-0.45	-1.14	0.32	-0.58	-0.17
LD-R	-76.12 *	0	0.51 *	-1.72 *	-0.52	-1.54 *	1.48	-0.66	0.10

2.5 回交重组自交系群体糙米 Zn 含量与 SOD、POD、CAT 酶活性和 MDA 含量相关性分析

植物缺 Zn 引起体内活性氧自由基过量积累进而破坏植物细胞膜结构是缺 Zn 造成植物损伤的根本途径^[16],Zn 低效品种比 Zn 高效品种在 Zn 浓度降低时所受氧化程度高(POD、SOD、CAT 酶活性低于高效品种,MDA 含量高于高效品种)^[17]。但在 Zn 浓度正常情况下,糙米 Zn 累积速度与 4 个生理指标的相关性未见报道。表 4 显示,糙米 Zn 含量与上述 4 个生理指标不存在相关性,初步认为在 Zn 浓度正常情况下 Zn 的吸收不受 POD、SOD、CAT 和 MDA 影响。

表 4 糙米 Zn 含量与 MDA 含量及酶活性的相关性

Table 4 Correlations between brown rice zinc content with MDA content and enzyme activity

参数 Parameter	过氧化氢酶 CAT	过氧化物酶 POD	丙二醛 MDA	超氧化物歧化酶 SOD
B-P	0.09	0.04	0.02	-0.09
P-C	0.09	0.02	0.02	-0.07
L-R	15.6	0.85	0.10	-0.03
LD-R	16.68	0.31	0.09	-0.02

3 讨论

3.1 亲本及回交重组自交系群体糙米 Zn 含量变异

本研究用多次回交并自交稳定的重组自交系群体研究了糙米 Zn 含量,结果显示后代中 54% 的株系糙米 Zn 含量超过了两粳 2 号,最高是它的 1.6 倍,推断 Zn 含量是由多基因控制并存在加性效应,与赖来展等^[18]和张名位等^[19]研究结果相吻合。群体中株系糙米 Zn 含量最高为 67.56mg/kg,超过了目前报道的一些高 Zn 品种,如上海农科院培育的上农黑糯(20mg/kg)、上农黑乌贡 1 号,IRRI 研制出的加强型水稻品种(55.5mg/kg)^[20]。考虑到该群体经过多代自交,性状已稳定,故可把高 Zn 株系作为高 Zn 新种质来推广或作为选育高 Zn 品种的材料。

3.2 糙米 Zn 含量与 16 种矿质元素的相关性

矿质元素在吸收时存在拮抗或促进作用在水稻上已被证实,如 Fe 抑制 Cu 和 Mn 吸收,Fe 促进 Zn 吸收等^[21-23],简单相关在评价元素相关性时往往不能消除这一影响。如在本试验中 Cr 与 Zn 不存在显著简单相关却存在显著负偏相关,事实也证明 Zn 抑

制 Cr 吸收^[24], 而且在超级杂交稻协优 9308 RILs 和十和田 NILs 中发现二者存在相同的 QTL 区间^[15,25]。这都表明二者有关联, 因此建议在评价元素间相关性时应同时分析简单相关和偏相关。

3.3 糙米 Zn 含量与农艺性状的相关性

关于糙米 Zn 含量与产量的关系一直存在争议, 目前倾向于认为二者为负相关^[26-27]。本研究得到了类似结果, 推测原因可能与 Zn 吸收机制有关, 农艺性状中植株变高大、抽穗期延迟、穗子变大、粒数增加, 都可能意味着 Zn 元素在植株器官中积累增加, 因此在子粒中积累浓度就相对降低。糙米 Zn 含量与耐冷性指标的相关分析目前还未见报道, 本研究结果对于如何根据稻米来源地筛选高 Zn 种质具有指导意义。前人研究发现, Zn 浓度会影响 SOD、POD、CAT 酶活性和 MDA 活性, 但至于为何 4 个生理指标与 Zn 在稻米中最终积累值关系不密切还有待分析。

参考文献

- [1] 印丽萍, 黄勤妮, 吴平. 植物营养分子生物学及信号转导 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 258-277
- [2] Prasad A S. Zinc deficiency [J]. British Medical Journal, 2003, 326: 409-410
- [3] Lucca P, Hurrell R, Potrykus I. Approaches to improving the bio-availability and level of iron in rice seeds [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81: 828-834
- [4] Welch R M, Graham R D. Breeding crops for enhanced micronutrient content [J]. Plant and Soil, 2002, 245: 205-214
- [5] Yokosho K, Yamaji N, Ueno D, et al. *OsFRDL1* is a citrate transporter required for efficient translocation of iron in rice [J]. Plant Physiology Preview, 2009, 149: 297-305
- [6] Peadar P, Cecilie K, Anja Y T. Manganese efficiency in barley: Identification and characterization of the metal ion transporter HvIRT1 [J]. Plant Physiology, 2008, 148: 455-466
- [7] 曾亚文, 刘家富, 汪禄祥, 等. 云南稻核心种质矿质元素含量及其变种类型 [J]. 中国水稻科学, 2003, 17(1): 25-30
- [8] 孙明茂, 杨吕仁, 李点浩, 等. 梗稻“龙锦 1 号/香软米 1578”F₃ 家系群糙米矿质元素含量变异及相关性分析 [J]. 中国水稻科学, 2008, 22(3): 290-296
- [9] Slaton N A, Norman R J, Wilson C E. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice [J]. Agron J, 2005, 97: 272-278
- [10] Soratto R P, Crusciol C A C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield [J]. Agron J, 2008, 100: 261-270
- [11] 杨树明, 曾亚文, 杜娟, 等. 水稻丽粳 2 号近等基因系亲种后代耐冷性遗传研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(3): 306-309
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [13] 蒋彬. 糙米中微量元素铁铜锰锌的含量差异 [J]. 昭通师范高等专科学校学报, 2002, 24(2): 45-48
- [14] 孙正海. 梗稻近等基因系耐冷性评价及 QTL 分析 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2009
- [15] 沈希宏, 曹立勇, 邵国胜, 等. 水稻籽粒中 5 种微量元素含量的 QTL 定位 [J]. 分子植物育种, 2008, 16(6): 1061-1067
- [16] Cakmak I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species [J]. New Phytol, 2000, 146: 185-205
- [17] 陈文荣. 水稻 (*Oryza sativa* L.) 锌高效营养生理机制研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2008
- [18] 赖来展, 张名位, 彭仲明, 等. 黑米稻种质资源的评价与利用研究 [J]. 作物品种资源, 1994(增刊): 58-64
- [19] 张名位, 郭宝江, 池建伟, 等. 黑米皮的营养与抗氧化评价及其加工处理的保质效果 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 165-169
- [20] Vasconcelos M, Datta K, Oliva N, et al. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene [J]. Plant Science, 2003, 164: 371-378
- [21] Cohen C K, Fox T C, Garvin D F, et al. The role of iron-deficiency stress responses in stimulating heavy metal transport in plants [J]. Plant Physiol, 1998, 116(3): 1063-1072
- [22] Sharma S S, Kaul S, Metwally A, et al. Cadmium toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status [J]. Plant Sci, 2004, 166(5): 1287-1295
- [23] Shao G S, Chen M X, Wang W X, et al. Iron nutrition affects cadmium accumulation and toxicity in rice plants [J]. Plant Growth Regul, 2007, 53(1): 33-42
- [24] Stangoulis J C R, Huynh B L, Welch R M, et al. Quantitative trait loci for phytate in rice grain and their relationship with grain micronutrient content [J]. Euphytica, 2007, 154(3): 289-294
- [25] 孙正海, 曾亚文, 杨树明, 等. 十和田近等基因系糙米锌含量 QTL 定位 [J]. 分子植物育种, 2009, 7(2): 264-268
- [26] Zhang M W, Guo B J, Peng Z M. Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P content in Indica black pericarp rice and their correlations with grain characteristics [J]. Euphytica, 2004, 135: 315-323
- [27] 曾亚文, 申时全, 汪禄祥, 等. 云南稻种质矿质元素含量与形态及品质性状的关系 [J]. 中国水稻科学, 2005, 19(2): 127-131

艺性状间相关性

作者: [孙正海](#), [曾亚文](#), [杨树明](#), [普晓英](#), [杜娟](#), [汪禄祥](#)

作者单位: [孙正海\(云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明, 650201; 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明, 650205; 西南林学院园林学院, 昆明, 650224\)](#), [曾亚文\(云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明, 650201; 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明, 650205\)](#), [杨树明, 普晓英, 杜娟\(云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明, 650205\)](#), [汪禄祥\(云南省农业科学院质量标准与检验技术研究所, 昆明, 650223\)](#)

刊名: [植物遗传资源学报](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES](#)

年, 卷(期): 2010, 11(1)

参考文献(27条)

1. [Slaton N A;Norman R J;Wilson C E](#) [Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice](#) 2005
2. [孙明茂;杨昌仁;李点浩](#) [粳稻“龙锦1号/香软米1578”F₃家系群糙米矿质元素含量变异及相关性分析](#)[期刊论文]-[中国水稻科学](#) 2008(03)
3. [Vasconcelos M;Datta K;Oliva N](#) [Enhanced iron and zinc accumulation in transgenicrice with the ferritin gene](#) 2003
4. [张名位;郭宝江;池建伟](#) [黑米皮的营养与抗氧化评价及其加上处理的保质效果](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2004(06)
5. [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)
6. [Pedas P;Cecilie K;Anja Y T](#) [Manganese efficiency in barley:Identification and characterization of the metal ion transporter HvIRT1](#) 2008
7. [Yokosho K;Yamaji N;Ueno D](#) [OsFRDL1 is a citrate transporter required for efficient translocation of iron in rice](#) 2009
8. [Welch R M;Graham R D](#) [Breeding crops for enhanced micronutrient content](#) 2002
9. [Lucca P;Hurrell R;Potrykus I](#) [Approaches to improving the bioavailability andlevel of iron in rice seeds](#) 2001
10. [Prasad A S](#) [Zinc deficiency](#)[外文期刊] 2003(7386)
11. [曾亚文;申时全;汪禄祥](#) [云南稻种矿质元素含量与形态及品质性状的关系](#)[期刊论文]-[中国水稻科学](#) 2005(02)
12. [Zhang M W;Gun B J;Peng Z M](#) [Genetic effects on Fe,Zn,Mn and P content in Indica black pericarp rice and their correlations with grain characteristics](#) 2004
13. [孙正海;曾亚文;杨树明](#) [十和田近等基因系糙米锌含量QTL定位](#)[期刊论文]-[分子植物育种](#) 2009(02)
14. [Stangoulis J C R;Huynh B L;Welch R M](#) [Quantitative trait loi for phytate in rice grain and their relationship with grain micronutrient content](#)[外文期刊] 2007(03)
15. [Shao G S;Chen M X;Wang W X](#) [Iron nutrition affects cadmium accumulation and toxicity in rice plants](#)[外文期刊] 2007(01)
16. [Sharma S S;Kaul S;Metwally A](#) [Cadmium toxicity to barley\(Hordeum vulgare\)as affected by varying Fe nutritional status](#)[外文期刊] 2004(05)
17. [Cohen C K;Fox T C;Garvin D F](#) [The role of iron-deficiency stress responses in stimulating](#)

[heavy metal transport in plants](#) [外文期刊] 1998 (03)

18. [赖来展; 张名位; 彭仲明](#) [黑米稻种质资源的评价与利用研究](#) 1994 (增刊)
19. [陈文荣](#) [水稻 \(Oryza sativa L.\) 锌高效营养生理机制研究](#) 2008
20. [Cakmak I](#) [Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species](#) 2000
21. [沈希宏; 曹立勇; 邵国胜](#) [水稻籽粒中5种微量元素含量的QTL定位](#) [期刊论文] - [分子植物育种](#) 2008 (06)
22. [孙正海](#) [粳稻近等基系耐冷性评价及QTL分析](#) 2009
23. [蒋彬](#) [精米中微量元素铁铜锰锌的含量差异](#) [期刊论文] - [昭通师范高等专科学校学报](#) 2002 (02)
24. [高俊凤](#) [植物生理学实验指导](#) 2006
25. [杨树明; 曾亚文; 杜娟](#) [水稻丽粳2号近等基因系杂种后代耐冷性遗传研究](#) [期刊论文] - [植物遗传资源学报](#) 2006 (03)
26. [Soratto R P; Crusciol C A C](#) [Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield](#) 2008
27. [印丽萍; 黄勤妮; 吴平](#) [植物营养分子生物学及信号转导](#) 2006

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201001005.aspx