

水稻子粒矿质元素含量遗传及 主要农艺性状相关性分析

陈秀晨, 王士梅, 王海娟, 王 申

(安徽省农业科学院水稻研究所, 合肥 230031)

摘要: 通过了解水稻子粒钙、镁、铜、铁、锌和硒等矿质元素含量, 以绿早 1 号作为父本与 102S、KD36S、7HS012 及 7HS013 不育系为母本进行配组, 对父本与杂交后代主要农艺及经济性状、水稻子粒中的矿质元素含量进行了遗传分析, 并对各杂交后代的主要农艺性状和子粒中矿质元素含量以及各矿质元素含量间进行了相关性分析。结果表明, 杂交后代农艺及经济性状多数表现出超高亲分离现象, 且 LK3 的农艺及经济性状均表现为最好。水稻子粒矿质元素含量与部分农艺和经济性状存在明显的正相关或负相关关系, 且 K、Mg、Zn、Se 等元素含量与水稻产量密切相关。水稻子粒中矿质元素含量大小依次为 $P > K > Mg > S > Ca > Mn > Fe > Zn > Cu > Se$, 4 个杂交后代的 K 元素含量表现出超高亲分离现象, LK2、LK3 和 LK4 的 Fe 元素含量也表现出超高亲分离现象。水稻子粒大量与微量元素之间相关性最高, 微量元素之间相关性次之, 大量元素之间相关性最小, 以 7HS012 不育系为母本得到的杂交后代农艺性状表现较好, 矿质元素含量最高, 7HS013 次之, 其他不育系表现一般。本研究为选育出耐旱及营养价值高的水稻新品种母本的选择提供了理论依据。

关键词: 水稻; 矿质元素含量; 主要农艺性状; 遗传分析; 相关分析

Genetic Analysis of Rice Grain Mineral Elements Content and Correlation Analysis with Main Agronomic Characters

CHEN Xiu-chen, WANG Shi-mei, WANG Hai-juan, WANG Shen

(Rice Research Institute of Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031)

Abstract: Contents of mineral elements including micronutrients as Ca, Mg, Cu, Fe, Zn and Se in rice grains were researched. Lvhan No. 1 as male parent, 102S, KD36S, 7HS012 and 7HS013 as female parents, some hybrid combinations were selected, genetic analysis of main agronomic and economic characters and mineral elements were measured between parents and hybrid combinations, correlation analysis between agronomic characters and mineral elements, among mineral elements of all hybrid combinations were analyzed. The result showed that many agronomic and economic characters of hybrid combinations were better than Lvhan No. 1, and LK3 was the best. There were some positive or negative correlation between mineral elements content and agronomic characters. the relationship of K, Mg, Zn, Se and other elements and the yield of rice was close. The order of mineral elements content was $P > K > Mg > S > Ca > Mn > Fe > Zn > Cu > Se$, the K contents of all hybrid combinations were better than Lvhan No. 1, and Fe contents of LK2, LK3 and LK4 were also better than Lvhan No. 1. The relationship was the closest between major elements and trace elements, the relationship was second among trace elements, the relationship among major elements was farthest. Agronomic characters or mineral elements content of hybrid combinations which 7HS012 as female parent were best. 7HS013 as female parent was second, others were ordinary. This study provides some theoretical basis for selecting female parent of drought tolerance and high nutritional value rice.

收稿日期: 2014-07-01 修回日期: 2014-08-29 网络出版日期: 2015-04-10

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150410.1629.022.html>

基金项目: 国家转基因专项(2008ZX001-003); 国家“863”绿色超级稻(2010AA101803); 安徽省农业科学院院长青年基金(12B102); 华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室开放课题

第一作者研究方向为水稻分子育种方面的研究。E-mail: achen312@163.com

通信作者: 王士梅, 研究方向为作物遗传育种。E-mail: wangshimei0551@163.com

Key words: rice; mineral elements content; main agronomic characters; genetic analysis; correlation analysis

现代营养医学研究表明,Fe、Se、Zn、Cu、Mn、Ca、Mg等矿质元素对机体发挥着极为重要的生理及生化功能,如骨组织组成、神经冲动传导、参与某些激素和维生素的合成,对防治疾病、增进健康和防止衰老具有重要意义。但矿质元素在体内无法自己合成,必须从食物中摄取^[1]。近年来,随着人们饮食习惯和生活方式的明显改变,营养失衡,摄入常量营养元素过高,而微量营养元素或其他有益的非营养元素过低,这已成为影响人类健康的重要障碍因素。水稻是我国主要食粮,其子粒中富含大量的人体所必需的矿质元素。另外,水稻子粒中Fe、Se、Zn、Ca、Mg等矿质元素含量的提高对稻米中蛋白质含量具有重要影响^[2],也是改善人类营养的有效途径之一。

国内外已有关于水稻子粒的矿质元素的功能及遗传特性的报道。S. Luan^[3]研究表明,水稻遇到高温热害会引起细胞膜氧化损伤,提高Ca的供应可以抑制该过程,防止或减轻热害损失。C. M. Hansel等^[4]研究表明,水稻根系 Fe^{2+} 形成的铁膜对 Cd^{2+} 离子吸附作用非常明显。M. Yoshida等^[5]研究表明,水稻子粒硒含量存在环境互作关系,因其硒含量主要来源于对土壤中硒的富集,高硒区的水稻子粒硒含量往往高于低硒区的水稻子粒硒含量,而同一地区水稻品种之间的硒含量差异不明显。魏丹等^[6]在黑龙江省农科院对水稻进行补硒试验,使水稻产量提高18%。贺梅等^[7]研究表明,钾素可明显提高各器官转移量和转移率,从而影响产量构成因素,提高穗粒数和穗重。郝虎林等^[8]研究表明,适量地增施氮肥可以在一定程度上调控水稻子粒铁素的积累,从而达到子粒铁素生物强化的目的。

绿早1号是本课题组以优良常规水稻品种6527为受体,将耐旱耐涝植物空心莲子草基因,采用浸胚方式直接导入优良常规水稻6527中,培育适宜水旱两用的耐旱节水新品种。目前,对该品种的栽培技术已进行了大量的研究^[9-10],但对其矿质元素含量、米质分析等的研究较少,尤其是对绿早1号与其他不育系进行配组得到的各种杂交组合的遗传分析则更少。本研究将绿早1号与不同的不育系进行配组,对得到的杂交组合以及父本的农艺性状、矿质元素含量进行了遗传分析,筛选出了与父本矿质元素等相关性较好的品种,以期选育耐旱及营养价值高的水稻新品种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

以安徽省农业科学院水稻研究所选育的粳型两系不育系绿102S、KD36S、7HS012和7HS013为母本,分别与粳型水稻品种绿早1号进行杂交,杂交组合分别编号为LK1、LK2、LK3和LK4,将每组杂交种和父本对应种植在合肥岗集试验田,每个编号种植10株,3次重复,株行距为20 cm×20 cm,成熟后收取3株进行考种,获得产量性状,同时也收取其他植株,脱壳后每个品种称50 g,用HK-04B摇摆式粉碎机磨成细粉,用于测定矿质元素含量,分析杂种之间以及杂种与父本之间的相关性。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 农艺性状测定^[11] 水稻成熟后,连续数10株分蘖,取接近平均值的3株进行考种,主要考察株高、穗长、穗实粒数、穗总粒数、穗瘪粒数、单株谷重、千粒重。

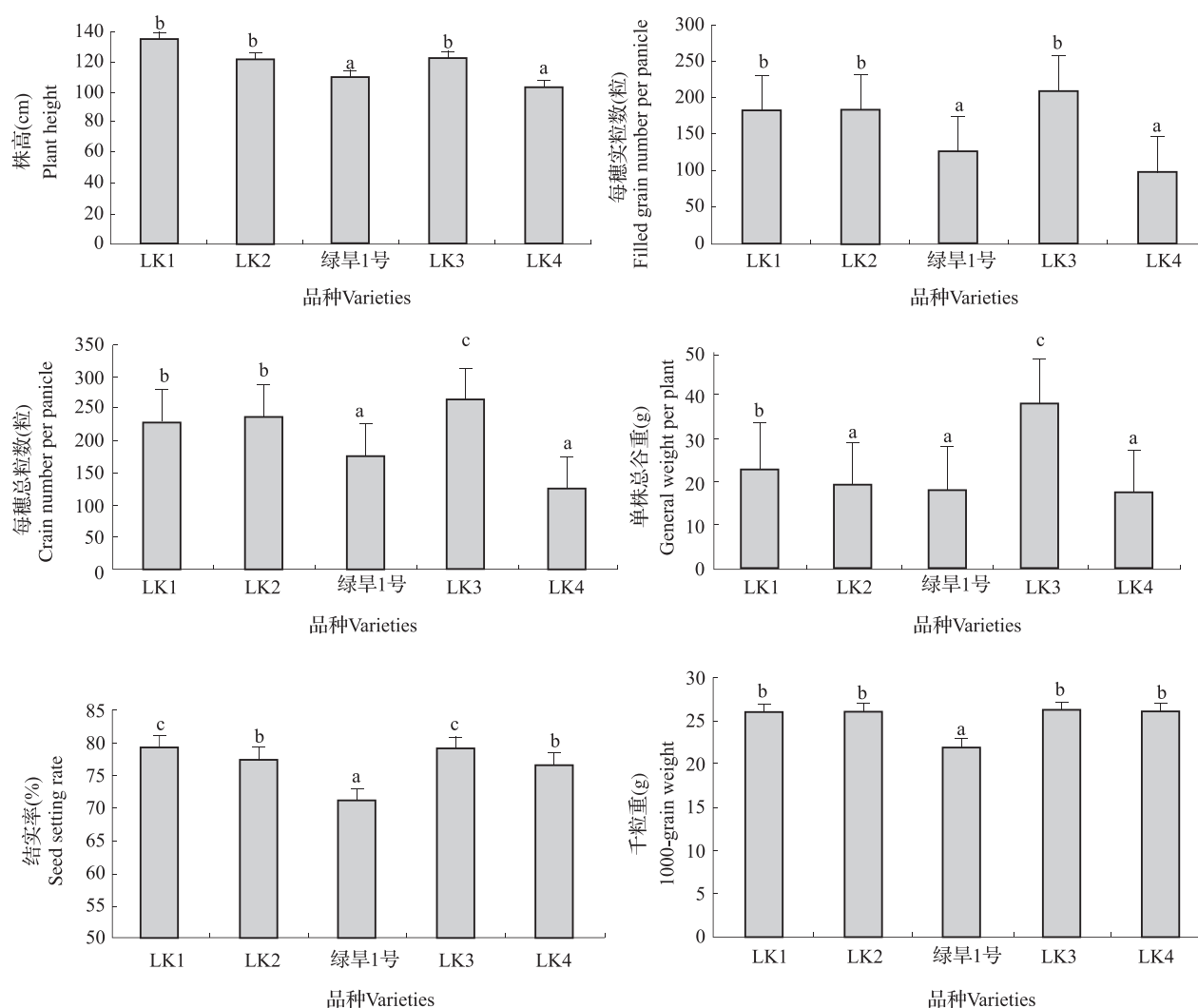
1.2.2 矿质元素测定^[12] 采用中科院遗传与发育研究所元素分析仪(型号:HK9600)测定大量元素P、K、Mg、S、Ca以及微量元素Mn、Fe、Zn、Cu、Se,每个编号测定3次,计算公式为:矿质元素含量=(测定值×定容终体积)/取样量。

2 结果与分析

2.1 水稻农艺及经济性状分析

2.1.1 父本及其杂交后代农艺及经济性状遗传分析 对绿早1号及其与不同母本进行杂交得到的后代进行农艺和经济性状分析(图1)。由图可知,除了LK4的株高、每穗实粒数和每穗总粒数稍低于父本绿早1号外,其他3个组合均显著高于父本,表现出超高亲分离;4个组合的单株总谷重、结实率和千粒重均高于父本,且结实率和千粒重与父本间差异显著,表现出超高亲分离。各组合间的农艺性状及经济性状也存在明显差异,LK3的穗实粒数、每穗总粒和单株总谷重均显著高于其他3个组合。LK3的农艺及经济性状均表现最好。

2.1.2 水稻子粒矿质元素与主要农艺及经济性状间的相关性分析 由表1可知,杂交后代Ca和Cu元素含量与株高、每穗实粒数、每穗总粒数、单株谷重以及千粒重均呈显著或极显著负相关,与结实率呈正相关,但相关性不显著;K元素含量与株高、每



不同小写字母表示差异达到显著水平,下同

Different lowercase letters showed that the difference was significant, the same as below

图1 绿旱1号及其杂交组合重要农艺性状分析

Fig. 1 Analysis of main agronomic characters of Lvhan No. 1 and hybrid combinations

穗实粒数、每穗总粒数和单株总谷重均呈显著或极显著正相关,与结实率也呈正相关,但相关性不显著,而与千粒重则呈负相关,说明K元素含量对水稻产量具有重要影响;Mg元素含量除了与千粒重呈显著正相关外,与其他性状均呈负相关,且与株高、每穗实粒数和每穗总粒数相关性均达到显著或极显著水平,说明Mg元素含量对水稻产量具有重要影响;P元素含量与千粒重呈极显著正相关,与单株总谷重也呈正相关,但相关性不显著,而与其他性状均呈负相关,且与株高的相关性达到显著水平;S元素含量与千粒重呈极显著正相关,与单株谷重也呈正相关,但相关性不显著,而与其他性状均呈负相关;Fe元素含量与株高和结实率均呈负相关,且与结实率的相关性达到显著

水平,而与其他性状均呈正相关,且与千粒重的相关性达到显著水平;Mn元素含量与株高呈显著负相关,与每穗实粒数和每穗总粒数也呈负相关,但相关性不显著,与千粒重呈显著正相关,与单株总谷重、结实率也呈正相关,但相关性不显著;Zn元素含量与农艺及经济性性状均呈负相关,且除了与结实率和千粒重相关性不显著外,与其他性状相关性均达到显著或极显著水平,说明Zn元素对水稻产量也有重要影响;Se元素与农艺及经济性性状均呈正相关,且除了与结实率和千粒重相关性不显著外,与其他性状相关性均达到显著或极显著水平,这与余守武等^[13]研究结果相类似。综上所述,矿质元素K、Mg、Zn、Se等元素含量与水稻产量密切相关,这与前人研究结果相一致^[14]。

表 1 水稻子粒矿质元素含量与重要农艺性状间的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between mineral elements content and main agronomic characters of rice grain

矿质元素 Mineral elements	Ca	K	Mg	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Se
株高 Plant height	-0.6101 *	0.9647 **	-0.9460 **	-0.6449 *	-0.3709	-0.5831 *	-0.0533	-0.7125 *	-0.6743 *	0.7979 *
每穗实粒数 Filled grain number per panicle	-0.7348 *	0.9642 **	-0.6613 *	-0.2590	-0.1002	-0.8123 **	0.1140	-0.2751	-0.8749 **	0.9615 **
每穗总粒数 Grain number per panicle	-0.8057 **	0.9622 **	-0.7008 **	-0.2485	-0.0342	-0.8545 **	0.2083	-0.3388	-0.9116 **	0.9805 **
单株谷重 Grain weight per plant	-0.7871 *	0.6613 *	-0.1797	0.3118	0.3803	-0.9166 **	0.4528	0.2298	-0.9738 **	0.8977 **
结实率 Seed setting rate	0.2793	0.3627	-0.0118	-0.2540	-0.5763	0.0639	-0.6843 *	0.2718	-0.0046	0.1734
千粒重 1000-grain weight	-0.5036 *	-0.0570	0.5026 *	0.8929 **	0.8445 **	-0.6181 *	0.7166 *	0.7235 *	-0.5319	0.3797

* 表示 $P < 0.05$ 显著水平; ** 表示 $P < 0.01$ 显著水平

* represents significant difference at 0.05 level, ** represents extremely significant difference at 0.01 level

2.2 水稻子粒矿质元素含量及遗传分析

2.2.1 大量元素含量分析 由表 2 可知,植物体所必需的大量元素含量大小依次为 $P > K > Mg > S > Ca$ 。4 个杂交后代的 Ca 元素含量均低于父本,但与父本间差异不显著;而 K、Mg 和 P 元素含量均高于父本,且 4 个组合的 K 元素含量与父本间差异达到显著水平,表现出超高亲分离,Mg 元素含量与父本间差异不显著,P 元素除了 LK1 与父本间差异不显著外,LK2、LK3 和 LK4 与父本间差异均达到显著水平,S 元素含量除了 LK3 高于父本外,达到 1010.93 mg/kg,其他都低于父本,且 LK1 的 S 含量明显小于父本及其他组合。

2.2.2 微量元素含量分析 由表 2 可知,水稻子粒中微量元素含量大小依次为 $Mn > Fe > Zn > Cu > Se$ 。4 个杂交后代 Cu 和 Se 元素含量均低于父本,且均与父本间差异达到显著水平,表现出超低亲分离,4 个组合的 Se 元素含量与父本间差异不显著;Fe 和 Mn 元素含量均高于父本,且 Fe 元素含量除了 LK1 与父本间差异不显著外,其他 3 个组合均与父本间差异达到显著水平,表现出超高亲分离,4 个组合的 Mn 元素含量与父本间差异均不显著;Zn 元素含量除了 LK4 高于父本外,达到 23.04 mg/kg,其他低于父本,且 LK3 的 Zn 元素含量明显低于父本及其他组合。

表 2 绿早 1 号及其杂交后代矿质元素含量

Table 2 Mineral elements content of Lvhan No. 1 and different female parent and hybrid combinations (mg/kg)

品种 Varieties	Ca	K	Mg	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Se
绿早 1 号	241.33a	2202.85a	1057.26a	2421.84a	997.43a	4.96a	31.09a	45.12a	21.67a	1.80a
LK1	227.50a	2443.21b	1093.76a	2443.54a	832.92c	3.47b	32.06a	47.58a	20.27a	1.58a
LK2	207.29a	2433.53b	1080.81a	2494.28b	961.81b	2.79c	35.84b	46.44a	17.46b	1.61a
LK3	200.54a	2447.48b	1124.58a	2585.76c	1010.93b	1.97c	36.19b	49.38a	13.50c	1.73a
LK4	231.83a	2382.33b	1183.33a	2591.67c	984.60a	3.78b	34.71b	49.89a	23.04a	1.43a

2.2.3 品种间的方差分析 由表 3 可知,品种间各元素含量差异不显著。4 个组合中,LK4 的 Ca、Cu、Mg、Mn、P 和 Zn 的含量均高于其他 3 个组合;LK3 的 Fe、K、S 和 Se 元素含量均高于其他 3 个组合(表 2)。因此,利用绿号 1 号和不育系 7HS012 和

7HS013 进行配组,得到的杂交后代子粒中矿质元素含量较高。

2.3 水稻子粒矿质元素含量间相关性分析

2.3.1 大量元素与微量元素间相关性分析 由表 4 可知,杂交后代水稻子粒中大量矿质元素 Ca 与

表 3 不同组合间各元素方差分析

Table 3 Variance analysis of different elements among hybrid combinations

元素 Elements	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	P 值 Pvalue
Ca	130.072	2	65.03599	0.78317
K	2243.71	2	1121.855	0.155379
Mg	866.934	2	433.467	0.551807
P	17789.23	2	8894.617	0.408334
S	1651.894	2	825.9472	0.156388
Cu	0.003643	2	0.001822	0.00512
Fe	24.13364	2	12.06682	1.47452
Mn	2.629437	2	1.314719	0.566267
Zn	1.025729	2	0.512864	0.099444
Se	6.303115	2	3.151558	0.017982

Cu 以及 Zn 元素间呈极显著正相关,与 Fe 和 Se 元素间呈负相关,且均达到显著和极显著水平,与 Mn 元素间呈正相关,但相关性不显著;K 元素除了与 Se 元素间呈极显著正相关,与其他微量元素间均呈负相关,且与 Cu、Mn 和 Zn 元素间的相关性达到显著水平,而与 Fe 元素的相关性不显著;Mg 元素除了与 Se 元素间呈显著负相关外,与其他微量元素间均呈正相关,且与 Mn 元素的相关性达到呈极显著水平,而与 Cu、Fe 以及 Zn 元素的相关性不显著;P 元素与 Fe 和 Mn 元素间均呈显著和极显著正相关,而与 Cu、Zn 和 Se 元素间均呈不显著的负相关关系;S 元素与 Fe、Mn 和 Se 元素间均呈正相关,且与 Fe 元素的相关性达到极显著水平,而与 Mn 和 Se 元素的

相关性不显著,与 Cu 和 Zn 元素间呈不显著的负相关。

2.3.2 大量元素与大量元素间相关性分析 由表 4 可知,Ca 元素与 K、P 和 S 元素间呈负相关关系,且与 K 和 S 元素的相关性达到显著水平,而与 P 元素的相关性不显著,与 Mg 元素间呈不显著的正相关;K 元素与 Mg、P 和 S 元素间均呈负相关,且与 Mg 元素的相关性达到极显著水平,而与其他 2 元素间的相关性不显著;Mg 元素与 P 和 S 元素间均呈正相关,且与 P 元素的相关性达到显著水平,而与 S 的相关性不显著;P 元素与 S 元素间的相关性达到极显著水平。

2.3.3 微量元素与微量元素间相关性分析 由表 4 可知,Cu 元素与 Fe 和 Se 元素间呈显著和极显著负相关关系,而与 Mn 和 Zn 元素间均呈正相关,且与 Zn 元素的相关性达到极显著水平;Fe 元素与 Zn 元素间呈显著负相关,而与 Mn 和 Se 元素间呈不显著的正相关;Mn 与 Zn 元素间呈正相关,但相关性不显著,与 Se 元素间呈负相关,但相关性也不显著;Zn 与 Se 元素间呈极显著负相关。

综上所述,水稻子粒大量与微量元素之间相关性最高,微量元素之间相关性次之,大量元素之间相关性最小。水稻子粒 Ca 元素含量较高的组合一般表现为较高的 Cu、Mg、Mn、P、Zn 含量和较低的 K、Pb 和 Se 含量;水稻子粒 Fe 元素含量的组合一般表现为较高的 Mn、S、Pb、Se 含量和较低的 Ca、Zn 含量;水稻子粒 S 元素含量较高的组合一般表现为较高的 P、Se 含量和较低的 Cu 和 Ca 含量。

表 4 杂交后代矿质元素含量间相关系数

Table 3 Correlation coefficient of mineral elements content among hybrid combinations

	Ca	K	Mg	P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Se
Ca	1									
K	-0.6495 *	1								
Mg	0.4649	-0.8281 **	1							
P	-0.1713	-0.4979	0.7915 *	1						
S	-0.5087 *	-0.2973	0.4698	0.8887 **	1					
Cu	0.9680 **	-0.6850 *	0.3689	-0.2439	-0.4899	1				
Fe	-0.7397 *	-0.0313	0.1251	0.6693 *	0.9332 **	-0.6676 *	1			
Mn	0.2235	-0.5033 *	0.9011 **	0.8284 **	0.4837	0.0467	0.1567	1		
Zn	0.9585 **	-0.7695 *	0.4636	-0.1295	-0.3793	0.9924 **	-0.5803 *	0.1265	1	
Se	-0.8894 **	0.8905 **	-0.5882 *	-0.0630	0.1616	-0.9392 **	0.3823	-0.2226	-0.9738 **	1

3 讨论

3.1 水稻子粒中矿质元素含量对重要农艺及经济性状的影响

作物维持正常生理活动除需要吸收水分外,还需要多种矿质元素,矿质元素含量与水稻产量、品质等密切相关。本研究中,绿早 1 号与 102S、KD36S、7HS012 和 7HS013 不育系进行配组得到的 4 个杂交后代的农艺和经济性状基本都表现出超高亲分离现象。这与邱宗安等^[15]的研究结果相一致。R. M. Welch^[16]研究认为,子粒富含铁、锌等微量元素的水稻品种可以明显提高水稻的产量潜力,特别是在微量元素缺乏的土壤中。邓正春等^[17]研究表明,喷施锌硒肥可以明显提高水稻产量,农艺和经济性状也明显优于对照。付力成等^[18]研究表明,在水稻叶面喷施锌铁肥,也能明显提高水稻产量及产量构成因素。钾肥施用能影响水稻千粒重、结实率和收获指数。付瑾等^[19]研究表明,配施硫酸钾镁肥水稻产量和产量构成因素均高于配施硫酸钾和氯化钾肥水稻产量和产量构成因素。

本研究将水稻子粒矿质元素含量与农艺及经济性状进行了深入分析,结果表明,水稻子粒中矿质元素含量对水稻农艺及经济性状具有重要影响,尤其矿质元素 K、Mg、Zn、Se 等元素含量与水稻产量密切相关,具有提高水稻产量的潜力,因此本研究建议在大田种植时,对水稻喷施 Mg、Zn、Se 等不同元素的叶面肥将能有效提高产量。

3.2 水稻子粒中矿质元素的遗传研究

前人对于水稻子粒中矿质元素的遗传研究相对较少,本研究利用耐旱新品种绿早 1 号与 4 个不育系进行配组,并分析了杂交后代与父本绿早 1 号稻米中矿质元素含量。结果表明,大量元素中 4 个组合的 Ca 元素含量均低于父本,S 元素含量除了 LK3 的高于父本外,其他组合均低于父本;而 K、Mg 和 P 元素含量均高于父本,且 4 个组合的 K 元素含量表现出超高亲分离现象。微量元素中 4 个杂交后代的 Cu 和 Se 元素含量均低于父本;Fe 和 Mn 元素含量均高于父本,且 LK2、LK3 和 LK4 的 Fe 元素含量表现出超高亲分离现象。同时,对不同品种之间的矿质元素含量进行方差分析表明,品种间各矿质元素含量差异不明显,且以 7HS012 和 7HS013 为母本时,得到的杂交后代子粒中矿质元素含量较高。因此,可以优先选择 7HS012 和 7HS013 不育系为母本,配组得到营养含量较高的早稻品种。

3.3 水稻子粒中矿质元素间相关性研究

S. L. Jiang 等^[20]研究表明,Na 与 Ca、Mg、Fe、Mg 与 K、Ca、Mn、Zn 与 Ca、Mg、Mn 与 K、Ca、Mg、Fe、Zn 含量间呈极显著正相关关系;Fe 与 K、Ca、Mg、Zn、Cu 与 Zn、Mn 含量呈显著正相关关系,但 Cu 与 K、Mg 含量呈显著负相关关系;曾亚文等^[21]研究表明,P 与 K、Ca、Mg、Cu、Mn、K 与 Mg、Cu、Mn、Ca 与 Mg、Fe、Zn、Mn、Mg 与 Fe、Cu、Mn、Fe 与 Mn、Cu 与 Zn、Mn 含量呈极显著正相关关系,Fe 与 Zn 含量呈显著正相关关系。W. D. Cheng 等^[22]研究认为,Fe 与 Zn 含量存在极显著正相关关系;孙明茂等^[23]研究表明,糙米中 Fe 与 Zn 含量呈极显著正相关关系,Zn 与 Cu 含量,Ca 与 Mg 含量,Mg 与 K 含量,Mn 与 Ca、Mg、K 含量呈极显著或显著正相关关系,Ca 与 Na 含量呈极显著正相关关系,P 与 K、Ca、Mg、Mn 含量呈极显著正相关关系,Mg 与 Na 含量则呈极显著负相关关系。

本研究表明,Ca 与 K 和 S 含量呈显著负相关关系,与 Mg 呈正相关关系;K 与 Mg 含量呈极显著负相关关系;Mg 与 P 含量以及 P 与 S 含量间呈显著和极显著正相关关系;Cu 与 Fe 和 Se 含量呈显著和极显著负相关关系,与 Zn 含量呈极显著正相关关系,这与曾亚文等^[21,23]研究结果相一致;K 与 Cu、Mn、Zn 含量均呈显著负相关关系,与 Se 含量的呈极显著正相关关系,这则与付瑾等^[19]的研究结果相反;Mg 与 Mn 含量呈极显著正相关关系,而与 Se 元素呈显著负相关关系;P 与 Cu、Zn 和 Se 含量均呈不显著的负相关关系,而与 Fe 和 Mn 含量呈显著和极显著正相关关系;S 与 Fe 含量呈极显著正相关关系,而与 Cu 和 Zn 含量均呈不显著的负相关关系。且本研究还表明,水稻子粒 Ca 元素含量较高的组合一般表现为较高的 Cu、Mg、Mn、P、Zn 含量和较低的 K、Pb 和 Se 含量;Fe 元素含量的组合一般表现为较高的 Mn、S、Pb、Se 含量和较低的 Ca、Zn 含量;S 元素含量较高的组合一般表现为较高的 P、Se 含量和较低的 Cu 和 Ca 含量。前人研究的试验材料几乎均为水稻品种,而本研究使用的试验材料是耐旱新品种绿早 1 号与 4 个不育系配组得到的杂交组合,因此,本研究结果对耐旱水稻新品种选育具有重要指导意义。

另外,矿质元素与稻米的品质也密切相关,本研究由于材料及条件有限,没有做相关试验,随着试验材料的不断补充及试验条件的不断完善,将会在米质分析中做进一步研究。

4 结论

水稻子粒中所含矿质元素与重要农艺经济性状间存在密切联系,且含量的多少对产量具有重要影响,因此,在生产应用上应注意配方施肥与改善土壤环境,以提高产量。在亲本选择上,根据杂交后代矿质元素含量的高低而择优选择。本研究结果表明,应该择优选择 7HS012 和 7HS013 不育系为母本进行配组,可以得到营养元素含量较高的耐旱水稻新品种。

参考文献

- [1] 江川,王金英,郑金贵. 稻米矿质营养元素含量受种植环境的影响研究[J]. 福建农业学报,2004,19(1):1-6
- [2] 郭咏梅,李华慧,李少明,等. 糙米蛋白质含量与矿质元素含量的相关分析及 NIRS 模型的建立[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(1):173-178
- [3] Luan S. Signalling drought in guard cell [J]. Plant Cell Env, 2002, (25):229-237
- [4] Hansel C M, La Force M J, Fendorf S. Spatial and temporal association of As and Fe species on aquatic plant roots[J]. Env Sci Technol, 2002, 36(9):1988-1994
- [5] Yoshida M, Yasumoto K. Selenium contents of rice grown at various sites in Japan [J]. J Food Comp Anal, 1987, 1(1):71-75
- [6] 魏丹,杨谦,迟凤琴,等. 叶面喷施硒肥对水稻含硒量及产量的影响[J]. 土壤肥料,2005(1):39-41
- [7] 贺梅,张文忠,宋桂云,等. 钾肥对高产水稻生长发育的影响[J]. 辽宁农业科学,2007(1):12-14
- [8] 郝虎林,魏幼璋,杨肖娥,等. 供氮水平对稻株铁、锰、铜、锌含量和稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学,2007,21(4):411-416
- [9] 朱启升,王士梅,张世林,等. 耐旱节水稻新品种“绿早 1 号”的选育与应用[J]. 安徽农业科学,2007,35(26):8145-8151
- [10] 杨安中,朱启升,陈周前,等. 播种量和氮肥用量对“绿早 1 号”直播栽培穗部性状及产量的影响[J]. 安徽科技学院学报,2009,23(4):10-13
- [11] 陈峰,朱其松,徐建第,等. 山东地方水稻品种的农艺性状与品质性状的多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(3):393-397,405
- [12] 曾亚文,刘家富,汪禄强,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
- [13] 余守武,陈合云,郑学强,等. 水稻子粒硒含量的基因型差异及其与产量性状的相关性分析[J]. 核农学报,2011,25(5):993-997
- [14] 孙正海,曾亚文,杨树明,等. 十和田/丽梗 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[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(1):23-27
- [15] 邱宗安,龙文清. 水稻施用中微量元素肥料效应试验[J]. 广西农学报,2011,26(3):5-7
- [16] Welch R M. Breeding strategies for biofortified staple foods to reduce micronutrient malnutrition globally [J]. J Nut, 2002, 132:495-499
- [17] 邓正春,李丕炎,喻米玲,等. 维生素锌硒肥对水稻产量及品质的影响[J]. 中国稻米,2011,17(4):30-31
- [18] 付力成,王人民,孟杰,等. 叶面锌、铁配施对水稻产量、品质及锌铁分布的影响及其品种差异[J]. 中国农业科学,2010,43(24):5009-5018
- [19] 付谨,郑诗樟,樊俊,等. 几种钾肥对水稻产量、品质及土壤养分的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(8):1826-1830
- [20] Jiang S L, Wu J G, Feng Y. Correlation analysis of mineral element contents and quality traits in milled rice (*Oryza sativa* L.) [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(23):9608-9613
- [21] 曾亚文,申时全,汪禄祥,等. 云南稻种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
- [22] Cheng W D, Zhang G P, Yao H G. Genotypic and environmental variation in cadmium, chromium, arsenic, nickel, and lead concentration in rice grains[J]. J Zhe jiang Univ Sci :B, 2006, 7(7):565-571
- [23] 孙明茂,杨昌仁,李点浩,等. 粳稻/龙锦 1 号/香软米 15780 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