

红菜薹主要矿质元素的配合力分析

张艳 徐跃进 谭远宝 李亭亭 鲁凡 万正杰

华中农业大学园艺林学学院/国家蔬菜改良中心华中分中心/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070

摘要 利用不完全双列杂交法, 对新育成的红菜薹胞质雄性不育系 Eru-3、Eru-5 和 16 个父本材料配制的 32 个杂交组合进行主要矿质元素 Ca、Mg、Fe、Zn 的配合力和遗传力分析。结果表明: 雄性不育系 Eru-5 和父本 D、E、F 和 H 的一般配合力较高, 是提高杂种一代矿质元素含量的理想亲本; 组合 Eru-5 × G、Eru-5 × H 和 Eru-3 × L 具有较好的特殊配合力效应, 是矿质营养价值较高的优良杂交组合。遗传力分析表明: Ca 主要受基因加性效应控制, Mg、Zn 的遗传由加性和非加性基因效应共同控制, Fe 主要由非加性基因效应控制。

关键词 红菜薹; 雄性不育系; 矿质元素; 配合力; 遗传力

中图分类号 S 634.603 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)02-0178-04

蔬菜是重要的副食品之一, 它为人类提供丰富而又廉价的各种维生素、矿物质和纤维素。近年来, 随着国民经济的发展和人民生活水平的提高, 健康和延年益寿引起了广泛的重视, 人们对蔬菜作物的功能性品质要求越来越高。矿质元素对人体的结构及代谢至关重要, 常作为酶、激素、维生素、核酸的组成成分参与生命代谢, 影响人体的生长、发育及衰老^[1-2]。然而, 世界性的矿质元素缺乏症已日渐严峻, 世界的 6 亿人口中有 60%~80% 缺铁, >30% 的人缺锌, 30% 的人缺碘, 15% 缺硒^[3]。

为了解决矿质营养缺乏的难题, 有关专家提出生物强化的概念, 旨在通过传统的育种手段或现代分子生物学技术培育富含矿质营养元素的粮食及蔬菜作物^[4-6]。

红菜薹 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* L. var. *utilis* Tsen et Lee, 2n=2x=20) 起源于我国长江流域中部, 是中国的特产蔬菜, 由于风味独特、口感好、富含营养而深受人们喜爱。红菜薹是异花授粉作物, 杂种优势特别明显, 但有关红菜薹矿质元素的杂种优势及配合力研究尚未见报道。本试验旨在通过矿质元素一般配合力和特殊配合力的测定分析, 为红菜薹杂种优势利用的亲本选配提供依据, 从而为选育符合人们健康需求的矿质营养丰富的红菜薹杂交组合及其品质育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验材料是由甘蓝型油菜细胞质不育材料 (Eru CMS) 与 2 个红菜薹自交系 (3[#] 和 5[#]) 通过种间杂交、子房培养及回交转育获得的红菜薹细胞质雄性不育系, 与 16 个父本系 (A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K、L、M、N、O、P) 按不完全双列杂交法配制的 32 个杂交组合。

1.2 田间试验

各材料于 2010 年 8 月 22 日进行播种育苗, 9 月 26 日移栽于华中农业大学蔬菜基地。田间设计采用随机区组设计, 3 次重复, 常规栽培管理。

1.3 矿质元素的测定

各杂种 F₁ 均采集 3 个小区植株的相同部位叶片进行混合, 3 次重复; 同时采集亲本材料样品。各样品于 105 ℃ 杀青 15 min, 然后于 80 ℃ 烘干至恒定质量。之后用植物粉碎机粉碎并过 0.3 mm 孔径的分样筛, 装于 10 mL 离心管中保存待用。

提取时, 准确称取 0.1 g 粉末放入 50 mL 塑料瓶内, 再加入 10 mL 的 HCl (1 mol/L) 于 37 ℃ 恒温箱中振荡浸提 2 h, 过滤后进行矿质元素含量的测定, 每样品重复 3 次, 同时进行空白样品的制备。样品测定采用 IRIS Advantage 型等离子发射光谱仪

收稿日期: 2011-05-28

基金项目: 国家“948”项目 (2008—Z26, 2011QC082) 和湖北省科技攻关项目 (20066109)

张艳, 硕士研究生, 研究方向: 蔬菜遗传育种, E-mail: zhangyan19860508@163.com

通讯作者: 徐跃进, 教授, 研究方向: 蔬菜遗传育种, E-mail: xyjho@mail.hzau.edu.cn

(美国 Therm Element)。

1.4 统计分析方法

数据统计在 Excel 2003 中完成,配合力的分析采用 DPS7.05 分析软件。

2 结果与分析

2.1 红菜薹 4 种矿质元素的配合力方差分析

对不完全双列杂交的 32 个杂种中 4 种元素含量进行方差分析(表 1),结果表明:Ca、Mg、Fe、Zn 4 种元素在组合间均表现极显著差异,而区组间的差异不显著,说明这些元素在组合间存在着真实的遗传差异。因此,可进行父本、母本的 GCA 及组合的 SCA 分析。

将 F₁ 杂种方差分解成母本组(P2 组)和父本组(P1 组)亲本的 GCA 方差及 P2×P1 的 SCA 方差并进行 F 测验后发现,母本组 4 个元素均未达到显著水平,父本组中 Ca、Mg、Zn 3 种元素的测验达到了极显著水平,而 P2×P1 的 SCA 方差分析中 Ca、Mg、Fe、Zn 4 种元素均达到极显著水平。由此可以判断,Ca、Mg、Zn 元素的遗传可能受加性效应和非加性效应共同控制,而 Fe 元素主要受非加性基因效应控制。

表 1 红菜薹 4 种矿质元素配合力方差分析¹⁾

Table 1 Variance of combining ability on the four mineral elements of purple Cai-tai					
变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	Ca	Mg	Fe	Zn
区组 Block	2	0.51	0.20	0.09	0.63
组合 Cross	31	72.27**	17.26**	5.15**	5.10**
P1(Male)	15	5.60**	2.61**	1.17	2.82**
P2(Female)	1	1.42	0.41	0.76	0.20
P1×P2 (Male×Female)	15	22.31**	9.82**	4.78**	2.75**
误差 Error	62	61.430	2.860	0.013	0.002

1) * 为 0.05 水平显著; ** 为 0.01 水平显著。*, ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.2 配合力效应估算

1) 亲本一般配合力效应。一般配合力(GCA)效应反应亲本在一组杂交组合中的平均表现,是衡量亲本育种潜力高低的重要尺度,其大小和符号表示加性基因作用的程度和方向^[7]。从表 2 可以看

出,GCA 效应值在同一亲本各元素间及同一元素各亲本间均存在明显差异,表明不同亲本材料在各种矿质元素上的一般配合力大小是不同的。

表 2 红菜薹 4 种矿质元素的一般配合力相对效应

Table 2 Effective value of general combining ability(GCA) on the four mineral elements of purple Cai-tai				
亲本 Parent	Ca	Mg	Fe	Zn
Eru-5	2.89	1.24	1.64	0.49
Eru-3	-2.89	-1.24	-1.64	-0.49
A	-12.60	11.32	3.24	-3.06
B	-11.19	7.84	-8.71	-11.74
C	-21.68	-2.98	8.30	6.03
D	23.97	16.08	3.40	6.54
E	5.67	1.52	2.46	13.47
F	48.08	23.63	17.61	10.80
G	14.26	10.53	-5.95	-12.01
H	41.00	13.49	9.65	-2.71
I	-19.45	-3.91	7.58	3.24
J	-28.48	-8.93	-5.46	-6.28
K	-27.60	-7.52	-7.14	-2.07
L	-10.04	-12.63	-10.14	-5.10
M	10.62	-3.52	2.06	0.22
N	-8.08	-15.99	-6.16	-4.41
O	-9.46	-9.81	-0.48	2.64
P	4.99	-19.11	-10.25	4.43

经分析可知,Ca 含量的 GCA 效应值以亲本 F 最高,H 次之;Mg 含量的 GCA 效应值以亲本 F 最高,D 次之;Fe 含量的 GCA 效应值以亲本 F 最高,H 次之;Zn 含量的 GCA 效应值以亲本 E 最高,F 次之;综合来看,母本中,Eru-5 表现较好,Ca、Mg、Fe、Zn 4 种元素的 GCA 效应值均为正值;在父本中,D、E、F 的 4 个元素的 GCA 效应均为正值,可以作为同时改良 Ca、Mg、Fe、Zn 元素含量的优良亲本。

2) 特殊配合力效应。由表 3 可以看出,红菜薹不同组合间的 SCA 差异很大,且同一个亲本材料所杂交的不同组合间 SCA 效应值差异也很大。

本研究中,组合 Eru-5×G、Eru-5×H 和 Eru-3×L 4 种元素的 SCA 均为正值,综合表现优良。就单种元素而言,组合 Eru-3×M、Eru-5×H、Eru-5×E、Eru-5×P、Eru-3×P 和 Eru-3×L 在 Ca 含量上具有较高的正向效应;组合 Eru-3×M、Eru-5×H 和 Eru-5×B 在 Mg 含量上具有较高的正向效应;组合 Eru-3×M、Eru-5×H、Eru-5×G 是 Fe 含量的最优组合;组合 Eru-3×O、Eru-5×D、Eru-3×E 是 Zn 含量的最优组合;其中,Eru-3×M 是同时改良 Ca、Mg、Fe 含量的最优组合。

综合表 2、表 3 分析可见,GCA 和 SCA 在某些组合中表现一致,亲本的 GCA 效应值高,用该亲本配制的组合 SCA 效应值也较高。如亲本 Eru-5 和 H 的 Ca、Fe 含量的 GCA 效应值较高,用它们配制的组合 Eru-5×H 的 Ca、Fe 含量的 SCA 效应值也较高。但 GCA 和 SCA 并不完全一致,如亲本 Eru-5 和 F 的 Ca、Mg、Fe 含量都具有较高的 GCA 正效应值,但其杂交组合 Eru-5×F 的 SCA 效应值均为负值。

表 3 红菜薹 4 种矿质元素的特殊配合力相对效应

Table 3 Effective value of special combining ability(SCA) on the four mineral elements of purple Cai-tai

组合 Cross	Ca	Mg	Fe	Zn
Eru-5×A	−1.85	−1.24	1.27	3.27
Eru-5×B	5.88	9.93	−1.80	1.44
Eru-5×C	−0.63	1.44	−4.54	−0.40
Eru-5×D	−9.58	−4.75	−6.27	7.46
Eru-5×E	13.42	6.31	4.79	−6.8
Eru-5×F	−2.26	−2.22	−4.85	0.20
Eru-5×G	4.46	4.50	14.28	4.45
Eru-5×H	16.89	12.34	14.44	2.51
Eru-5×I	1.90	2.36	−1.61	2.80
Eru-5×J	−4.14	1.89	−2.96	−1.44
Eru-5×K	−2.58	−3.85	−0.17	−1.12
Eru-5×L	−9.03	−0.52	−2.71	−0.94
Eru-5×M	−21.40	−22.75	−16.59	−5.05
Eru-5×N	2.03	1.73	5.53	−3.07
Eru-5×O	−6.45	−3.66	1.99	−8.37
Eru-5×P	13.33	−1.51	−0.78	5.09
Eru-3×A	1.85	1.24	−1.27	−3.27
Eru-3×B	−5.88	−9.93	1.80	−1.44
Eru-3×C	0.63	−1.44	4.54	0.40
Eru-3×D	9.58	4.75	6.27	−7.46
Eru-3×E	−13.42	−6.31	−4.79	6.82
Eru-3×F	2.26	2.22	4.85	−0.20
Eru-3×G	−4.46	−4.50	−14.28	−4.45
Eru-3×H	−16.89	−12.34	−14.44	−2.51
Eru-3×I	−1.90	−2.36	1.61	−2.80
Eru-3×J	4.14	−1.89	2.96	1.44
Eru-3×K	2.58	3.85	0.17	1.12
Eru-3×L	9.03	0.52	2.71	0.94
Eru-3×M	21.40	22.75	16.59	5.05
Eru-3×N	−2.03	−1.73	−5.53	3.07
Eru-3×O	6.45	3.66	−1.99	8.37
Eru-3×P	−13.33	1.51	0.78	−5.09

2.3 群体配合力方差和遗传力分析

由表 4 可以看出,Ca 元素的 GCA 方差远大于 SCA 方差,而且其广义遗传力和狭义遗传力均较高(分别为 96.06%和 68.10%),因此可以认为,Ca 主要受加性基因控制,能够较稳定地遗传给后代。Mg、Zn 的 GCA 方差和 SCA 方差相差不大,说明它

们受加性基因和非加性基因共同控制,但由于 Mg 和 Zn 的狭义遗传力相对较低,故非加性效应起主导作用。Fe 元素的 GCA 方差小于 SCA 方差,且狭义遗传力均较小,说明 Fe 的遗传主要是由非加性基因效应控制。

表 4 红菜薹 4 种矿质元素的群体配合力方差和遗传力

Table 4 Estimates of heritability and population genetic variances for the four mineral elements of purple Cai-tai

项目 Item	Ca	Mg	Fe	Zn
一般配合力方差/% Vg	70.89	47.20	9.87	58.91
特殊配合力方差/% Vs	29.11	52.80	90.13	41.09
广义遗传力 hB ²	96.06	84.77	58.32	58.65
狭义遗传力 hN ²	68.10	40.01	5.75	34.55

3 讨 论

本研究发现,Ca、Mg、Zn 元素的遗传受加性效应和非加性效应共同控制,而 Fe 元素主要由非加性基因效应控制。但在群体配合力方差分析时发现,Ca 元素父母本的 GCA 总方差占明显优势。因此,Ca 元素的遗传可能主要由加性基因效应控制,但有待进一步研究验证。遗传力是进行选择育种的重要参数,一般认为,遗传力值小于 0.2 为低或弱度遗传力,大于 0.5 为高度遗传力,之间为中等或中度遗传力^[7]。遗传力大,表明该性状由亲代传给子代的能力强,受环境的作用小,在早期选择的效果好;反之,则说明该性状易受环境的影响,对该性状进行早期选择的效果差^[7-8]。本研究表明,红菜薹 Ca 元素的广义遗传力和狭义遗传力分别为 96.06%和 68.10%,属高度遗传力性状,受环境影响较小,在早期世代进行选择时可适当增加选择强度。虽然 Mg、Fe、Zn 的广义遗传力均在 50%以上,但是其狭义遗传力在 0~50%之间,属低、中度遗传力,受环境影响相对较大,在早期世代选择效果差。

GCA 是评价亲本育种潜力的重要指标。本研究发现同一亲本在不同元素、不同亲本在同一元素上的 GCA 效应差异很大,与前人的研究结果相一致^[9-10]。在 18 个亲本中,D、E、F 的 4 个矿质元素的 GCA 效应均为正值,是杂交育种中很重要的亲本材料。另外,Eru-5 在 4 个矿质元素上的 GCA 效应均为正值,是表现较好的雄性不育材料。本试验中,组合 Eru-5×G、Eru-5×H 和 Eru-3×L 4 种元素的 SCA 均为正值,是矿质元素综合性状优良的杂交组合,证明有望通过传统育种手段提高红菜薹矿质元素的含量。

SCA 是由基因的显性和上位性等非加性遗传效应产生的,对于正确选配亲本组合,特别是在杂种优势育种中具有十分重要的指导意义。本研究发现,GCA 与 SCA 之间没有必然的相关关系,GCA 最高的亲本,SCA 并不一定最高,这与前人的研究结果一致^[11-13]。因此,在红菜薹优势育种中,应综合考虑亲本的 GCA 和 SCA,在 GCA 高的基础上选择 SCA 高的组合是获得最优组合的最有效途径。

参 考 文 献

[1] 颜世铭,李增禧,熊丽萍. 微量元素的生理作用和体内平衡[J]. 广东微量元素科学,2002,9(9):1-47.

[2] 张木,胡承孝,孙学成,等. 叶面喷施微量元素和氨基酸对小白菜产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(5):613-617.

[3] PHILIP J W, MARTIN R. Biofortifying crops with essential mineral elements[J]. Trends in Plant Science,2005,12(10):586-593.

[4] BO L. Genetically modified plants for improved trace element nutrition[J]. Journal Nutrition,2003,133(5):1490-1493.

[5] KING J C. Evaluating the impact of plant biofortification on human nutrition[J]. Journal Nutrition,2002,132(3):511-513.

[6] SKRBIC B, ONJIA A. Multivariate analyses of microelement contents in wheat cultivated in Serbia[J]. Europe Food Research Technology,2005,18:338-345.

[7] 顾万春. 统计遗传学[M]. 北京:科学出版社,2004.

[8] 张飞,房伟民,陈发棣,等. 菊花观赏性状的配合力分析[J]. 园艺学报,2010,37(4):589-596.

[9] 戴希尧,任喜波,田莲. 新转萝卜雄性不育系主要性状的配合力分析[J]. 长江蔬菜,2009(6):8-10.

[10] 马树彬,郭瑞林,聂玉霞,等. 韭菜产量性状配合力及其遗传分析[J]. 园艺学报,2006,33(1):78-83.

[11] 李伯群,余国东,石有明,等. 两系杂交小麦杂种优势配合力及遗传距离分析[J]. 麦类作物学报,2003,23(3):17-21.

[12] 田时炳. 茄子功能型雄性不育系及恢复系配合力分析[J]. 西南农业学报,2001,14(2):58-61.

[13] 付新民,王岩,高冠军,等. 利用水稻重组自交系进行配合力遗传分析[J]. 华中农业大学学报,2010,29(4):397-402.

Combining ability of major mineral elements in purple Cai-tai

ZHANG Yan XU Yue-jin TAN Yuan-bao LI Ting-ting LU Fan WAN Zheng-jie
*National Center for Vegetable Improvement (Central China)/
Key Laboratory of Horticultural Plant Biology,
Ministry of Education/College of Horticulture and Forestry Sciences,
Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070,China*

Abstract The combining ability and genetic parameters were estimated for four major mineral elements(Ca,Mg,Fe and Zn) in F₁ progenies of 32 crossing combinations of purple Cai-tai with the incomplete diallel cross using 2 novel male sterile lines as female parents and 16 inbred lines as male parents. The results showed that male sterile line Eru-5 and male parents D,E,F and H,which had high GCA on Ca,Mg,Fe and Zn,could be regarded as good parents. The combinations Eru-5×G,Eru-5×H and Eru-3×L had high SCA on Ca,Mg,Fe and Zn. The analysis of heritability revealed that the heredity of Ca was mainly controlled by additive effect; those of Mg and Zn were mainly controlled by additive and non-additive effects; and the heredity of Fe was mainly controlled by non-additive effects.

Key words purple Cai-tai; male sterile line; mineral elements; combining ability; heritability

(责任编辑:张志钰)