

水稻不同亲本组合对 F1 代糙米氨基酸含量的影响

沙 渺^{1,2}, 李 娟¹, 王荣富¹, 武立权¹, 张德文³

(1. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036; 2. 合肥师范学院, 合肥 230601; 3. 安徽省农业科学院水稻研究所, 合肥 230031)

摘 要: 采用日立 L-8800 氨基酸分析仪测定了 4 个中籼稻不育系、8 个中籼稻恢复系及由此配制的 10 个杂交稻 F1 代糙米氨基酸含量。结果表明, 杂交稻 F1 稻米各组合间氨基酸含量有一定差异, 10 个 F1 中, 以明两优 6 号、绿敏 S/4HZ021 和绿敏 S/凤恢 35 氨基酸总量和必需氨基酸含量最高, 绿敏 S/4HZ021 赖氨酸含量最高, 明两优 6 号亮氨酸含量最高; F1 代氨基酸总量和必需氨基酸含量(色氨酸未测)均高于双亲含量; 母本中以绿敏 S 为好, 用此母本选配的杂交组合氨基酸总量和必需氨基酸含量相对较高, 绿 102S 为母本的组合在所有组合中最低; 父本对 F1 代氨基酸含量影响受母本所控制, 需考虑配合力等因素。

关键词: 杂交稻; 亲本; 氨基酸

中图分类号: S511.035.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)05-0725-06

Effects of different parental combination on amino acid contents of brown rice in F1 generation

SHA Miao^{1,2}, LI Juan¹, WANG Rong-fu¹, WU Li-quan¹, ZHANG De-wen³

(1. School of Life Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Hefei Normal University, Hefei 230601;

3. Rice Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031)

Abstract: The amino acid contents in brown rice of 4 medium-maturity indica sterile lines (ISL), 8 medium-maturity indica restorer lines (IRL) and 10 F1 hybrid rice were analyzed by HITACHI 8800 type auto-amino acid analyzer. The results are as follows. Amino acid contents in brown rice among F1 hybrid generation are different, of which, the total amino acids (except tryptophan) and essential amino acid contents of Mingliangyou 6, combination of Lvmin S/4HZ021 and combination of Lvmin S/Fenghui35 are higher. Lysine content in combination of Lvmin S/4HZ021 is the highest. Leucine content of Mingliangyou 6 is the highest. The total amino acids (except tryptophan) and essential amino acid contents in F1 hybrid rice are higher compared with their parents, and that of hybrid combinations using Lvmin S as the female parent are the highest, while those using Lv102S as the female parent are the lowest. The influence of male parent on amino acid contents of brown rice in F1 generation was controlled by the paired maternal parent. At the same time, we should consider combining ability and other factors.

Key words: hybrid rice; parents; amino acid

氨基酸是组成蛋白质分子的基本单位, 与生物的生命活动有着密切的关系^[1]。稻米占人类食物来源的 60%左右。稻米中必需氨基酸的含量及其组成决定了其营养价值的高低^[2]。与其它作物相比, 稻米蛋白质在溶解性、生物价和能量吸收方面都有很好的性能, 氨基酸组成也较平衡^[3], 其蛋白质质量通常是以其第一限制性必需氨基酸—赖氨酸的含量

来衡量^[4], 但其赖氨酸的含量仍不高^[5]。我国稻米赖氨酸的绝对含量处于 0.11%~0.61%之间, 且品种间差异大^[6]。

长期以来, 人们习惯食用的精米缺乏必需氨基酸。糙米富含谷蛋白, 氨基酸平衡度高^[7], 在其加工成精米的过程中氨基酸损失较多^[8], 精米中必须氨基酸较为缺乏。研究表明, 糙米中 8 种必需氨基

收稿日期: 2012-04-10

基金项目: 国家科技支撑项目(2011BAD16B06-2、2012BAD04B09、2012BAD07B0 2)和安徽省教育厅自然科学基金重大项目(KJ2010ZD04)共同资助。

作者简介: 沙 渺, 女, 硕士研究生。E-mail: slm03asd2000@Yahoo.com.cn

* 通讯作者: 王荣富, 男, 博士, 教授。E-mail: rfwang@ahau.edu.cn

酸与9种非必需氨基酸的绝对含量与相对含量在品种(组合)间存在明显的差异^[9-10]。

水稻杂交组合对氨基酸含量有重要的影响,这为水稻营养品质的育种改良提供了可能^[11]。为此,对水稻不同亲本组合配制的F1代糙米中氨基酸含量差异,以及与亲本的关系进行了研究,探讨不同杂交组合对F1代氨基酸含量的影响,以期获得较优组合,为亲本的选育、子代氨基酸含量的提高和米质的改善提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料

4个中籼稻不育系:绿102S、绿敏S、7HS013和1892S。8个中籼稻恢复系:凤恢33-2、绿早1号、凤恢35、4HZ021、6C2332、绿稻24、8HZ035和凤恢33。

10个杂交稻F1:绿102S/凤恢33-2、绿102S/凤恢33、绿102S/凤恢35、绿102S/绿早1号、绿102S/绿稻24、绿敏S/凤恢35、绿敏S/4HZ021、明两优6号(绿敏S/绿稻24)、7HS013、1892S/6C2332。

尽管杂交稻营养品质受环境条件影响较大,但稻米营养品质表现型仍以遗传控制为主^[12],所以我

们选用的试验材料均为合肥地区种植和收获,其中10个杂交稻F1代生长环境和收获时间相同,不育系种子与恢复系种子生长环境和收获时间相同。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料的前处理 将各品种和组合用Foss Cyclotec 1093型稻谷出糙机去壳成糙米,用高速粉碎机粉碎,干燥,过60目筛,烘干。

1.2.2 氨基酸含量的测定与分析 称取100 mg糙米粉,移入水解试管中,加10 mL浓度为6 mol·L⁻¹盐酸溶解,充氮气封管,在105℃下烘箱里水解22 h,用6 mol·L⁻¹盐酸定容至50 mL。取1 mL在真空干燥箱中蒸干成粉末。加1 200 μL 0.02 mol·L⁻¹盐酸,用0.22 μm微孔滤膜过滤,在日立L-8800氨基酸全自动分析仪上测定氨基酸含量(进样20 μL)。每个样品每项分析重复2次,取平均值。根据称得的样品质量换算成mg氨基酸/g样品(色氨酸未测定)。

2 结果与分析

2.1 杂交稻F1与母本氨基酸含量的关系

从表1和表2看出,10个杂交组合F1代稻米氨基酸总量平均为糙米的11.644%(8.041%~13.944%),比母本高出2.884个百分点。每个杂交

表1 F1代氨基酸绝对含量
Table 1 Absolute content of the F1s of amino acids

氨基酸 Amino acids	供试材料 Test materials				
	绿102S/凤恢33-2	绿102S/绿早1号	绿敏s/凤恢35	绿敏s/4HZ021	绿102s/凤恢35
Asp	12.52	11.11	12.08	12.49	7.15
Thr*	4.81	4.42	5.00	5.55	3.38
Ser	7.13	6.39	7.36	8.11	4.98
Glu	23.81	21.79	24.73	25.89	14.36
Gly	6.25	5.51	6.21	6.82	4.21
Ala	7.81	6.97	7.97	8.60	4.79
Cys	1.64	1.58	1.80	2.11	1.56
Val*	5.54	5.78	6.52	6.67	3.91
Met*	2.02	1.39	2.27	2.57	1.47
Ile*	3.55	3.62	4.13	4.11	2.11
Leu*	10.06	8.77	10.13	10.57	5.41
Tyr	5.68	4.68	5.77	6.72	4.18
Phe*	7.33	6.01	7.86	9.29	5.26
Lys*	5.13	4.54	5.15	5.97	3.72
His	3.29	2.89	3.34	4.25	2.36
Arg	10.42	9.39	10.65	11.61	7.20
Pro	6.27	5.50	6.30	6.80	4.38
ACC	123.25	110.33	127.27	138.13	80.41
EAA	38.43	34.53	41.06	44.72	25.26
(EAA/ACC)%	31.18	31.29	32.26	32.37	31.41

续表 1 Continued table 1

氨基酸 Amino acids	供试材料 Test materials					子代平均值 Average
	1892s/6c2332	绿 102S/绿稻 24	明两优 6 号	7HS013/8HZ035	绿 102s/凤恢 33	
Asp	11.61	8.13	12.84	10.62	8.09	10.95
Thr*	4.99	3.74	5.53	4.28	3.60	4.64
Ser	7.38	5.31	8.12	6.52	5.33	6.81
Glu	23.97	15.85	26.66	21.79	15.97	22.10
Gly	6.27	4.53	6.88	5.44	4.43	5.79
Ala	7.89	5.36	8.85	7.02	5.28	7.25
Cys	1.89	1.85	2.00	1.55	1.55	1.78
Val*	6.38	4.65	6.88	4.94	4.18	5.70
Met*	2.07	1.91	2.66	1.54	1.79	1.99
Ile*	3.90	2.83	4.30	3.25	2.39	3.53
Leu*	9.53	7.08	10.95	9.21	6.32	9.08
Tyr	6.07	5.01	6.32	5.69	4.39	5.57
Phe*	7.85	6.56	8.94	6.56	5.58	7.29
Lys*	5.15	4.12	5.79	4.37	3.81	4.88
His	3.49	2.52	4.04	2.99	2.40	3.24
Arg	10.97	8.01	11.60	9.12	7.67	9.89
Pro	6.45	4.90	7.08	5.99	4.65	5.96
ACC	125.86	92.36	139.44	110.90	87.46	116.44
EAA	39.86	30.90	45.04	34.16	27.69	37.11
(EAA/ACC)%	31.67	33.45	32.30	30.80	31.66	31.87

注: *为必需氨基酸; ACC 表示氨基酸总量; EAA 表示 7 种必需氨基酸总含量(不含色氨酸); EAA/ACC 表示必需氨基酸总含量与氨基酸总量的比值。下同。

Note: * represents essential amino acid; ACC represents total amino acid content, EAA represents total content of 7 kinds of amino acids; EAA/ACC represents the ratio of essential amino acid to total amino acid content. The same below.

表 2 母本氨基酸绝对含量

Table 2 Absolute content of amino acids of the female parents

氨基酸 Amino acids	供试材料 Test materials				母本平均值 Average of female parents
	绿 102s	绿敏 s	1892s	7HS013	
Asp	7.63	7.75	9.32	7.75	8.11
Thr*	3.36	3.53	4.02	3.39	3.58
Ser	4.88	5.11	6.19	5.08	5.32
Glu	14.71	16.22	19.43	15.97	16.58
Gly	4.24	4.385	5.06	4.29	4.49
Ala	4.92	5.37	6.49	5.33	5.53
Cys	1.41	1.555	1.76	1.02	1.44
Val*	4.05	4.375	4.88	3.73	4.26
Met*	1.26	1.705	1.84	0.95	1.44
Ile*	2.2	2.465	3.00	2.13	2.45
Leu*	5.54	6.13	8.03	5.98	6.42
Tyr	4.09	3.94	5.45	4.58	4.51
Phe*	4.77	5.06	6.66	4.90	5.35
Lys*	3.63	3.59	4.13	3.64	3.75
His	2.35	2.345	3.06	2.54	2.57
Arg	7.37	7.355	8.67	6.97	7.59
Pro	4.33	4.68	5.36	4.42	4.70
ACC	78.83	85.56	103.34	82.68	87.60
EAA	24.81	26.86	32.56	24.72	27.24
(EAA/ACC)%	31.47	31.39	31.50	29.90	31.09

表 3 父本氨基酸绝对含量
Table 3 Absolute content of amino acids of the male parents

氨基酸 Amino acids	供试材料 Test materials				
	凤恢 33-2	绿早 1 号	凤恢 35	4HZ021	6c2332
Asp	7.75	8.02	8.59	5.25	7.55
Thr*	3.36	3.95	3.76	2.72	3.57
Ser	4.92	5.70	5.51	3.90	5.09
Glu	15.47	15.68	17.53	10.48	14.85
Gly	4.05	4.91	4.64	3.24	4.39
Ala	4.82	5.39	5.61	3.62	5.06
Cys	1.46	1.46	1.56	1.50	1.62
Val*	3.64	4.12	4.76	2.80	4.26
Met*	1.23	1.73	1.71	1.51	1.48
Ile*	1.99	2.21	2.93	1.42	2.43
Leu*	5.54	5.98	7.13	3.99	5.83
Tyr	4.30	5.10	4.21	3.56	4.55
Phe*	4.66	6.42	5.56	4.22	5.46
Lys*	3.46	4.64	3.9	2.93	3.95
His	2.33	3.16	2.61	1.80	2.43
Arg	6.80	7.99	7.89	5.18	7.54
Pro	4.35	4.87	4.87	3.54	4.68
ACC	80.12	91.34	92.76	61.68	84.74
EAA	23.87	29.04	29.75	19.60	26.98
(EAA/ACC)%	29.79	31.80	32.07	31.78	31.84

氨基酸 Amino acids	供试材料 Test materials			父本平均值 Average of male parents
	绿稻 24	8HZ035	凤恢 33	
Asp	5.93	7.34	4.37	6.85
Thr*	3.08	3.22	3.92	3.45
Ser	4.46	4.86	6.45	5.11
Glu	12.44	14.67	18.96	15.01
Gly	3.69	4.01	4.15	4.14
Ala	4.25	4.68	3.56	4.63
Cys	1.78	1.34	3.46	1.77
Val*	3.83	3.55	4.49	3.93
Met*	1.58	0.78	1.37	1.42
Ile*	2.2	1.83	2.94	2.24
Leu*	5.58	4.91	7.60	5.82
Tyr	4.89	3.83	4.88	4.42
Phe*	5.89	3.88	5.14	5.15
Lys*	3.57	3.10	3.32	3.61
His	2.53	2.05	2.31	2.40
Arg	6.64	6.77	7.43	7.03
Pro	4.13	4.21	4.59	4.41
ACC	76.46	75.05	88.93	81.38
EAA	25.73	21.27	28.77	25.63
(EAA/ACC)%	33.65	28.35	32.35	31.49

组合 F1 代氨基酸总量与相应母本相比均有提高, 但氨基酸总量的变化幅度与相应不育系不完全对应。F1 代必需氨基酸含量与氨基酸总量趋势相同, 均表现一定增长, 平均必需氨基酸含量 3.711%, 高出母本 0.987 个百分点。除绿 102S/绿早 1 号和 7HS013/8HZ035 外, F1 代氨基酸总量高, 其必需氨基酸含量相对也较高。

在 10 个 F1 代中, 绿敏 S 为母本的 3 个 F1 代氨基酸总量最高, 其次为 1892S/6c2332, 绿 102S 为母本的 5 个 F1 代中除绿 102S/凤恢 33-2 外, 其余 4 个 F1 代含量均在平均值下, 绿 102S/凤恢 35 最低, 但没有出现负增长。绿 102S 为母本的 F1 杂交组合必需氨基酸占氨基酸总量百分比低于其他母本的 F1 杂交组合, 其中绿 102S/凤恢 33-2、绿 102S/绿早 1 号和绿 102S/绿稻 24 百分比增值为负(-0.29%、-0.18%和-0.06%)。F1 代 7 种必需氨基酸含量平均值较母本均有增加。7 种必需氨基酸含量, 母本 1892S 均为最高值, 但 F1 代最高值是母本为绿敏 S 的 2 个杂交组合绿敏 S/4HZ021 和明两优 6 号。据此推测绿敏 S 在 4 种母本中为较优选择。

2.2 杂交稻 F1 与父本氨基酸含量的关系

杂交组合 F1 代平均氨基酸总量和必需氨基酸含量较父本分别增加了 3.506、1.148 个百分点, 必需氨基酸含量与氨基酸总量百分比增加了 0.38% (表 1 和表 3)。

父本氨基酸总量和必需氨基酸含量存在一定的数量关系, 但凤恢 33-2 和绿稻 24 较父本含量有例外, 凤恢 35 含量为最高, 4HZ021 为最低。绿稻 24 氨基酸总量和必需氨基酸含量虽不高, 但其必需氨基酸含量占氨基酸总量百分比为所有恢复系中最高(高出平均值 2.16 个百分点), 以其为父本配制的两个子代绿 102S/绿稻 24 和明两优 6 号此百分比高于所有子代(分别达 33.45%和 32.30%)。

7 种必需氨基酸中, 除蛋氨酸外, 其他 6 种含量最低为绿 102S/凤恢 35, 亮氨酸较父本降低 0.172 个百分点, 为 10 个 F1 中亮氨酸降值最大。可见父本凤恢 35 虽必需氨基酸含量最高, 但 F1 代受到母本绿 102S 影响较大。4HZ021 必需氨基酸含量为父本中最低, 但 F1 代苏氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸含量均高于其他 9 种杂交组合, F1 代可能受母本绿敏 S 影响。

8HZ035 必需氨基酸与氨基酸总量百分比在父本中最低(28.35%), 其子代 7HS013/8HZ035 比值在子代中为最低值(30.80%), 综合其母本情况, 子代受到双亲的共同影响。

3 讨论

在开展富含氨基酸的品质育种中, 选用亲本至关重要^[14]。如果有意识地选择一些必需氨基酸含量高的品种, 就能选育出一些营养高, 而且食味也好的品种^[18]。一种食物蛋白质营养价值的高低, 取决于该食物能否满足机体对必需氨基酸和 N 的需要, 且取决于其氨基酸特别是必需氨基酸的种类、数量及构成比例^[13]。研究表明, 氨基酸含量主要表现为多基因控制的数量性状^[15-19]。稻米氨基酸含量受到遗传因素和环境因素的双重影响, 与温度^[20]、光照^[20]、施肥^[21]都有关系, 其中遗传因素的影响最为重要。

稻米氨基酸含量由遗传基因控制, 受品种特性的影响, 不同水稻品种之间稻米氨基酸含量的差异较大^[22]。张小明等^[18]研究 9 个不育系、5 个恢复系以及由此配置的 45 个不完全双列杂交组合稻米氨基酸含量的差异及其与亲本的关系, 氨基酸总量和必需氨基酸含量都有一定的杂种优势, 但各组合间差异明显。人类和单胃动物必需的氨基酸(不包括色氨酸)的含量除受亲本配合力影响外, 主要受组合特殊配合力的影响^[23]。因此, 除了考虑环境因素的影响外, 还应充分利用遗传效应, 选育优质亲本, 考虑不同组合间配合力, 增强双亲亲和性, 选育出优质的杂交稻 F1。

对于杂交稻品质性状与父母本关系的研究, 说法不一。王蔚凤等^[13]认为杂交稻的品质性状是由不育系和恢复系共同决定的。詹存玉等^[24]认为杂交稻品质形状与其恢复系的品质性状关系密切。张亚东等^[25]通过对母本、父本及其互作对 F1 贡献率分析得出, 大多数性状受恢复系的影响要比不育系大的多, 说明在两系优质杂交水稻育种中, 恢复系的选择是至关重要的。徐庆国等^[14]研究表明, 杂交稻 F1 稻米的氨基酸含量高于其相应恢复系稻米的氨基酸含量, 不育系稻米的氨基酸含量高于其相应保持系稻米的氨基酸含量。吴文瑜等认为杂交水稻稻米的氨基酸含量受其母本的影响较大^[26]。就优质育种的利用价值而言, 不育系中以绿敏 S 为好, 用此母本选配的杂交组合氨基酸总量和必需氨基酸含量相对较高。而恢复系中组合大多受母本影响, 趋势不显著, 还需考虑配合力等因素。10 个 F1 中, 以明两优 6 号、绿敏 S/4HZ021 和绿敏 S/凤恢 35 氨基酸总量和必需氨基酸含量最高, 为食用最优选择。

对赖氨酸的研究表明^[17], 水稻稻米赖氨酸含量的表现会同时受到种子细胞质和母体遗传效应的影

响。Cagampang 等^[27]和 Eggum 等^[28]的研究也证明了这一点。在我们配制的 10 个 F1 中, 绿敏 S/4HZ021 含量最高, 为最优选择。

亮氨酸可与异亮氨酸和缬氨酸一起合作修复肌肉, 控制血糖, 并给身体组织提供能量, 提高生长激素的产量, 并帮助燃烧内脏脂肪。就本试验结果, 以食用明两优 6 号杂交稻米较好。

双亲品质性状的改良对优质杂交稻育种有重要作用。选原品种氨基酸和必需氨基酸含量高的组合来育种, 同时考虑到亲本间配合力的影响, 以期获得较优组合, 提高子代氨基酸和必需氨基酸含量。

参考文献:

- [1] Gad G, Rainer H. Metabolic engineering of amino acids and storage proteins in plants [J]. *Metabolic Engineering*, 2002, 4: 3-11.
- [2] 王为民, 赵倩, 于静娟, 等. 水稻转高赖氨酸蛋白质基因(sb401)植株的获得及种子中蛋白质和氨基酸的含量分析[J]. *作物学报*, 2005, 31(5): 603-607.
- [3] Lasztity R. The chemistry of cereal proteins[M]. CRC Press Inc, Florida, 1984: 3.
- [4] 江良荣, 李义珍, 王侯聪, 等. 稻米营养品质的研究现状及分子改良途径[J]. *分子植物育种*, 2004, 2(1): 113-121.
- [5] 石春海, 朱军. 稻米营养品质种子效应和母体效应的遗传分析[J]. *遗传学报*, 1995, 22(5): 372-379.
- [6] 应存山. 中国稻种资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
- [7] Tecson E S, Esmama B V, Lontok L P, et al. Studies on the extraction and composition of rice endosperm glutelin and prolamin[J]. *Cereal Chem*, 1971, 48:168-180.
- [8] 蒋家焕, 卢礼斌, 何琴, 等. 早籼杂交稻米氨基酸含量的研究[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(1): 77-80.
- [9] Chen H S, Wu P L, Gao C S. Studies on amino acids content of rice protein[J]. *Seed*, 1986(4): 13-19.
- [10] 徐庆国. 水稻氨基酸含量的品种间差异及与遗传密码数的关系[J]. *湖南农学院学报*, 1990, 16(3): 221-225.
- [11] 汤桂容, 彭辉辉. 稻米氨基酸的含量及其影响因素[J]. *中国稻米*, 2006(2): 7-10.
- [12] 王蔚风, 徐庆国. 杂交稻品质性状的遗传育种研究进展[J]. *作物研究*, 2011, 25(4): 388-391.
- [13] 张海峰, 叶新福. 早稻氨基酸含量分析[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(12): 175-177.
- [14] 徐庆国, 黄丰. 杂交稻与亲本稻米蛋白质及氨基酸含量的关系[J]. *杂交水稻*, 1998, 13(5): 21-25.
- [15] 阿布东, 张全德. 高赖氨酸玉米(Qpaque-2)数量性状的遗传研究[J]. *浙江农业大学学报*, 1994, 20(6): 560-565.
- [16] 王绍中, 李春喜, 罗艳蕊, 等. 基因型和地域分布对小麦籽粒氨基酸含量影响的研究[J]. *西北植物学报*, 2001, 21(3): 437-445.
- [17] 石春海, 杨肖娥. 种子细胞质和母体遗传效应对籼型杂交稻米营养品质杂交优势的影响[J]. *杂交水稻*, 1996(1): 23-27.
- [18] 张小明, 石春海, 吴建国, 等. 杂交稻米必需氨基酸含量与亲本的关系[J]. *中国水稻科学*, 2003, 17(1): 91-94.
- [19] Muncka L, Pram N J, Moller B, et al. Exploring the phenotypic expression of a regulatory proteome -altering gene spectroscopy and chemometrics[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2001, 446: 171-186.
- [20] 周广洽, 徐孟亮, 谭周磁, 等. 温光对稻米蛋白质及氨基酸含量的影响[J]. *生态学报*, 1997, 17(5): 537-542.
- [21] 李亦斌. 水稻生育后期施氮对米质与产量的影响[J]. *湖南农业科学*, 2006(4): 39-40.
- [22] 谢桂先, 刘强, 荣湘民, 等. 稻米氨基酸含量的影响因素及其研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2008(1): 32-34.
- [23] 刘丕庆, 吕志仁. 籼型杂交水稻糙米氨基酸含量的配合力及与农艺性状的相关分析[J]. *广西农业大学学报*, 1995, 14(2): 95-100.
- [24] 詹存钰, 白和盛. 扬稻系列品种组合选育技术初探[J]. *种子*, 2002(2): 70-71.
- [25] 张亚东, 朱镇, 赵凌, 等. 籼型两系杂交水稻品质和产量性状的配合力及遗传力分析[J]. *西南农业学报*, 2006, 19(3): 355-359.
- [26] 吴文瑜, 肖翊华. 杂交水稻及三系在发育过程中氨基酸变化的研究[C]//杂交水稻国际学术讨论会论文集. 北京: 学术期刊出版社, 1986, 321-325.
- [27] Cagampang G B, et al. Changes in salt-soluble proteins of rice during grain development[J]. *Phytochemistry*, 1976, (15): 1425-1429.
- [28] Eggum B O, Juliano B O, Maningat C C. Protein and energy utilization of rice milling fractions by rats[J]. *Qual Plant Foods Hum Nutr*, 1982, (31): 371-376.