

三系杂交早籼稻直链淀粉含量的遗传效应与杂种优势分析

林 强^{1,2}, 王旭春³, 王洪飞¹, 郑秀平¹, 周元昌^{2*}

(1. 福建省农业科学院 水稻研究所, 福建 福州 350018; 2. 福建农林大学 作物科学学院, 福建 福州 350002; 3. 福建省宁德市种子管理站, 福建 宁德 352100)

摘要: 用种子数量性状遗传模型对杂交早籼稻的直链淀粉含量性状进行了种子、细胞质和母体遗传效应与杂种优势分析, 结果表明, 直链淀粉含量主要受到种子遗传效应和母体遗传效应的控制, 两种效应对提高杂交早稻组合直链淀粉含量具有相反的作用。直链淀粉含量的总平均优势主要由细胞质平均优势和母体平均优势共同构成, 以母体平均优势所产生的效应为主, 总超亲优势由种子超亲优势和母体超优势共同构成, 以母体超亲优势所产生的效应为主。

关键词: 杂交早稻; 直链淀粉含量; 遗传效应; 杂种优势

中图分类号: S511.2⁺1; S334.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)06-1093-06

An Analysis on Genetic Effects and Heterosis of Amylose Content in Three-line Early Season *Indica* Hybrid Rice

LIN Qiang^{1,2}, WANG Xu-chun³, WANG Hong-fei¹,
ZHENG Xiu-ping¹, ZHOU Yuan-chang^{2*}

(1. Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350018, China; 2. College of Crop Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Provincial Seed Station, Ningde 352100, China)

Abstract: An analysis of amylose content was conducted based on the genetic models of seed quantitative traits for the genetic effects and heterosis in three-line early season *Indica* hybrid rice (*Oryza sativa* L.). The results were as follows: amylose was mainly controlled by seed and maternal genetic effect, and the two effects had the opposite effect on the amylose content of the early season hybrid combinations. The total average superiority of amylose content was constituted by average superiority of cytoplasm and the maternal parent, and mainly by the effect produced by the average superiority of the maternal parent. The total heterobeltiosis of amylose content was constituted by the heterobeltiosis of seed and maternal parent, and mainly by the effect produced by the heterobeltiosis of maternal parent.

Key words: three-line early season indica hybrid rice; amylose content; genetic effect; heterosis

收稿日期: 2012-06-18 修回日期: 2012-08-21

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2011J01106)、福建省农科院科技下乡“双百”行动项目(0bmx1207)、福建省财政专项-福建省农业科学院科技创新团队建设基金项目(CXTD2011-13)、福建省发改委农业五新项目(2010)

作者简介: 林强(1977—)男, 副研究员, 博士, 主要从事水稻遗传育种研究, E-mail: tronglin@yahoo.com.cn; * 通讯作者: 周元昌, 教授, 博士, E-mail: zwy_2002@163.com。

直链淀粉与支链淀粉含量的比率是决定稻米蒸煮特性的首要因素, 稻米直链淀粉含量偏低, 蒸煮后米饭黏湿; 含量偏高则米饭干燥松散, 冷后容易变硬, 直链淀粉含量中等的品种米饭具有一定黏性, 松而软, 适口性好。而决定稻米包括直链淀粉含量在内的品质性状表现的主要因子不外乎环境和遗传。环境影响因素主要有谷粒灌浆期的温度^[1], 氮肥的施用量^[2-3], 孕穗期和灌浆期的光照强度^[4-5]等等。

有关直链淀粉含量的遗传分析较多, 黄超武^[6]研究表明, 籼稻高、中直链淀粉含量对低直链淀粉呈显性或不完全显性关系, 受单基因或一对基因控制, 同时多基因或修饰基因对其也有影响。黄利兴等^[7]研究指出, 种子遗传效应和母体遗传效应两者共同控制三系杂交晚稻直链淀粉含量的表现, 并且以种子显性遗传效应为主。石春海等^[8]研究发现稻米直链淀粉含量的表现以基因的遗传主效应为主, 受胚乳效应控制, 细胞质效应和母体效应对直链淀粉含量的表现也有作用, 而环境互作效应较小。方平等^[9]采用包括基因型与环境互作效应的三倍体种子遗传模型对蒸煮品质性状进行分析, 研究认为, 杂种稻米直链淀粉含量主要受遗传控制, 遗传方差占表型方差达 84.6%, 说明其遗传稳定性强, 加性效应起绝对决定作用, 且不育系对杂种的贡献大于恢复系。分子遗传研究认为, Wx 基因控制稻米的直链淀粉含量, 并具有系列复等位基因^[10-11]。Mikami 等^[12]分析了籼稻与粳稻在 Wx 座位上等位基因的多样性, 认为粳稻与籼稻相比主要是降低了 Wx 基因 3.3 kb 前体 mRNA 的剪接效率, 从而导致直链淀粉含量下降。Ikuo 等^[13]在第 6 染色体上发现了 Wx 的等位基因 $Wxl.1$, 在其第 10 内含子上有 37 bp 的缺失, 导致 Wx 蛋白表达量减少。而方加海等利用转反义 Wx 基因导入珍汕 97B 后, 继而获得优质珍汕 97A, 其直链淀粉含量相应从 25.6% 下降到 9.3%。

当前早籼杂交稻米蒸煮、碾磨和外观品质均劣于晚籼稻米, 而前人有关遗传效应的研究有的未将早晚籼稻类型分开, 有的只分析晚籼稻类型, 本试验针对影响早籼稻米蒸煮品质的首要因素, 采用种子数量性状的遗传模型及其分析方法研究直链淀粉含量的遗传和改良^[14], 研究早籼杂交稻米直链淀粉含量的种子、细胞质和母体遗传效应与杂种优势, 对试验所代表的杂交稻的亲本进行育种评价, 为直链淀粉含量早稻育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

母本选用 WA 型的京福 1A、京福 7A 和京福 9A, DA 型的京福 2A, Di 型的京福 6A 和京福 8A 等不同胞质的不育系 6 个, 均为本课题组选育的已通过福建省技术鉴定的早晚兼用型不育系, 其中京福 1A 和京福 2A 配制了京福 1 优 527、京福 1 优明 86、京福 1 优 150 和京福 2 优 70 等数个组合通过国家审定或省级审定; 父本则选用生产上广泛利用的早籼型水稻恢复系明恢 77、明恢 82、288、明恢 89、R402 等 5 个。

1.2 试验设计

2008 年早季在福建省农业科学院水稻研究所试验田, 将上述 6 个不育系和 5 个早稻恢复系以不完全双列杂交 (6×5) 方式交配设计, 配制 30 个杂交组合。2009 年早季, 同一水平栽培种植 11 个亲本与 30 个杂交组合, 地力、肥力较均匀, 随机区组排列, 重复 3 次, 单本栽插, 每小区种植 10 行, 每行 6 株, 共 60 株, 株行距比例为 16.7 cm \times 20.0 cm。黄熟期去除边行后收获各小区的稻谷, 在室内放置 3 周晾干, 再依据“NY 147-88 米质测定方法”统一检测各稻米直链淀粉含量指标。

1.3 数据统计

应用种子数量性状遗传模型和统计分析方法^[17], 估算直链淀粉含量的种子加性方差 (V_A)、种子显性方差 (V_D)、细胞质方差 (V_C)、母体加性方差 (V_{Am})、母体显性方差 (V_{Dm})、种子加性效应与母体效应的协方差 ($C_{A, Am}$)、种子显性效应与母体显性效应的协方差 ($C_{D, Dm}$)、剩余方差 (V_E) 等 8 个方差和协方差分量。同时估算种子狭义遗传率 (h_{NA}^2)、细胞质狭义遗传率 (h_{NC}^2)、母体狭义遗传率 (h_{NAm}^2)、种子加性效应 (G_A)、母体加性效应 (G_{Am})、总平均优势 $Hm(T)$ 、种子平均优势 $Hm(O)$ 、细胞质平均优势 $Hm(C)$ 、母体平均优势 $Hm(M)$ 、总超亲优势 $Hf(T)$ 、种子超亲优势 $Hf(O)$ 、母体超亲优势 $Hf(M)$ 等参数。采用朱军教授^[15]编写的统计软件在个人微机上运算全部试验数据。

2 结果与分析

2.1 亲本及杂交早稻组合稻米直链淀粉含量性状表现

亲本及杂交早稻组合稻米直链淀粉含量测定结果表明 6 个早晚兼用型不育系、5 个早稻恢复系及 30 个杂交早稻组合的平均直链淀粉含量分别为 24.5% (变化幅度为 22.7% ~ 26.2%)、19.6% (变化幅度为 12.6% ~ 25.2%) 和 22.4% (变化幅度为 19.0% ~ 26.0%) ,其中恢复系和杂交早稻组合稻米平均直链淀粉含量达到农业部食用稻品种品质 NY/T593—2002 三级优质米标准。不育系有 2 个达标,达标率 33.3%;恢复系也有 2 个达标,达标率 40%;杂交早稻组合有 19 个达标,达标率 63.3%。不育系以京福 7A、京福 9A,恢复系以 288、R402 配制的组合直链淀粉含量表现较好。综合来说,不育系、恢复系和杂交早稻组合稻米直链淀粉含量性状的表现存在较大的差异,而杂交早稻组合表现优于其双亲。

2.2 直链淀粉含量遗传方差、协方差和狭义遗传率的估算

表 1 直链淀粉含量遗传效应和狭义遗传率分量估计值

Tab. 1 Estimation of variance components for genetic effect and narrow heritability for amylose in three-line early season *indica* hybrid rice

参数 Parameter	估计值 Estimation
种子加性方差(V_A) Seed additive variance	20.28**
种子显性方差(V_D) Seed dominance variance	0.34**
细胞质方差(V_C) Cytoplasmic variance	1.81
母体加性方差(V_{Am}) Maternal additive variance	10.56**
母体显性方差(V_{Dm}) Maternal dominance variance	0
种子加性效应与母体加性效应的协方差($C_{A.Am}$) Seed additive \times maternal additive	-9.69**
种子显性效应与母体显性效应的协方差($C_{D.Dm}$) Seed dominance \times Maternal dominance	0
机误方差(V_E) Residual variance	1.58**
种子狭义遗传率(h_{NA}^2) Seed narrow heritability	25.04**
细胞质狭义遗传率(h_{NC}^2) Cytoplasmic narrow heritability	4.28**
母体狭义遗传率($h_{NA_m}^2$) Maternal narrow heritability	2.06

** 表示差异达 0.01 水平显著性。 ** significant at 0.01 level.

稻米直链淀粉含量性状的种子加性方差 V_A 和种子显性方差 V_D 均达 0.01 极显著水平,细胞质方差 V_C 不显著,母体加性方差 V_{Am} 达 0.01 极显著水平,母体显性方差 V_{Dm} 估计值为 0,剩余方差 V_E 达 0.01 极显著水平,说明稻米直链淀粉含量以种子加性遗传效应和母体加性遗传效应控制为主,且前者为大,种子显性遗传效应和环境差异均有一定影响。种子加性效应与母体加性效应的协方差 $C_{A.Am}$ 达 0.01 极显著水平,种子显性效应与母体显性效应的协方差 $C_{D.Dm}$ 估计值为 0,表明种子加性效应和母体加性效应对提高杂交早稻直链淀粉含量具有相反的作用。

种子和细胞质狭义遗传率均在 0.01 极显著水平,母体狭义遗传率差异不显著,说明直链淀粉含量主要受到种子和细胞质遗传的影响,因而这两部分狭义遗传率在选择育种中均有效,根据狭义遗传率的大小,可以进一步明确各个遗传率分量在总狭义遗传率中的相对重要性,以利于提高选择育种的效率。在总狭义遗传率中,种子狭义遗传率(h_{NA}^2)和细胞质遗传率狭义遗传率(h_{NA}^2)分别为 25.04% 和 4.28%,表现为以种子遗传率为主。

2.3 籼型杂交早稻亲本直链淀粉含量的遗传效应预测值

通过对亲本直链淀粉含量的遗传效应值的分析,可以进一步了解各个亲本的潜在育种价值,也可供运用杂交配组的合理方式参考。表 2 列出了各个亲本直链淀粉含量的种子加性效应和母体加性效应预测值,由表 2 可见,京福 2A、京福 6A 和明恢 77 等 3 个亲本直链淀粉含量的种子加性效应 G_A 为正,均达 0.01 极显著水平,可在世代间进行累加,极显著提高后代的直链淀粉含量,但其直链淀粉含量均大于 24%,因此,其与低直链淀粉含量亲本,特别是遗传效应值为负的亲本杂交改良效果较好;京福 7A 母体

加性效应 G_{Am} 为正, 达 0.01 极显著水平, 288 种子加性效应 G_A 为正, 达 0.01 极显著水平, R402 种子加性效应 G_A 为正, 母体加性效应 G_{Am} 为负, 均达 0.01 极显著水平, 但后者大于前者, 由于该 3 个亲本的直链淀粉含量在 22% ~ 24%, 因此可与直链淀粉含量适中偏低亲本, 特别是遗传效应值较小或者为负的亲本杂交改良效果较好; 明恢 82 和明恢 89 种子加性效应 G_A 和母体加性效应 G_{Am} 均为负, 均达 0.01 极显著水平, 但其直链淀粉含量均小于 14%, 可极显著降低后代的直链淀粉含量。因此, 其与高直链淀粉含量亲本, 特别是遗传效应值为正的亲本杂交改良效果较好。另外, 选择直链淀粉含量适中且无显著加性效应的双亲亲本如京福 9A 等, 对杂种直链淀粉含量改良效果同样较好。

表 2 亲本直链淀粉含量表型值与遗传效应预测值

Tab. 2 Predicted Genetic effects of amylose content in parents

亲本 Parents	直链淀粉含量 / % Amylose content	种子加性效应 G_A	母体加性效应 G_{Am}
京福 1A Jingfu1A	24.0	0.558	-1.308
京福 2A Jingfu2A	26.2	1.223*	0.868
京福 6A Jingfu6A	25.9	1.155**	0.866
京福 7A Jingfu7A	22.9	0.511	3.309**
京福 8A Jingfu8A	25.3	0.916	-0.617
京福 9A Jingfu9A	22.7	0.323	0.600
明恢 77 Minghui77	25.2	2.634**	0.262
明恢 82 Minghui88	12.6	-3.321**	-4.933**
288	23.2	2.067**	-1.067
明恢 89 Minghui89	13.9	-3.650*	-3.092**
R402	23.2	-2.417**	5.111**

** 表示差异达 0.05 水平显著性。 ** significant at 0.05 level.

2.4 籼型杂交早稻组合 F_2 直链淀粉含量的平均优势

直链淀粉含量的总平均优势 $Hm(T)$ 由种子平均优势 $Hm(O)$ 、细胞质平均优势 $Hm(C)$ 和母体平均优势 $Hm(M)$ 三者构成。由表 3 可见, 杂交早稻组合 F_2 代胶稠度的总平均优势最高为 84.04%, 最低为 -0.17%, 总平均优势的均值为 6.89%, 其中表现正向总平均优势的组合占 76.7%, 30 个组合中有 66.7% 个达到正向显著或极显著水平。进一步剖析直链淀粉含量总平均优势的分量表明, 种子平均优势均不显著; 细胞质平均优势最高为 0.16%, 最低为 -0.12%, 均值为 0.027%, 表现正向细胞质平均优势的组合占 70.0%, 均达到正向极显著水平; 母体平均优势最高为 84.21%, 最低为 -0.014%, 均值为 6.87%, 表现正向母体平均优势的组合占 60.0%, 30 个组合中有 53.3% 个达到正向显著或极显著水平。由此可见, 多数组合的直链淀粉含量存在显著的正向总平均优势, 这种效应主要由细胞质平均优势和母体平均优势共同构成, 并且以母体平均优势所产生的效应为主。

2.5 籼型杂交早稻组合 F_2 直链淀粉含量的超亲优势

直链淀粉含量的总超亲优势 $Hf(T)$ 由种子超亲优势 $Hf(O)$ 和母体超亲优势 $Hf(M)$ 两部分构成。由表 3 还可看出, 杂交早稻组合 F_2 代胶稠度的总超亲优势最高为 84.18%, 最低为 -0.65%, 总超亲优势的均值为 6.66%, 其中表现正向总超亲优势的组合占 60.0%, 30 个组合中有 43.3% 个达到正向显著或极显著水平。进一步剖析直链淀粉含量总超亲优势的分量表明, 种子超亲优势最高为 0.172%, 最低为 -0.422%, 种子超亲优势的均值为 -0.155%, 其中表现正向种子超亲优势的组合占 40.0%, 仅 1 个组合达到正向显著水平; 母体超亲优势最高为 84.47%, 最低为 -0.339%, 母体超亲优势的均值为 6.81%, 其中表现正向母体超亲优势的组合占 63.3%, 30 个组合中有 50.0% 个达到正向显著水平。由此可见, 部分组合的直链淀粉含量存在显著的正向总超亲优势, 这种效应主要由种子超亲优势和母体超亲优势共同构成, 并且以母体超亲优势所产生的效应为主。

3 讨 论

直链淀粉含量以农业部食用稻品种品质 NY/T593—2002 三级优质米要求(15.0% ~ 24.0%) 为标

准,本试验中 11 个亲本材料仅 36.4% 达标,而 30 个杂交稻组合达标的占 63.3%,这是由于恰好拟合直链淀粉含量高与低及遗传效应正与负的亲本合理组配模式,导致杂交稻组合直链淀粉含量控制效果较好。如果以高直链淀粉含量的特种稻为育种目标,适宜选择如京福 2A、京福 6A 和明恢 77 等直链淀粉含量较高且遗传效应为显著或极显著正向水平的亲本。

表 3 杂交早稻组合 F_2 直链淀粉含量的平均优势和超亲优势的预测值Tab. 3 Predicted values average superiority and heterobeltiosis of amylose in F_2 of early *indica* hybrid rice

组合 Combination	总平均优势 $Hm(T)$	种子平均优势 $Hm(O)$	细胞质平均优势 $Hm(C)$	母体平均优势 $Hm(M)$	总超亲优势 $Hf(T)$	种子超亲优势 $Hf(O)$	母体超亲优势 $Hf(M)$
$P_1 \times P_7$	-0.010	0.005	-0.029**	0.014	0.205**	0.121	0.084
$P_1 \times P_8$	0.068**	0.011	0.070**	-0.014	-0.489**	-0.314*	-0.176*
$P_1 \times P_9$	0.972**	-0.021	-0.004**	0.997**	1.053**	0.045	1.007**
$P_1 \times P_{10}$	1.037**	0.002	0.036**	1.000**	0.589*	-0.331	0.920**
$P_1 \times P_{11}$	-0.170*	-0.051	-0.119**	0.000	0.051	-0.236*	0.287**
$P_2 \times P_7$	0.010	-0.003	0.013**	0.000	0.026	0.053	-0.027
$P_2 \times P_8$	0.106**	-0.006	0.112**	0.000	-0.651**	-0.391*	-0.259*
$P_2 \times P_9$	0.043*	0.006	0.037**	0.000	-0.075	0.012	-0.087*
$P_2 \times P_{10}$	0.048	-0.029	0.077**	0.000	-0.599*	-0.422*	-0.177**
$P_2 \times P_{11}$	-0.132*	-0.054	-0.078**	0.000	-0.110*	-0.300**	0.190**
$P_3 \times P_7$	-0.008	-0.020	0.012**	0.000	0.020	0.047	-0.027
$P_3 \times P_8$	0.110**	-0.001	0.111**	0.000	-0.633**	-0.374*	-0.259**
$P_3 \times P_9$	0.036	0.000	0.035**	0.001**	-0.069	0.017	-0.086
$P_3 \times P_{10}$	0.066*	-0.010	0.075**	0.001**	-0.569**	-0.392*	-0.177*
$P_3 \times P_{11}$	31.510*	-0.032	-0.079**	31.621*	31.54*	-0.266**	31.811*
$P_4 \times P_7$	56.004*	0.019	0.057**	55.928*	55.964*	0.172*	55.792*
$P_4 \times P_8$	0.203**	0.017	0.156**	0.030	-0.609**	-0.271*	-0.339**
$P_4 \times P_9$	0.534*	0.014	0.081**	0.440*	0.360*	0.116	0.244
$P_4 \times P_{10}$	15.088*	-0.004	0.121**	14.971*	14.385*	-0.300**	14.685*
$P_4 \times P_{11}$	-0.034*	0.000	-0.034**	0.000	-0.068	-0.149	0.081*
$P_5 \times P_7$	-0.011	0.005	-0.016**	0.000	0.122	0.082	0.039
$P_5 \times P_8$	12.671*	-0.015	0.083**	12.603*	12.032*	-0.378*	12.410*
$P_5 \times P_9$	0.489*	0.011	0.008**	0.470**	0.488*	0.039	0.449*
$P_5 \times P_{10}$	0.376*	-0.022	0.048**	0.350*	-0.154*	-0.394*	0.239
$P_5 \times P_{11}$	84.041*	-0.066	-0.107**	84.214*	84.180*	-0.290**	84.470*
$P_6 \times P_7$	0.258*	0.002	0.007**	0.250*	0.382*	0.147	0.234*
$P_6 \times P_8$	2.610*	-0.010	0.106**	2.514*	1.961*	-0.305*	2.267*
$P_6 \times P_9$	0.811*	0.024	0.031**	0.756*	0.801*	0.119	0.682*
$P_6 \times P_{10}$	0.147*	0.006	0.071**	0.070*	-0.393*	-0.297*	-0.095
$P_6 \times P_{11}$	-0.124*	-0.040	-0.084**	0.000	0.005	-0.197*	0.202**

P_1 为京福 1A、 P_2 为京福 2A、 P_3 为京福 6A、 P_4 为京福 7A、 P_5 为京福 8A、 P_6 为京福 9A、 P_7 为明恢 77、 P_8 为明恢 82、 P_9 为 288、 P_{10} 为明恢 89、 P_{11} 为 R402。* 表示差异达 0.05 水平显著性,** 表示差异达 0.01 水平显著性。

P_1 : jingfu1A; P_2 : Jingfu2A; P_3 : Jingfu6A; P_4 : Jingfu7A; P_5 : Jingfu8A; P_6 : Jingfu9A; P_7 : minghui77; P_8 : Minghui; P_9 : 288; P_{10} : Minghui89; P_{11} : R402。* significant at 0.05 level. ** significant at 0.01 level.

杂交晚稻组合 F_2 代稻米直链淀粉含量的总平均优势和总超亲优势其效应预测值的大小各不相同, 方向有正有负。30 个杂交稻组合中, 表现正向总平均优势的组合数占 76.7%, 正向总超亲优势的组合占 60.0%, 说明在杂交早稻组合 F_2 代稻米品质性状中普遍存在正向总平均优势和总超亲优势。相对于口感而言, 直链淀粉含量表现型过高和过低均不利, 因此育种应避免不利的正向杂种优势, 合理利用负向杂种优势, 或者选择性状值均适中的不育系和恢复系配制杂交早稻组合。

参考文献:

- [1]甄海, 黄慧君, 吴东辉, 等. 不同造别栽培对稻米碾磨和蒸煮品质的影响[J]. 广东农业科学, 1999(4): 8-10.
- [2]金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 等. 氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 7(1): 31-35.
- [3]金军, 徐大勇, 蔡一霞, 等. 施氮量对水稻主要米质性状及 RVA 谱特征参数的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(2): 154-158.
- [4]任万军, 杨文锴, 徐精文, 等. 弱光对水稻籽粒生长及品质的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 785-790.
- [5]刘奇华, 蔡建, 李天玲, 等. 水稻籽粒灌浆特性及品质对孕穗期弱光胁迫的响应[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(2): 172-175.
- [6]黄超武. 水稻杂种直链淀粉含量的遗传研究[J]. 华南农业大学学报, 1990, 11(1): 23-29.
- [7]黄利兴, 李清华, 林玲娜, 等. 籼型杂交晚稻稻米品质性状的遗传效应分析[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2006, 35(3): 225-231.
- [8]石春海, 陈国林, 朱军, 等. 籼稻稻米直链淀粉含量的胚、胚乳、细胞质和母体遗传效应分析[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 833-838.
- [9]方平平, 徐锦斌, 林荔辉, 等. 优质杂交籼稻蒸煮品质性状的遗传研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(5): 709-713.
- [10]何凤华, 曾瑞珍, 席章营, 等. 不同 Wx 基因型水稻的遗传多样性[J]. 分子植物育种, 2003, 1(2): 179-186.
- [11]郭涛, 韩诗曼, 夏斌, 等. 2 个籼稻低直链淀粉突变体 Wx 等位基因序列的研究[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(3): 6-9.
- [12]Mikami I, Uwatoko N, Ikeda Y, et al. Allelic diversification at the wx locus in landraces of Asian rice[J]. Theor Appl Genet, 2008(116): 979-989.
- [13]Ikuo A, Hiroyuki S, Noriaki A, et al. Genetic analysis of the low-amylose characteristics of rice cultivars Obomzuki and Hokkai-PL9[J]. Breeding Science, 2010(60): 187-194.
- [14]朱军. 包括基因型 × 环境互作效应的种子遗传模型及其分析方法[J]. 遗传学报, 1996, 23(1): 56-68.
- [15]朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 23-156.