

# 籼型杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的杂种优势分析

刘红梅, 刘建丰, 邱颖波, 范峰峰, 徐庆国

(湖南农业大学农学院, 长沙 410128)

**摘要:**以 6 个籼型三系不育系和 5 个籼型恢复系按不完全双列杂交设计配制的 30 个杂交稻组合及其亲本为材料, 对其子粒淀粉 RVA 谱特征值进行了测定和分析。结果表明: 1) 亲本间和杂交稻组合间的淀粉 RVA 谱特征值均存在极显著的差异, 其中变异最大的是消减值, 最小的是糊化开始温度。2) 杂交稻组合淀粉 RVA 谱特征值的变异系数均小于杂交稻亲本的变异系数; 峰值粘度、崩解值、最低粘度和最终粘度的平均值杂交稻组合大于亲本, 其他性状的平均值杂交稻组合小于亲本。3) 峰值粘度存在极显著的正向超亲优势; 崩解值、最低粘度、最终粘度和回复值存在极显著的正向中亲优势; 消减值和峰值时间存在极显著的负向中亲优势和正向低亲优势; 糊化开始温度存在极显著的负向低亲优势; 最终粘度、回复值和糊化开始温度表现为极显著的负向竞争优势, 其他性状表现为正向竞争优势。4) 峰值粘度、崩解值、消减值和回复值等 4 个性状, 各杂交稻组合与其母本、中亲值呈极显著正相关, 峰值时间与中亲值呈显著正相关。而与其父本的相关性均未达显著水平。

**关键词:** 杂交稻; 亲本; 淀粉 RVA 谱特征值; 杂种优势

## Heterotic Analysis of Starch Viscosity Properties in *indica* Hybrid Rice

LIU Hong-mei, LIU Jian-feng, QIU Ying-bo, FAN Feng-feng, XU Qing-guo

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

**Abstract:** To evaluate the heterosis of rice starch viscosity properties, 30 hybrid combinations were obtained from incomplete diallel cross between six sterile lines and five restorer lines of *indica* hybrid rice cultivars. The rapid visco analyzer (RAV) profile parameters of starch viscosity in hybrid combinations and parents were measured and statistically analyzed. Results showed that there were highly significant differences for the RVA profile parameters in both the hybrid rice combinations and their parents, among those parameters setback had the widest range of variations but the pasting temperature had the narrowest range of variations. The variation coefficients of the starch RVA profile parameters of hybrids were smaller than that of the parents. The average of peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity, peak time, and pasting temperature of all the hybrid combinations were larger than that of the parents. However setback and consistency were smaller than that of the parents. Highly significant positive heterosis over high-parent was found in peak viscosity, and highly significant positive heterosis over mid-parent were found for trough viscosity, breakdown, final viscosity, and consistency. Highly significant negative heterosis over mid-parent and positive heterosis over low-parent were found in both setback and peak time. Highly significant negative heterosis over low-parent was also found at pasting temperature. There were highly significant positive correlations between the hybrid rice combinations and the female parent and mid-parent value on peak viscosity, breakdown, setback and consistency. Significant positive correlations were also found between the hybrid rice combinations and mid-parent value on peak time. While there correlations to the male parent did not reach a significant level. Our data suggested that the starch viscosity properties in hybrid rice combinations were largely affected by the female parent compared to the male parent except for trough viscosity and peak time.

**Key words:** hybrid rice; parents; starch viscosity properties (RVA profile); heterosis

收稿日期: 2012-08-07 修回日期: 2012-09-17 网络出版日期: 2013-04-02

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20130402.1737.019.html>

基金项目: 国家“863”计划项目(2010AA101304); 湖南省教育厅项目(12C0189); 湖南农业大学作物栽培学与耕作学学科青年基金

作者简介: 刘红梅, 博士研究生, 讲师, 从事作物遗传育种研究。E-mail: 34873390@qq.com

通信作者: 刘建丰, 博士, 教授, 从事水稻杂种优势利用研究。E-mail: liujf501@yahoo.com.cn

水稻是我国第一大粮食作物,我国 60% 的人口以稻米为主食。随着人民生活水平的提高,对稻米品质的要求越来越高。稻米的主要成分淀粉含量约占其化学成分的 80%,其淀粉特性直接影响稻米的蒸煮食味品质。蒸煮食味品质是重要的米质性状,在水稻品质改良中显得尤其重要。与稻米其他理化指标相比,淀粉 RVA 谱特征值更能准确地反应稻米的蒸煮食味品质。因此,美国、澳大利亚、日本等稻米生产与消费先进国家均把稻米淀粉 RVA 谱特征值作为其蒸煮、食用和加工的重要指标之一<sup>[1-2]</sup>。食味较优的水稻品种一般具有较大的崩解值、较小的消减值和回复值,而食味较差的水稻品种则相反<sup>[3]</sup>。稻米品质育种研究中,测定稻米的淀粉 RVA 谱特征值可预测稻米的蒸煮品质和等级<sup>[4-5]</sup>,能较好地区分表观直链淀粉含量相似的品种的食味<sup>[6]</sup>,并且从 RVA 谱上读出的实际糊化温度值比用碱消法测定的更加准确<sup>[7]</sup>。

近年来国内外学者对杂交稻的农艺性状和一般稻米品质性状的杂种优势已进行了大量的研究<sup>[8-10]</sup>。对稻米淀粉 RVA 谱特征值的基因型与环境互作效应<sup>[11]</sup>、常规籼稻品种淀粉 RVA 谱特征值的配合力<sup>[12]</sup>、稻米淀粉 RVA 谱特征值与其他品质指标间的关系<sup>[13-14]</sup>、淀粉合成相关基因对 RVA 谱特征值的影响<sup>[15]</sup>、水稻不同穗粒位淀粉 RVA 谱特征值的比较<sup>[16]</sup>及 RVA 谱特征值的多样性<sup>[17]</sup>和 QTL 定位研究<sup>[18]</sup>,还有学者利用淀粉 RVA 谱特征值作为辅助选择指标成功选育了优质早籼品种<sup>[6]</sup>。但是,对三系籼型杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的杂种优势鲜见报道。而杂种优势分析是选配优良杂交稻组合的重要依据之一,对选配优质杂交稻组合与选育优质杂交稻亲本、不断满足人们生活水平要求和提高我国稻米国内外市场竞争力均具有重要的理论与实际意义。为此,本研究以 6 个籼型三系不育系和 5 个籼型恢复系按不完全双列杂交设计配制的 30 个杂交稻组合为材料,对其淀粉 RVA 谱特征值进行了测定和分析,以期作为优质杂交稻育种提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究选用了 6 个籼型杂交稻不育系:深 95A、389A、中 3A、T98A、五丰 A、炳 1A;5 个籼型杂交稻恢复系:R031、湘恢 059、湘农恢 076、优恢 036、R342。将上述杂交稻不育系与恢复系按不完全双列杂交共配制了 30 个杂交稻组合,以天优华占为对

照杂交稻组合。

### 1.2 田间试验设计

2011 年 5 - 10 月将 30 个杂交稻 F<sub>1</sub> 组合和 11 个杂交稻亲本材料及对照杂交稻组合,作中稻正季种植于湖南农业大学实验基地,其中三系杂交稻不育系亲本以其同型保持系品种代替种植。田间种植采用随机区组排列,每小区种植 50 蔸,单本种植,小区间不留走道,株行距 16.7 cm × 20 cm,3 次重复。2011 年 5 月 25 日播种,6 月 17 日移栽,试验田肥力中等偏上,地力均匀,整个水稻生育期同一般大田管理。

### 1.3 淀粉 RVA 谱特征值测定

各杂交稻组合与亲本成熟后分别收获种子,种子风干后在常温下贮藏 3 个月。淀粉 RVA 谱特征值用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 Super-4 型快速粘度仪,按照 GB/T 24852-2010 大米及米粉糊化特性测定——快速粘度仪法测定,每小区重复测定 2 次,淀粉粘滞性以 RVU (rapid viscosity units) 为单位,1RVU = 12cP;其主要参数有峰值粘度 (PV, peak viscosity)、最低粘度 (TV, trough viscosity)、最终粘度 (FV, final viscosity)、峰值时间 (PT, peak time)、糊化开始温度 (PaT, pasting temperature)、崩解值 (BD, breakdown)、消减值 (SB, setback) 和回复值 (CSV, consistency)。其中,崩解值 = 峰值粘度 - 最低粘度;消减值 = 最终粘度 - 峰值粘度;回复值 = 最终粘度 - 最低粘度。

### 1.4 数据统计分析

数据处理和分析采用 EXCEL 2003、DPS-v 7.05、SAS 9.2 等软件在计算机上完成。计算各杂交稻组合和亲本的平均数、标准差、变异系数,并对亲本群体和杂交稻组合群体进行差异显著性测验。各组合的杂种优势按下列公式计算:正向超亲优势 (%) =  $(F_1 - HP)/HP \times 100\%$ ;中亲优势 (%) =  $(F_1 - MP)/MP \times 100\%$ ;负向超亲优势 (%) =  $(F_1 - LP)/LP \times 100\%$ ;竞争优势 (%) =  $(F_1 - CK)/CK \times 100\%$ 。其中,HP 为高值亲本值;MP 为中亲值;LP 为低值亲本值。并统计各优势指标的平均优势值、正向或负向组合数,杂种优势的显著性测验参照莫惠栋<sup>[19]</sup>介绍的方法计算。各淀粉 RVA 谱特征值的亲子相关分析参照周开达等<sup>[20]</sup>介绍的方法计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 亲本淀粉 RVA 谱特征值的差异

如表 1 所示,供试 11 个亲本的淀粉 RVA 谱各

特征值均存在极显著差异。其中变异系数最大的是消减值,该性状的最大值为 101.08RVU,最小值为 -101.88RVU,变幅为 202.96RVU;崩解值和回复值的变异系数次之。而变异系数最小是糊化开始温

度,仅为 3.99%。从字母标记显著性测验看出,不育系中五丰 A,恢复系中 R342、湘恢 059 和优恢 036 具有崩解值大、峰值粘度高,最终粘度、消减值和回复值低的优质特性。

表 1 亲本淀粉 RVA 谱特征值的平均值及其差异显著性

Table 1 Means and difference of starch viscosity characteristics in parents

亲本 Parents	峰值粘度 PV	最低粘度 TV	崩解值 BD	最终粘度 FV	消减值 SB	峰值时间(s) PT	糊化开始温度(°C) PaT	回复值 CSV	
母本 Female	深 95A	269.08 <sup>E</sup>	163.58 <sup>CD</sup>	105.50 <sup>D</sup>	250.42 <sup>E</sup>	-18.67 <sup>D</sup>	5.80 <sup>DEF</sup>	84.33 <sup>B</sup>	86.83 <sup>E</sup>
	389A	159.63 <sup>G</sup>	133.29 <sup>G</sup>	26.33 <sup>G</sup>	260.71 <sup>D</sup>	101.08 <sup>A</sup>	5.93 <sup>CD</sup>	85.58 <sup>A</sup>	127.42 <sup>C</sup>
	中 3A	220.79 <sup>F</sup>	177.46 <sup>B</sup>	43.33 <sup>F</sup>	308.83 <sup>C</sup>	88.04 <sup>BC</sup>	6.40 <sup>A</sup>	84.70 <sup>AB</sup>	131.38 <sup>C</sup>
	T98A	317.21 <sup>B</sup>	212.75 <sup>A</sup>	104.46 <sup>D</sup>	399.83 <sup>A</sup>	82.63 <sup>C</sup>	5.77 <sup>EF</sup>	79.65 <sup>E</sup>	187.08 <sup>A</sup>
	五丰 A	308.08 <sup>C</sup>	150.33 <sup>E</sup>	157.75 <sup>B</sup>	218.38 <sup>G</sup>	-89.71 <sup>G</sup>	5.67 <sup>FG</sup>	83.20 <sup>C</sup>	68.04 <sup>G</sup>
	炳 1A	266.58 <sup>E</sup>	207.63 <sup>A</sup>	58.96 <sup>F</sup>	365.63 <sup>B</sup>	99.04 <sup>AB</sup>	6.17 <sup>B</sup>	82.28 <sup>C</sup>	158.00 <sup>B</sup>
父本 Male	R031	295.38 <sup>D</sup>	163.83 <sup>C</sup>	131.54 <sup>C</sup>	260.00 <sup>D</sup>	-35.38 <sup>E</sup>	5.73 <sup>EF</sup>	85.55 <sup>A</sup>	96.17 <sup>D</sup>
	湘恢 059	321.58 <sup>B</sup>	141.00 <sup>F</sup>	180.58 <sup>A</sup>	219.71 <sup>G</sup>	-101.88 <sup>H</sup>	5.57 <sup>G</sup>	80.75 <sup>D</sup>	78.71 <sup>F</sup>
	湘农恢 076	316.92 <sup>B</sup>	162.54 <sup>CD</sup>	154.38 <sup>B</sup>	256.54 <sup>DE</sup>	-60.38 <sup>F</sup>	6.00 <sup>C</sup>	84.80 <sup>AB</sup>	94.00 <sup>D</sup>
	优恢 036	317.46 <sup>B</sup>	156.54 <sup>DE</sup>	160.92 <sup>B</sup>	248.88 <sup>E</sup>	-68.58 <sup>F</sup>	5.93 <sup>CD</sup>	74.48 <sup>F</sup>	92.33 <sup>DE</sup>
	R342	339.33 <sup>A</sup>	159.67 <sup>CD</sup>	179.67 <sup>A</sup>	237.58 <sup>F</sup>	-101.75 <sup>H</sup>	5.84 <sup>DE</sup>	82.33 <sup>C</sup>	77.92 <sup>F</sup>
平均数		284.73	166.24	118.49	275.14	-9.59	5.89	82.51	108.90
标准差		53.36	24.78	55.18	58.87	85.04	0.24	3.29	37.49
变幅极差		179.71	79.46	154.25	181.46	202.96	0.84	11.10	119.04
变异系数(%)		18.74	14.91	46.57	21.40	-886.34	4.01	3.99	34.43
亲本间差异(F)		1578.56 <sup>**</sup>	531.01 <sup>**</sup>	1294.57 <sup>**</sup>	2026.96 <sup>**</sup>	2476.10 <sup>**</sup>	113.76 <sup>**</sup>	460.50 <sup>**</sup>	1411.66 <sup>**</sup>

\*\* 和上标字母表示在 0.01 水平上的差异显著性,下同

\*\* and superscript letters mean significantly difference at 0.01 probability levels, respectively. PV: peak viscosity, TV: trough viscosity, FV: final viscosity, BD = (PV-TV); breakdown, SB = (FV-PV); setback, CSV = (FV-TV); consistency, PT: peak time, PaT: pasting temperature. The same as below

## 2.2 杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的差异

从表 2 得知,30 个杂交稻组合的淀粉 RVA 谱特征值均存在极显著差异。与亲本相似,杂交稻组合也以消减值、崩解值和回复值的变异系数最大,即改良杂交稻的上述性状有较大的潜力。比较表 1 和表 2 可知,杂交稻组合的淀粉 RVA 谱特征值的变异系数均小于亲本。杂交稻组合的峰值粘度、最低粘度、崩解值、最终粘度和消减值(绝对值)的平均数大于亲本,说明杂交稻组合在这些性状上存在杂种优势。因此,通过合理配组,选育出峰值粘度高、崩解值大而消减值偏低的优质杂交稻组合是可行的。

## 2.3 杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的杂种优势表现及其显著性测验

如表 3 所示,30 个杂交稻组合的淀粉 RVA 谱特征值中:1) 峰值粘度存在极显著的正向超亲优

势,超亲优势组合数达 17 个,平均值为 2.07%。其余性状均表现为极显著的负向超亲优势,超亲优势正向组合数不多。说明供试杂交稻在这些性状上杂种优势强度偏弱。2) 最低粘度、崩解值、最终粘度和回复值存在极显著的正向中亲优势,其中亲优势的平均值均为正值,组合数均超过一半。其中,崩解值的正向中亲优势组合数达 26 个,平均值为 28.98%。3) 糊化开始温度存在极显著的负向超亲优势,其负向组合数占一半。4) 与对照杂交稻组合天优华占相比,杂交稻组合的最终粘度、糊化开始温度和回复值的竞争优势平均值表现为负值,且极显著低于对照,其他性状表现为正值。峰值粘度、最低粘度、崩解值和峰值时间极显著高于对照,高于对照的组合数约占一半。说明供试杂交稻组合在淀粉 RVA 谱特征值上表现峰值粘度高、崩解值大,最终粘度低、回复值小的优良竞争优势。

表 2 杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的平均值及其差异显著性

Table 2 Means and difference of starch viscosity characteristics in hybrids rice combinations

组合 Cross	峰值粘度 PV	最低粘度 TV	崩解值 BD	最终粘度 FV	消减值 SB	峰值时间 (s) PT	糊化开始 温度(°C) PaT	回复值 CSV
深 95A × R031	342.41 <sup>CDEFG</sup>	157.04 <sup>EFG</sup>	185.38 <sup>BCD</sup>	245.50 <sup>GHIJK</sup>	-96.92 <sup>GHI</sup>	5.60 <sup>HJ</sup>	82.30 <sup>A</sup>	88.46 <sup>GH</sup>
389A × R031	302.71 <sup>JKLM</sup>	177.58 <sup>D</sup>	125.13 <sup>EFG</sup>	321.66 <sup>BC</sup>	18.96 <sup>ABC</sup>	5.87 <sup>BCD</sup>	80.05 <sup>EFGH</sup>	144.08 <sup>A</sup>
中 3A × R031	310.38 <sup>HJK</sup>	188.13 <sup>ABC</sup>	122.25 <sup>EFGH</sup>	314.75 <sup>CDE</sup>	4.38 <sup>EF</sup>	5.87 <sup>BCD</sup>	79.53 <sup>HI</sup>	126.63 <sup>EF</sup>
T98A × R031	313.29 <sup>HJ</sup>	182.46 <sup>CD</sup>	130.83 <sup>EF</sup>	318.29 <sup>BCD</sup>	5.00 <sup>DEF</sup>	5.93 <sup>ABC</sup>	79.13 <sup>I</sup>	135.83 <sup>BC</sup>
五丰 A × R031	341.83 <sup>DEFG</sup>	158.75 <sup>EF</sup>	183.08 <sup>CD</sup>	244.04 <sup>GHIJKL</sup>	-97.79 <sup>HJ</sup>	5.73 <sup>EFG</sup>	82.32 <sup>A</sup>	85.29 <sup>GHI</sup>
炳 1A × R031	335.42 <sup>G</sup>	161.04 <sup>EF</sup>	174.38 <sup>D</sup>	250.17 <sup>GH</sup>	-85.25 <sup>G</sup>	5.53 <sup>IJK</sup>	82.32 <sup>A</sup>	89.13 <sup>GH</sup>
深 95A × 湘恢 059	351.25 <sup>ABCD</sup>	148.92 <sup>G</sup>	202.33 <sup>A</sup>	230.63 <sup>N</sup>	-120.63 <sup>L</sup>	5.43 <sup>K</sup>	82.35 <sup>A</sup>	81.71 <sup>HJ</sup>
389A × 湘恢 059	293.84 <sup>MN</sup>	177.67 <sup>D</sup>	116.17 <sup>GH</sup>	314.05 <sup>CDE</sup>	20.21 <sup>ABC</sup>	5.84 <sup>CDE</sup>	80.70 <sup>DEF</sup>	136.38 <sup>ABC</sup>
中 3A × 湘恢 059	290.25 <sup>N</sup>	181.54 <sup>CD</sup>	108.71 <sup>H</sup>	302.50 <sup>F</sup>	12.25 <sup>BCDE</sup>	5.90 <sup>BCD</sup>	80.75 <sup>DE</sup>	120.96 <sup>F</sup>
T98A × 湘恢 059	297.75 <sup>LMN</sup>	179.67 <sup>CD</sup>	118.08 <sup>FGH</sup>	306.71 <sup>EF</sup>	8.96 <sup>CDEF</sup>	5.80 <sup>DEF</sup>	80.03 <sup>FGH</sup>	127.04 <sup>DEF</sup>
五丰 A × 湘恢 059	336.66 <sup>FG</sup>	154.88 <sup>FG</sup>	181.79 <sup>CD</sup>	240.38 <sup>IJKLM</sup>	-96.29 <sup>GH</sup>	5.50 <sup>JK</sup>	82.70 <sup>A</sup>	85.50 <sup>GHI</sup>
炳 1A × 湘恢 059	341.04 <sup>DEFG</sup>	153.71 <sup>FG</sup>	187.33 <sup>BCD</sup>	234.00 <sup>MN</sup>	-107.04 <sup>HJK</sup>	5.47 <sup>K</sup>	82.32 <sup>A</sup>	80.29 <sup>J</sup>
深 95A × 湘农恢 076	337.80 <sup>EFG</sup>	152.75 <sup>FG</sup>	185.04 <sup>BCD</sup>	241.79 <sup>GHIJKLM</sup>	-96.00 <sup>GH</sup>	5.70 <sup>FGH</sup>	80.72 <sup>DEF</sup>	89.04 <sup>GH</sup>
389A × 湘农恢 076	289.91 <sup>N</sup>	180.79 <sup>CD</sup>	109.13 <sup>H</sup>	314.95 <sup>CDE</sup>	25.04 <sup>A</sup>	5.97 <sup>AB</sup>	78.40 <sup>JK</sup>	134.17 <sup>BCDE</sup>
中 3A × 湘农恢 076	308.70 <sup>HJKLM</sup>	192.71 <sup>AB</sup>	116.00 <sup>GH</sup>	313.08 <sup>DE</sup>	4.38 <sup>EF</sup>	6.04 <sup>A</sup>	79.07 <sup>IJ</sup>	120.38 <sup>F</sup>
T98A × 湘农恢 076	300.46 <sup>KLMN</sup>	186.17 <sup>BCD</sup>	114.29 <sup>GH</sup>	313.70 <sup>CDE</sup>	13.25 <sup>BCDE</sup>	5.96 <sup>AB</sup>	78.35 <sup>K</sup>	127.54 <sup>DEF</sup>
五丰 A × 湘农恢 076	354.80 <sup>AB</sup>	159.46 <sup>EF</sup>	195.33 <sup>ABC</sup>	247.71 <sup>GHIJ</sup>	-107.08 <sup>HJK</sup>	5.67 <sup>GH</sup>	80.70 <sup>DEF</sup>	88.25 <sup>GHI</sup>
炳 1A × 湘农恢 076	347.55 <sup>BCDEF</sup>	157.00 <sup>EFG</sup>	190.54 <sup>ABC</sup>	239.29 <sup>IJKLM</sup>	-108.25 <sup>IJK</sup>	5.60 <sup>HJ</sup>	80.75 <sup>DE</sup>	82.29 <sup>HJ</sup>
深 95A × 优恢 036	348.88 <sup>ABCDE</sup>	160.67 <sup>EF</sup>	188.21 <sup>BC</sup>	251.25 <sup>G</sup>	-97.63 <sup>HJ</sup>	5.67 <sup>GH</sup>	81.55 <sup>C</sup>	90.58 <sup>G</sup>
389A × 优恢 036	313.00 <sup>HJ</sup>	181.96 <sup>CD</sup>	131.04 <sup>EF</sup>	316.66 <sup>CD</sup>	3.66 <sup>EF</sup>	5.93 <sup>ABC</sup>	78.38 <sup>JK</sup>	134.71 <sup>BCD</sup>
中 3A × 优恢 036	303.83 <sup>IJKLM</sup>	193.29 <sup>AB</sup>	110.54 <sup>H</sup>	326.54 <sup>AB</sup>	22.71 <sup>AB</sup>	5.96 <sup>AB</sup>	79.93 <sup>GH</sup>	133.25 <sup>BCDE</sup>
T98A × 优恢 036	314.21 <sup>HI</sup>	179.08 <sup>CD</sup>	135.13 <sup>E</sup>	311.91 <sup>DE</sup>	-2.29 <sup>F</sup>	5.93 <sup>ABC</sup>	78.30 <sup>K</sup>	132.83 <sup>BCDE</sup>
五丰 A × 优恢 036	336.88 <sup>FG</sup>	151.88 <sup>FG</sup>	185.00 <sup>BCD</sup>	236.21 <sup>LMN</sup>	-100.67 <sup>HJK</sup>	5.60 <sup>HJ</sup>	81.57 <sup>BC</sup>	84.33 <sup>GHI</sup>
炳 1A × 优恢 036	359.46 <sup>A</sup>	160.83 <sup>EF</sup>	198.63 <sup>AB</sup>	248.71 <sup>GHI</sup>	-110.75 <sup>KL</sup>	5.60 <sup>HJ</sup>	80.80 <sup>D</sup>	87.88 <sup>GHI</sup>
深 95A × R342	347.79 <sup>BCDEF</sup>	153.67 <sup>FG</sup>	194.13 <sup>ABC</sup>	241.21 <sup>IJKLM</sup>	-106.58 <sup>HJK</sup>	5.64 <sup>GHI</sup>	82.38 <sup>A</sup>	87.54 <sup>GHI</sup>
389A × R342	314.13 <sup>HI</sup>	180.67 <sup>CD</sup>	133.46 <sup>E</sup>	319.38 <sup>BCD</sup>	5.25 <sup>DEF</sup>	5.80 <sup>DEF</sup>	80.03 <sup>FGH</sup>	138.71 <sup>AB</sup>
中 3A × R342	315.38 <sup>H</sup>	195.92 <sup>A</sup>	119.46 <sup>FGH</sup>	331.79 <sup>A</sup>	16.41 <sup>ABCD</sup>	5.93 <sup>ABC</sup>	80.43 <sup>DEFG</sup>	135.88 <sup>BC</sup>
T98A × R342	313.13 <sup>HJ</sup>	182.25 <sup>CD</sup>	130.88 <sup>EF</sup>	312.75 <sup>DE</sup>	-0.38 <sup>F</sup>	5.93 <sup>ABC</sup>	74.50 <sup>L</sup>	130.50 <sup>CDE</sup>
五丰 A × R342	347.25 <sup>BCDEF</sup>	157.29 <sup>EFG</sup>	189.96 <sup>ABC</sup>	238.00 <sup>KLMN</sup>	-109.25 <sup>JKL</sup>	5.63 <sup>GHI</sup>	82.33 <sup>A</sup>	80.71 <sup>IJ</sup>
炳 1A × R342	353.59 <sup>ABC</sup>	164.88 <sup>E</sup>	188.71 <sup>ABC</sup>	250.00 <sup>GH</sup>	-103.58 <sup>HJK</sup>	5.63 <sup>GHI</sup>	82.28 <sup>AB</sup>	85.13 <sup>GHI</sup>
平均数	325.45	170.42	155.03	279.25	-46.20	5.76	80.50	108.83
标准差	21.96	14.70	35.12	37.88	58.29	0.17	1.80	24.02
变幅极差	69.54	47.00	93.63	101.17	145.67	0.60	8.20	63.79
变异系数(%)	6.75	8.62	22.66	13.56	-126.17	3.02	2.24	22.07
组间差异(F)	123.02 <sup>**</sup>	80.38 <sup>**</sup>	213.61 <sup>**</sup>	665.98 <sup>**</sup>	824.10 <sup>**</sup>	64.48 <sup>**</sup>	206.94 <sup>**</sup>	321.43 <sup>**</sup>

表 3 杂交稻 RVA 谱特征值的杂种优势表现及显著性测验

Table 3 Performance and significance test of heterosis for starch viscosity characteristics in hybrid rice combinations

性状 Trait	正向超亲优势(%) Over high-parent heterosis			中亲优势(%) Mid-parent heterosis			负向超亲优势(%) Below low-parent heterosis			对照优势(%) Competitive advantage		
	正向 组合	平均值 (%)	$\overline{F_2 - HP}$	正向 组合	平均值 (%)	$\overline{F_2 - MP}$	负向 组合	平均值 (%)	$\overline{F_2 - LP}$	正向 组合	平均值 (%)	$\overline{F_2 - CK}$
	HPH > 0	AH		MPH > 0	AH		LPH < 0	AH		CA > 0	AH	
峰值粘度 PV	17	2.07	6.16**	26	13.94	37.94**	4	32.97	69.72**	15	2.09	6.66**
最低粘度 TV	11	-3.70	-9.04**	16	3.76	4.98**	5	13.20	18.99**	15	1.52	2.55**
崩解值 BD	15	-3.59	-7.37**	26	28.98	32.96**	0	146.22	73.29**	15	2.73	4.11**
最终粘度 FV	12	-5.98	-26.26**	16	3.33	6.67**	5	16.65	39.60**	1	-16.81	-22.20**
消减值 SB	10	8.46	-93.43**	15	196.67	-31.27**	15	-37.26	30.89**	15	166.52	-28.86**
峰值时间 PT	6	-4.24	-0.26**	10	-2.14	-0.13**	14	0.11	0.01**	19	1.51	0.09**
糊化开始温度 PaT	1	-4.36	-3.70**	7	-2.28	-1.93**	15	-0.02	-0.16**	14	-0.31	-0.25**
回复值 CSV	10	-13.03	-21.66**	17	3.01	1.69**	3	30.21	25.04**	7	-18.53	-24.75**

HPH: high-parent heterosis, MPH: mid-parent heterosis, LPH: low-parent heterosis, CA: competitive advantage, AH: value of average heterosis

## 2.4 杂交稻组合与亲本淀粉 RVA 谱特征值的关系

由表 4 可知,各杂交稻组合的淀粉 RVA 谱特征值与亲本有较密切的正相关关系。其中,在峰值粘度、崩解值、消减值和回复值等 4 个性状上,杂交稻组合与其母本、中亲值的正相关性均达到了极显著水平,在峰值时间上,杂交稻组合与中亲值的相关性也达显著水平。说明杂交稻组合这 5 个性状主要由不育系和恢复系共同决定。杂交稻组合与其父本的

淀粉 RVA 谱特征值则均未达显著水平。从表 4 还可以看出,除最低粘度和峰值时间外,其他 6 个性状杂交稻组合与其母本的相关系数大于父本。表明不育系与恢复系相比,杂交稻组合与不育系的相关性更为密切,这 6 个性状受不育系的影响大于恢复系,对不育系的性状改良显得更为重要。最低粘度和糊化开始温度与亲本的相关性最低,说明杂交稻的这 2 个性状可能主要由双亲特殊配合力决定。

表 4 杂交稻组合与亲本稻米 RVA 谱特征值的相关系数 (n = 30)

Table 4 Correlation coefficient of starch viscosity characteristics between hybrid rices and their parents

性状 Trait	峰值粘度 PV	最低粘度 TV	崩解值 BD	最终粘度 FV	消减值 SB	峰值时间 PT	糊化开始温度 PaT	回复值 CSV
杂交稻组合与母本值 HMC	0.466**	0.106	0.560**	0.335	0.641**	0.267	0.286	0.517**
杂交稻组合与父本值 HRC	0.091	0.140	0.031	0.083	0.041	0.308	0.030	0.045
杂交稻组合与中亲值 HMPC	0.474**	0.140	0.531**	0.345	0.618**	0.393*	0.152	0.516**

\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上的差异显著性

\* and \*\* mean significantly difference at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. HMC, HRC, and HMPC mean correlation coefficients between hybrid and female-, male-, and mid-parent value, respectively

## 3 讨论

### 3.1 杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的杂种优势

杂交稻杂种优势是由于双亲基因互作、基因型与环境互作的结果,互作效应的大小和方向不同,表现出正向或负向的中亲、超亲优势。关于杂交稻农艺性状和常规品质性状的杂种优势,前人已有许多

研究和报道<sup>[8-10]</sup>。但关于杂交籼稻组合的淀粉 RVA 谱特征值的杂种优势还未见报道。在本研究中供试杂交稻组合的淀粉 RVA 谱特征值存在普遍的中亲优势和较强的竞争优势;除峰值粘度存在极显著的超高亲优势外,其他性状的超高亲优势并不强。崩解值具有极显著的中亲优势,糊化温度具有极显著的超低亲优势,与陆芳芳等<sup>[21]</sup>研究糯玉米的淀粉

RVA 谱特征值的杂种优势结果一致。但是,陆芳芳等<sup>[21]</sup>的研究同时认为峰值粘度存在极显著的超亲优势,说明杂种后代的淀粉 RVA 谱特征值的杂种优势,在不同的作物中各 RVA 谱特征值的表现不同。

在杂交籼稻选育时,淀粉 RVA 谱特征值中有的性状要求量值愈大愈好,如峰值粘度、崩解值;有的性状则要求量值偏小,如最终粘度、峰值时间、糊化开始温度、消减值和回复值等。本试验供试杂交稻组合的峰值粘度存在极显著的正向超亲优势;崩解值、最低粘度、最终粘度和回复值存在极显著的正向中亲优势,其中,崩解值正向中亲优势组合数达 26 个,平均值为 28.98%。糊化开始温度存在极显著的负向超亲优势;说明利用杂种优势能较容易获得峰值粘度高、崩解值大和糊化开始温度偏低的杂交稻组合,选择这些性状时,对双亲的要求并不需要太严格。但要想获得最终粘度、最低粘度、消减值和回复值偏低的杂交稻组合,则要求重点挑选这 4 个性状优良的不育系和恢复系为亲本,以选配出淀粉 RVA 谱特征值优良的杂交稻组合。

### 3.2 杂交稻淀粉 RVA 谱特征值与双亲及中亲值的关系

本研究认为杂交稻淀粉 RVA 谱特征值与其亲本及中亲值均成正相关关系,消减值、崩解值和回复值与母本及中亲值的相关系数最大,但 RVA 谱各特征值的决定系数均小于 0.7,因此,通过亲本的淀粉 RVA 谱特征值来预测杂交稻组合的把握不大,这和张宏根等<sup>[9]</sup>研究杂交粳稻组合的淀粉 RVA 谱特征值与亲本的关系结果一致。峰值粘度、崩解值、消减值和回复值均与不育系、中亲值呈极显著正相关,而与父本的相关性均未达显著水平,这和陆芳芳等<sup>[21]</sup>研究糯玉米的淀粉 RVA 谱特征值的结果一致。除最低粘度和峰值时间外,其他 6 个性状,杂交稻组合与其母本的相关系数大于父本,表明不育系与恢复系相比,杂交稻组合与不育系的相关更为密切,这 6 个性状受不育系的影响大于恢复系,对不育系的性状改良显得更为重要。最低粘度和糊化开始温度与中亲值的相关性最低,说明杂交稻的这 2 个性状可能主要由双亲特殊配合力决定。金正勋等<sup>[12]</sup>和 K. A. Gravois 等<sup>[22]</sup>研究常规籼稻品种的淀粉 RVA 谱特征值也认为糊化温度主要受特

殊配合力作用。

### 参考文献

- [1] Deffenbaugh L B, Walker C E. Determination of amylose content and its relationship with RVA profile within genetically similar cultivars of rice (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) [J]. *Agr Sci China*, 2010, 9(8): 1101-1107
- [2] Bason M L, Blakeney A B, Booth R I. Assessing rice quality using the RVA results of an international collaborative trial [J]. *RVA World*, 1994, 6: 2-5
- [3] 王丰,程方民,钟连进,等. 早籼稻米 RVA 谱特性的品种间差异及其温度效应特征[J]. *中国水稻科学*, 2003, 17(4): 39-43
- [4] Redy K R, Subramanian R, Ali S Z, et al. Viscoelastic properties of rice flour pastes and their relationship to amylose and rice quality [J]. *Cereal Chem*, 1994, 71(6): 548-552
- [5] 王肇慈. 稻米食用、蒸煮品质评价与分析 - 粮油品质分析 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997: 1-70
- [6] 吴殿星,舒庆尧,夏英武. RVA 分析辅助选择食用优质早籼稻的研究 [J]. *作物学报*, 2001, 27(2): 165-172
- [7] 包劲松,舒庆尧,夏英武,等.  $\gamma$ -辐照对稻米蒸煮和食用品质的影响 [J]. *核农学报*, 1998, 12(6): 327-331
- [8] 戴正元,李爱宏,刘广青,等. 几个优良籼稻亲本品质性状的配合力和杂种优势分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(2): 234-238
- [9] 张宏根,孔宪旺,朱正武,等. 粳稻三系亲本的性状特征与杂种优势分析 [J]. *作物学报*, 2010, 36(5): 801-809
- [10] 罗小金,贺浩华,彭小松,等. 利用 SSR 标记分析水稻亲本间遗传距离与杂种优势的关系 [J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(2): 209-214
- [11] Bao J S, Shen S Q, Xia Y W. Analysis of genotype  $\times$  environment interaction effects for starch pasting viscosity characteristics in indica rice [J]. *ACTA Genetica Sin*, 2006, 33(11): 1007-1013
- [12] 金正勋,姜文洙,晋重玄,等. 籼稻品种米味及淀粉 RVA 谱特性配合力分析 [J]. *作物学报*, 2004, 30(12): 1210-1214
- [13] Zheng L N, Zhang W W, Liu S J, et al. Genetic relationship between grain chalkiness, protein content, and paste viscosity properties in a backcross inbred population of rice [J]. *J Cereal Sci*, 2012, 56(2): 153-160
- [14] 隋炯明,李欣,严松,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究 [J]. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 657-663
- [15] Han Y P, Xu M L, Liu X Y, et al. Genes coding for starch branching enzymes are major contributors to starch [J]. *Plant Sci*, 2004, 166(2): 257-364
- [16] 陈书强,薛菁芳,杜金岭. 两种穗型水稻穗上不同粒位籽粒淀粉黏滞谱特征的比较分析 [J]. *华北农学报*, 2012, 27(1): 110-117
- [17] 焦桂爱,胡培松,唐绍清,等. 香稻品种 RVA 谱多样性研究 [J]. *核农学报*, 2010, 24(1): 78-82
- [18] Zhang Q F, Zhang Y D, Zhu Z, et al. Inheritance analysis and QTL mapping of rice starch viscosity (rapid visco analyzer profile) characteristics [J]. *Rice Sci*, 2008, 15(3): 186-194
- [19] 莫惠栋. 农业试验统计 [M]. 上海: 科学技术出版社, 1992
- [20] 周开达,黎汉云,李仁端,等. 杂交水稻主要性状配合力、遗传力的初步研究 [J]. *作物学报*, 1982, 8(3): 145-152
- [21] 陆芳芳,陆卫平,刘萍,等. 糯玉米淀粉 RVA 黏度的杂种优势分析 [J]. *作物学报*, 2006, 32(4): 503-508
- [22] Gravois K A, Webb B D. Inheritance of long grain rice amylograph viscosity characteristics [J]. *Euphytica*, 1997, 97(1): 25-29