

利用 RVA 快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究

胡培松^{1,2} 翟虎渠^{1,3} 唐绍清² 万建民^{1,3,*}

(¹南京农业大学,江苏南京 210095; ²中国水稻研究所国家水稻改良中心,浙江杭州 310006; ³中国农业科学院,北京 100081)

摘要 71份粳稻和68份籼稻 RVA 特征值与直链淀粉含量(AC)、胶稠度(GC)的相关分析表明,RVA 谱特征值与 AC、GC 均有较高相关系数,其中最高黏度(PKV)、崩解值(BDV)与 AC 的相关系数分别达 -0.760 和 -0.736,呈极显著负相关,与 GC 相关系数分别为 0.740 和 0.715,呈极显著正相关。但通过分析 AC、GC 和 RVA 谱 6 个参数的三维曲面图,揭示出 BDV、PKV 特别是 BDV 与 GC 的关系最密切,接近直线相关,用 BDV 进行 GC 间接鉴定是可靠的,且快速有效。进一步用分段线性回归分析建立定量模型,说明利用 RVA 可以定量分析稻米蒸煮及食味品质,特别是 AC 和 GC 与 RVA 特征值相关系数分别高达 0.919 和 0.905,RVA 预测值与分析值十分接近。

关键词 蒸煮及食味品质;RVA 特征值;评价

中图分类号:S511

Rapid Evaluation of Rice Cooking and Palatability Quality by RVA Profile

HU Pei-Song^{1,2}, ZHAI Hu-Qu^{1,3}, TANG Shao-Qing², WAN Jian-Min^{1,3,*}

(¹Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu; ²National Center for Rice Improvement, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, Zhejiang; ³Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The correlation coefficients were higher between amylose content (AC), gel consistency (GC) and parameter of RVA profiles, AC was significantly negative correlated to peak viscosity (PKV) and breakdown viscosity (BDV) of RVA profiles, with the correlation coefficients of -0.760, and -0.736 respectively at $P=0.01$ level; GC significantly positive correlated to PKV and BDV of RVA profiles, with the correlation coefficients of 0.740 and 0.715 at $P=0.01$ level. The 3D figure (AC, GC and RVA profiles) showed most close relationship between GC and BDV, PKV, especially between GC and BDV. Therefore it might be rapid and efficient to test GC by BDV of RVA profiles. Furthermore, the analysis of the relationship between cooking and palatability quality characters and RVA profiles by piecewise liner regression with breakpoint method could make models for quantitative analyses of AC and GC by RVA profile, the correlation coefficient of AC and GC to RVA profiles reached 0.919 and 0.915, respectively at $P=0.01$ level.

Key words Rice; Cooking and palatability quality; RVA profile; Evaluation

目前,国内外稻米品质的评价项目基本相同^[1~4]。食用稻米品质包括碾米品质、外观品质、蒸煮、食味品质与营养品质。其中碾米品质与外观品质鉴定相对简单。而直链淀粉含量、胶稠度及糊化温度作为 3 项蒸煮品质指标的传统鉴定方法较复杂,如直链淀粉含量测定方法演变经历 13 年^[4,5];借助先进仪器设备进行间接、快速而科学的品质评价,对稻作学家显得十分重要^[6]。RVA 已广泛用于淀粉糊化特性研究^[7,8],并制定了相关的测定标

准^[9,10]。利用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司自行开发生产的一套黏度速测仪 RVA (Rapid Viscosity Analyzer) 进行淀粉黏滞特性研究,已在我国育种实践中得到较好应用^[11~14]。本研究重点分析粘滞特性各参数与直链淀粉含量、胶稠度的三维曲线图,发现其中 BDV 值与 GC 近呈直线相关关系,BDV 确定后,可间接判断 GC 值。并进一步通过优化数学模型,研究了利用 RVA 特征值定量分析 AC、GC 等蒸煮及食味品质的方法,从而使 RVA 辅助选择稻米蒸

*基金项目:国家 863 计划课题(2001AA241011 和 2002AA207002),浙江省自然科学基金重大项目(ZA0106),浙江省重大科技攻关项目(011102471),国家水稻生物学重点实验室开放课题。

作者简介:胡培松(1964-),男,中国水稻研究所副研究员,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail:riceh@sohu.com

*通讯作者(Corresponding author):万建民。Tel: 025-84396516 E-mail:wanjm@mail.njau.edu.cn

Received(收稿日期):2003-03-13,Accepted(接受日期):2003-10-26.

煮及食味品质更加实用化。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为嘉育 948、中优早 81、浙 733、舟 903、中鉴 100、浙辐 802、湘早粳 19、湘晚粳 9 号、粤香占、中香 1 号、汕优 63、冈优 22、优 501、优 838、汕优 46 等 68 份粳稻和武运粳 7 号、武运粳 8 号、武育粳 3 号、甬粳 18、垦稻 8 号、辽粳 294、合江 19 等 71 份粳稻。2000 年 5 月 15 日在浙江杭州播种,收获时除了直接收割脱粒供标准测定外,每个材料另保存 15 个稻穗,取穗中部饱满粒用于快速鉴定分析。

1.2 方法

1.2.1 稻米食味测定 参试材料种子经 Staka 糙米机脱壳,Stake 精米机加工成精米,每个样品称取 180 g,用日本 RQ1/ Plus Rice Analyzer 食味自动测定仪测定食味,食味以分值表示,以日本经久不衰的优质品种“越光”为 100 分。该食味分析仪在日本广泛用于粳稻食味测定,比人工品尝重复性好。

1.2.2 稻米品质性状分析 参试材料的精米,用旋风式磨粉机(Udy, Fort Collins, Co., USA)磨成粉末,过 100 目筛,每个样品称取 3 g,置石英杯,用近红外分析仪(Fossy NIR Systems)扫描采集反射光谱,根据样品光谱特征,用已建立的模型^[15],分析稻米胶稠度、直链淀粉含量、糊化温度。分析后样品米粉供 RVA 测定。

1.2.3 利用黏度速测仪进行品质评价 用黏度速测仪 RVA (Rapid Visco Analyzer) 及 TCW (Thermal Cycle for Windows) 配套软件进行分析。测定按照 AACC(美国谷物化学家协会)规定(1995 61-02)要求^[9],含水量为 14.0 %时,样品量 3.00 g 精米粉,蒸馏水 25.00 mL。测定过程中,罐内温度变化如下:50 保持 1 min,以 12 /min 上升到 95 (3.75 min),95 保持 2.5 min,以后下降到 50 (3.75 min),50 保持 1.4 min。搅拌器起始 10 s 转动速度

为 960 r/min,之后维持在 160 r/min。黏滞值用“Rapid Visco Units”(RVU)作单位。RVA 特征值主要用最高黏度(Peak Viscosity, PKV)、热浆黏度(Hot Paste Viscosity, HPV)、冷胶黏度(Cool Paste Viscosity, CPV)、崩解值(Breakdown, BDV, 最高黏度-热浆黏度)、消减值(Setback, SBV, 冷胶黏度-最高黏度)等表示。

1.2.4 数据统计和分析 采用 STATISTICA for Windows 分析软件^[16],在简单相关回归分析基础上,建立胶稠度(GC)、直链淀粉含量(AC)与 RVA 特征值的 3D 曲面图,并进一步用分段线性回归方法(Piecewise liner regression with breakpoint),建立用 RVA 综合指标定量分析稻米蒸煮及食味品质的数学模型。

2 结果与分析

2.1 不同类型品种的 RVA 特征值差异

对 68 份粳稻、71 份籼稻及 5 份其他材料测定表明,不同品种 RVA 谱特征表现不尽相同(表 1 列出部分代表品种的数据),大致可分为糯稻型、低直链淀粉含量与中等直链淀粉含量型 3 种类型:大粒香糯与早香糯的 RVA 谱达到 PKV 所需时间短,随后谱线快速下降,冷却过程中谱线一直平稳。RVA 谱特征值表现为 BDV 较大、CPV 较小、SBV 为负值;低直链淀粉含量品种的 RVA 谱与糯稻有较强的相似性,但 CPV 比糯稻大而比自身的 PKV 小;中等直链淀粉含量型的 RVA 谱显著特征是 SBV 为正值,CPV 比自身的 PKV 高。

相似直链淀粉含量的 RVA 谱表现有差异,如中等直链淀粉含量型的优质稻中香 1 号、CPS 和 RD15 的 BDV 分别为 103.2 RVU、100.5 RVU 和 112.7 RVU,其 SBV 分别为 8.6 RVU、20.1 RVU、17.9 RVU;而中质品种湘 7 号与劣质品种汕优 10 号的 BDV 分别为 52.1 RVU、37.5 RVU,其 SBV 分别为 106.5 RVU、187.1 RVU;与劣质稻相比,优质品种明显表现 RVA 谱特征值 BDV 大而 SBV 小。

表 1 不同水稻品种理化特性和淀粉黏滞性主要参数

Table 1 Physicochemical properties and the major parameters of starch viscosity in different rice

类型 Type	品种 Cultivar	直链淀粉 AC (%)	胶稠度 GC (mm)	最高黏度 PKV	热浆黏度 HPV	崩解值 BDV	冷胶黏度 CPV	消减值 SBV	食味品质 Palatability quality
糯稻 Glutinous rice	早糯 Zaonuo	2.2	100	207.5	103.2	103.8	123.5	- 84.0	黏 Sticky
低 AC Low AC	嘉 948 Jia 948	12.7	83	181.3	83.8	145.3	97.5	- 36.0	黏 Sticky
中等 AC Medium AC	湘 7 Xiang 7	21.9	42	156.2	104.1	52.1	343.3	187.1	硬而糙 Hardy and rough
	RD15	20.0	90	220.4	107.7	112.7	238.3	17.9	软而不黏 Soft/ not sticky

Notes: AC = Amylose Content; GC = Gel Consistency; PKV = Peak Paste Viscosity; HPV = Hot Paste Viscosity; CPV = Cool Paste Viscosity; BDV = Breakdown Viscosity; SBV = SetBack Viscosity.

2.2 稻米蒸煮及食味品质与 RVA 特征值的相关分析

表 2 列出了 RVA 谱各特征值与 AC、GC、GT 及 PAL 的相关系数。胶稠度 GC 与最高粘度 PKV、崩解值 BDV 分别呈 0.751 和 0.710 的正相关(图 1-A, 图 1-C);而直链淀粉含量 AC 与 PKV、BDV 的相关系数分别为 -0.769 和 -0.748,达极显著负相关(图 1-B, 图 1-D)。GC、AC 与热浆粘度 HPV、冷胶粘度 CPV 及消减值 SBV 间的相关系数在 -0.541 ~ 0.611 之间,也均达极显著正相关或负相关。至于糊化温度则与 SBV 和 BDV 关系较密切,相关系数分别为 0.481

表 2 稻米蒸煮及食味品质性状与 RVA 谱特征值的相关分析

Table 2 Correlation between cooking and palatability quality characters and parameter of RVA profiles

蒸煮及食味品质 Cooking and palatability quality	最高粘度 PKV (RVU)	热浆粘度 HPV (RVU)	崩解值 BDV (RVU)	冷胶粘度 CPV (RVU)	消减值 SBV (RVU)
胶稠度 GC	0.751 **	0.600 **	0.710 **	0.611 **	-0.541 **
直链淀粉 AC	-0.769 **	-0.596 **	-0.748 **	-0.610 **	0.560 **
糊化温度 GT	-0.237 *	-0.005	-0.441 **	0.016	0.481 **
食味 PAL	0.289 *	0.174	0.340 *	0.182	-0.261 *

注: *5%显著水平; **1%显著水平。

Notes: * stands for the significant difference at 5% level; ** stands for the significant difference at 1% level.

和 0.441,达极显著水平;食味(Palatability, PAL)与单个 RVA 特征值相关程度较低,与 BDV 相关系数相对较大,为 0.340。以上初步分析表明 RVA 谱特征值能较好反映稻米的淀粉品质。

2.3 AC、GC 与 RVA 谱的 6 个特征值作三维立体图

从以上相关分析看出,AC、GC 与 RVA 谱的 6 个特征值相关最明显,以 AC、GC 与 RVA 特征值作三维立体图(图 2),进一步揭示了 AC、GC 与 RVA 谱各参数的关系。图 2-A 反映了 AC、GC 与崩解值 BDV 的关系,不难发现,BDV 值与 GC 几乎呈直线相关关系,BDV 对 GC 具有决定作用,当给出 BDV 一定值时,即可确定 GC 值不低于某一范围,并且这种决定关系随着 BDV 值增大而更加明显。图 2-B 反映 AC、GC 与最高粘度 PKV 的关系,表明 PKV 与 GC 具有与 BDV 相似的线性关系,PKV 对 GC 也具有决定作用,当给出 PKV 一定值时,也可确定 GC 值不低于某一范围。BDV、PKV 虽然与直链淀粉含量有很高的相关系数,但这 2 个 RVA 特征值对 AC 却没有完全的决定作用,从图 2-A 和图 2-B 可发现对 AC 相似的材料,该 2 个特征值的变幅很广,但在图形顶部,对直链淀粉有较大的决定作用,即高 BDV、BPV 材料具有较低直链淀粉含量。从图中还可发现,如果已知

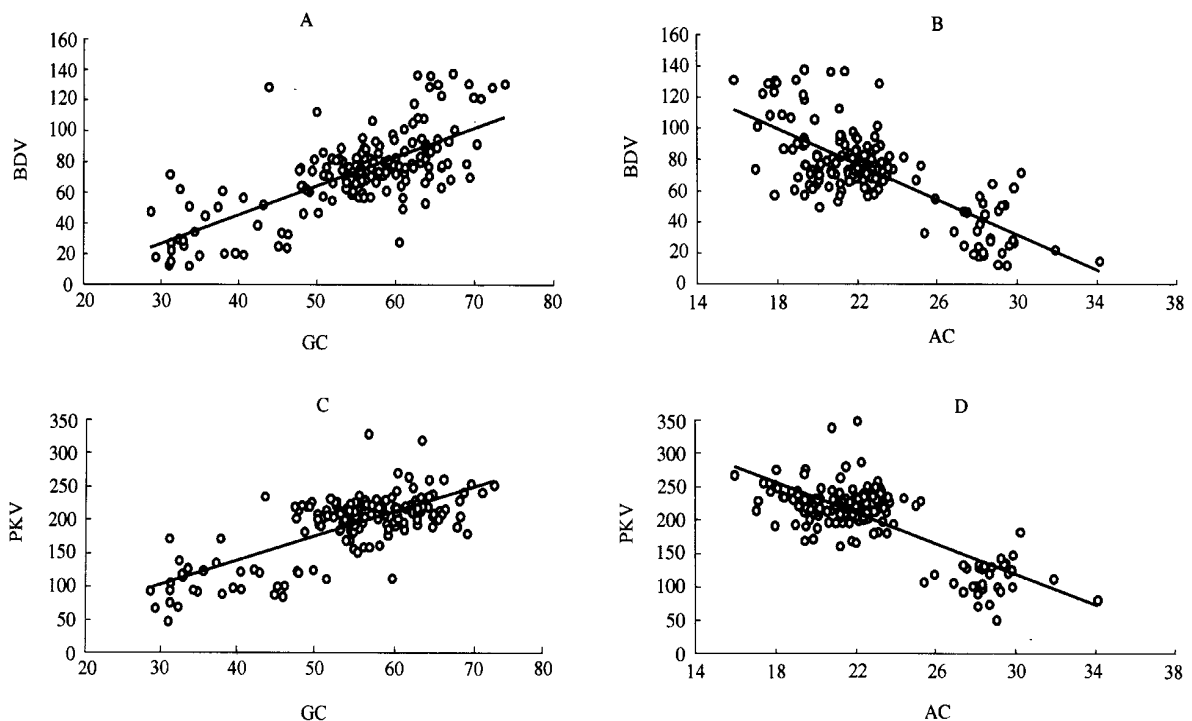


图 1 直链淀粉含量(AC)、胶稠度(GC)与 RVA 谱特征值间的相关图

Fig. 1 The correlation graph between AC, GC and the parameter of RVA profiles

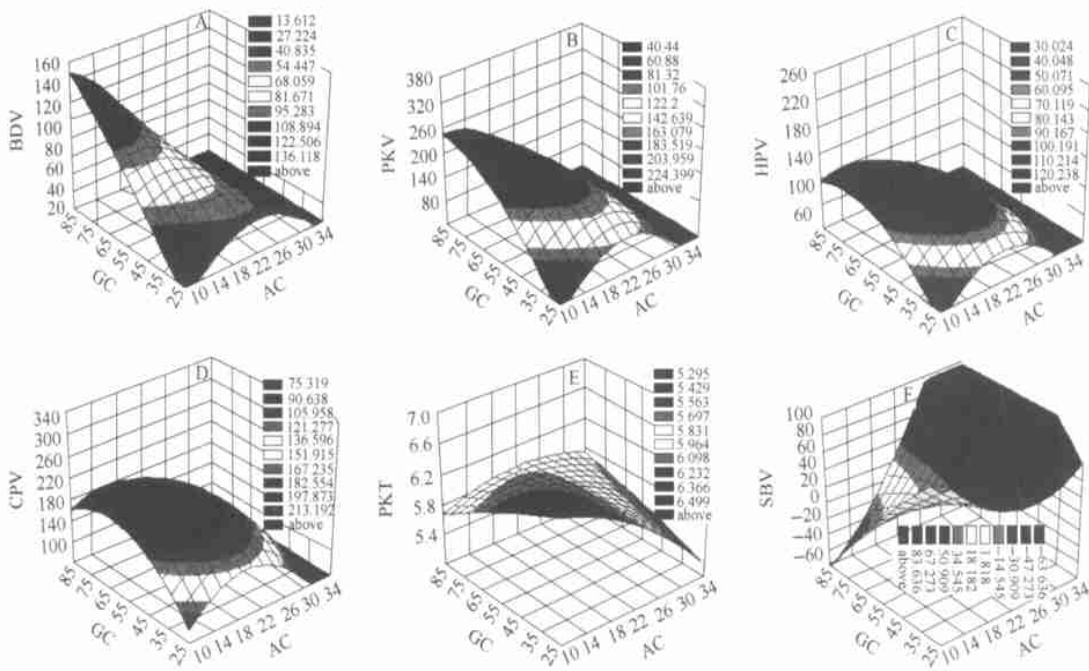


图2 直链淀粉含量(AC)、胶稠度(GC)与RVA谱特征值间的三维曲线图
Fig.2 The 3D graph between AC, GC and the parameter of RVA profiles

分析材料的AC值及BDV、PKV的测定结果,更能缩小对GC值的界定范围,提高对GC预测的精确度。

图2-C和图2-D分别为AC、GC与HPV和CPV的三维曲面图,2个图十分相似,均为椭圆顶曲面,反映出与AC、GC有一定关系,表现在相关系数上为-0.596~0.611,但根据HPV和CPV较难确定AC和GC的范围。图2-E最高粘度时间PKT与AC、GC关系也不明显。

图2-F反映消减值SBV与AC、GC的关系,图形底部向高胶稠度收敛,即低SBV材料具有高胶稠度和中低直链淀粉含量;中部发散,即中等SBV材料GC、AC变幅较大;图形上部向高直链淀粉含量倾斜,即SBV很高的材料直链淀粉含量高,胶稠度变幅相对较大。

综上所述,RVA对直链淀粉含量选择要结合BDV、HPV和SBV三个特征值综合分析,以确定AC的范围。

2.4 稻米蒸煮及食味品质与RVA综合指标的分段线性回归分析

以上分析定性说明RVA与蒸煮食用品质特别是AC、GC关系密切,用RVA特征值综合判断AC、GC是可行的。以下我们利用分段线性回归分析方法,研究利用RVA特征值建立定量分析模型以分析

稻米蒸煮及食味品质的可行性。分段线性回归分析表明,AC、GC与RVA特征值极显著相关,其相关系数可分别提高到0.919和0.905,决定系数分别为0.844和0.819,预测值与测定值的交叉验证平均相对误差(表3)和相关图表明,建立的定量分析模型具有很好的拟合效果(图3-1和图3-2)。此外,RVA测定GT和PAL也有较好效果,GT和PAL与RVA特征值综合相关系数分别为0.858和0.847,但定量分析模型预测的精确度不及对AC、GC预测的结果(图3-3,图3-4)。

表3 蒸煮及食味品质与RVA特征值分段线性回归分析和交叉验证结果

Table 3 Piecewise liner regression between cooking, palatability quality characters and RVA profiles results and quantitative model cross validation results

品质性状 Quality character	相关系数 <i>r</i> Correlation coefficient	决定系数 <i>R</i> ²	平均相对误差 Mean relative error (%)
AC vs RVA	0.919 **	0.844	3.57
GC vs RVA	0.905 **	0.819	3.91
GT vs RVA	0.858 **	0.737	5.76
PAL vs RVA	0.847 **	0.718	6.91

注: ** 1%显著水平。相对误差 = 绝对误差/测定值 × 100。
Notes: ** stands for the significant difference at 1% level. Relative error = absolute error/true value × 100, by cross validation.

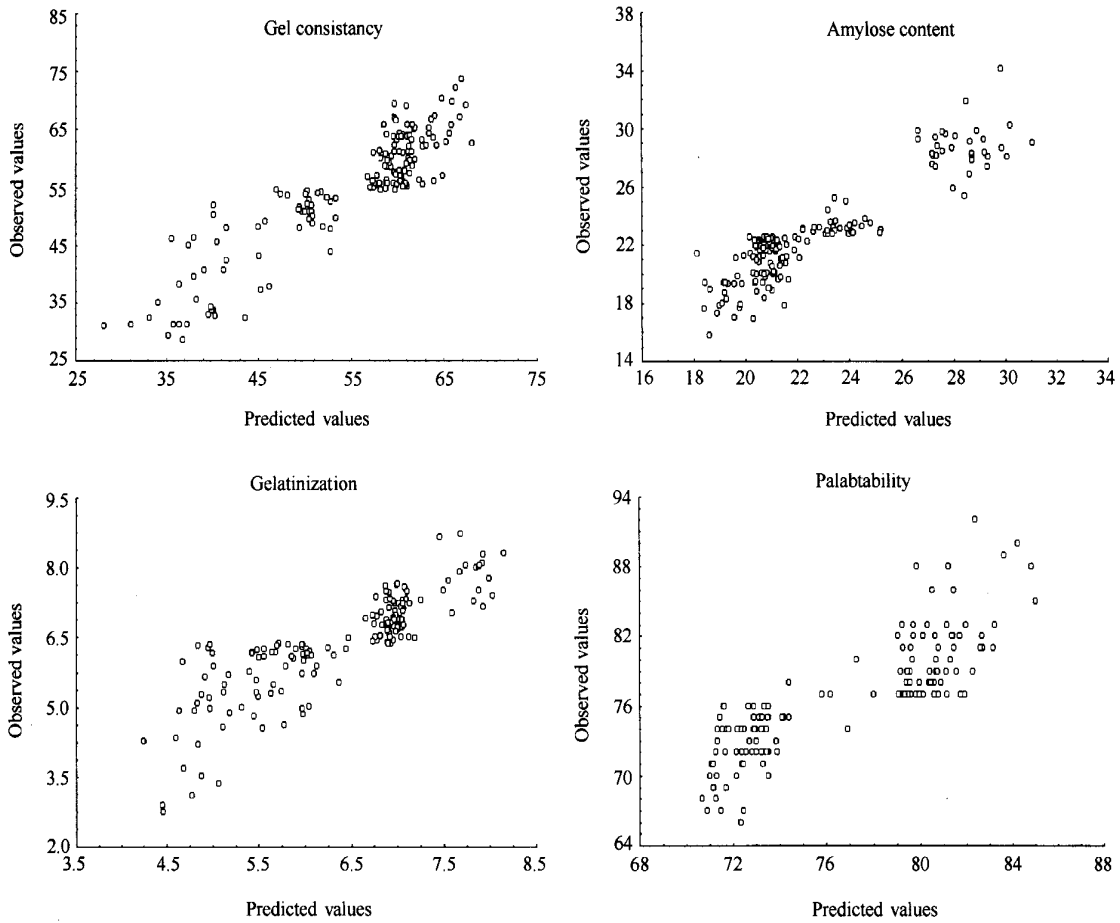


图3 利用 RVA 特征值预测稻米蒸煮及食味品质图

Fig. 3 Prediction of grain cooking and palatability quality character values by RVA profiles

3 讨论

利用黏度速测仪 RVA (Rapid Visco Analyzer) 进行淀粉黏滞特性测定已显示其优越性,每小时可完成 4~5 个样品测定,非常适合育种快速鉴定。

本研究对 71 份粳稻和 68 份籼稻 RVA 特征值与 AC、GC 进行相关分析,RVA 谱特征值与 AC、GC 均有较高相关系数,其中 PKV、BDV 与 AC 的相关系数分别达 -0.769 和 -0.748,均呈极显著负相关,与 GC 相关系数分别为 0.751 和 0.710,均呈极显著正相关。但通过分析 AC、GC 和 RVA 谱 6 个参数的 3D 曲面图,揭示出 BDV、PKV 特别是 BDV 与 GC 的关系最密切,接近直线相关。相对 BDV 或 PKV 的给定值,能界定 GC 的一定范围,特别是分析材料 AC 为已知的情况下,能进一步缩小 GC 界定的范围,提高对 GC 测定的精确度。因此,RVA 用于快速测定 GC 长度和开展 AC、GC 的协同选择十分有效。食味较好品种的 RVA 谱往往崩解值大多在 100 VU 以上,

而消减值小于 25 RVU^[8,17]。从图 2-A 和图 2-F 可以发现,BDV 大于 100 或消减值小于 25 的材料均为软胶稠度品种。已有研究表明直链淀粉含量与稻米黏度关系明显^[18],稻米淀粉黏滞性特征主要受 *Wx* 基因控制,此外还受到几个微效 QTLs 的影响^[19],进一步揭示了利用 RVA 特征值分析蒸煮及食味品质的理论基础。

本研究利用计算机自动优化,建立分段线性回归定量分析模型,在测定出 RVA 特征值后,就可以通过计算机分析软件自动计算出直链淀粉含量和胶稠度的预测值,对于稻米蒸煮及食味品质快速鉴定技术的开发和育种材料的辅助选择具有重要作用。AC、GC 与 RVA 特征值相关系数在 0.9 以上,RVA 预测值与分析值也比较接近,但相关系数还不够高,需要进一步通过增加新样品数量特别是中等直链淀粉含量样品(图 3-B 可见中等 AC 样品缺乏)的数量对模型进行进一步优化。

本研究采用了近红外分析和食味自动分析仪测

定技术,近红外分析技术定量分析稻米 AC、GC、GT 及蛋白质已证明是完全可行的,特别是对精米粉的测定效果已用于遗传研究^[20]和用于与 RVA 特征值关系研究^[21]。从近红外分析结果看,虽然本实验直链淀粉测定值偏高,但由于是在相同条件下测定,其含量消长趋势是相同的,因而可以支持本研究的结论。同理,对于糊化温度,近红外分析结果中也有些数据大于部颁标准的上限 7。但这也从另一个侧面提出现有糊化温度测定标准是否合理的问题,因为目前 GT 化学测定方法基本相同,以 1.7 mol/L KOH 在恒温下糊化 23~24 h,记载 GT 值,对于 GT 7 的材料没有问题,但对于在 23~24 h 以前就完全糊化的材料统一定义为 7 是否合理有待探讨。现有标准测定结果对遗传研究结论是否有影响和育种改良上是否需要筛选 GT>7 的材料还有待进一步研究。

食味自动分析仪测定结果与人工品尝结果也有一定差异,但仪器测定结果的一致性和重演性优于人工品尝结果。RQ1/PRA 食味评价在日本主要限于粳稻测定,我们用于籼稻测定与品尝结果的相关性不及粳稻(相关系数粳稻为 0.883,籼稻为 0.667,胡培松博士论文)。但与籼稻品尝结果也有比较高的相关系数,可用于大规模初筛。此外,可考虑利用多次籼稻人工品尝结果,对食味自动分析仪参数进行校正,以建立新的适合籼稻分析的模型,这样就可直接利用食味自动分析仪测定籼稻食味。

致谢:浙江大学农学系、核农所为本研究提供部分实验条件与技术指导,在此表示感谢。

References

- [1] China State Bureau of Quality and Technical Supervision (国家技术监督局). GB/T17891-1999, High Quality Paddy (优质稻谷). Beijing: Chinese Criteria Press, 1999. 1 - 5 (in Chinese)
- [2] Chinese Ministry of Agriculture (中华人民共和国农业部). NY122-86, High Quality Edible Rice (优质食用稻米). Beijing: Chinese Criteria Press, 1986. 1 - 4 (in Chinese)
- [3] China State Bureau of Quality and Technical Supervision (国家技术监督局). GB/T15682-1995, Rice-Determination of Cooking Quality Test (稻米蒸煮试验品质评定). Beijing: Chinese Criteria Press, 1995. 1 - 5 (in Chinese)
- [4] Juliano B O. Rice Chemistry and Technology AACC, ST. Paul, MN, 1985. 443 - 524
- [5] Williams V R, Wu W T, Tsai H Y, Bates H G. Varietal differences in amylose content of rice starch. *J Agri Food Chem*, 1958, **8**: 47 - 48
- [6] Huang F-S (黄发松), Sun Z-X (孙宗修), Hu P-S (胡培松), Tang S-Q (唐绍清). Present situations and prospects for the research on rice grain quality forming. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1998, **12** (3): 172 - 176
- [7] Juliano B O. Rice quality screening with the Rapid Visco Analyser. In: Walker C E, Hazelton J L ed. Applications of the Rapid Visco Analyser. Sydney: Newport Scientific, 1996. 19 - 24
- [8] Reddy K R, Subramanian R, Ali S Z, Bhattacharya K R. Viscoelastic properties of rice flour pastes and their relationship to amylose content and rice quality. *Cereal Chem*, 1994, **71**: 548 - 552
- [9] America Association of Cereal Chemists (AACC). AACC Approved Methods of the AACC, 9th ed. Method (61-02) for RVA. The Association, ST. Paul MN, 1995
- [10] China State Bureau of Quality and Technical Supervision (国家技术监督局). GB/T14490-1995, Method for Determination of Cereal and Starch Gelatinization Properties Using a Viscograph (谷物及淀粉糊化测定法——黏度仪法). Beijing: Chinese Criteria Press, 1993. 1 - 5 (in Chinese)
- [11] Cheng F-M (程方民), Zhong L-J (钟连进), Shu Q-Y (舒庆尧), Huang H-H (黄华宏), Shi C-H (石春海), Wu P (吴平). Studies on the cooking and eating quality properties in chalky milled grain of early indica rice. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2002, **28** (3): 363 - 368
- [12] Wu D-X (吴殿星), Shu Q-Y (舒庆尧), Xia Y-W (夏英武). Endosperm appearance marker and physical/chemical indicator of RVA profile combined-assisted selection for the improvement of eating quality of early indica rice. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 2002, **16** (1): 80 - 82
- [13] Wu D-X (吴殿星), Shu Q-Y (舒庆尧), Xia Y-W (夏英武). Rapid identification of starch viscosity property of early indica rice varieties with different apparent amylose content by RVA profile. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 2001, **15** (1): 57 - 59
- [14] Wu D-X (吴殿星), Shu Q-Y (舒庆尧), Xia Y-W (夏英武). Assisted-selection for early indica rice with good eating quality by RVA profile. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2001, **27** (2): 165 - 172
- [15] Wu J-G, Shi C-H, Zhang X-M. Estimating the amino acid composition in milled rice by near-infrared reflectance spectroscopy. *Field Crop Research*, 2002, **75** (1): 1 - 7
- [16] StatSoft, Inc. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, USA, 1995
- [17] Shu Q-Y (舒庆尧), Wu D-X (吴殿星), Xia Y-W (夏英武), Gao M-W (高明尉), Anna McClung. Relationship between RVA profile character and quality in *Oryza sativa* L. *Acta Agric Sin* (中国农业科学), 1998, **31** (3): 25 - 29
- [18] Zhu Q-S (朱庆森), Du Y (杜永), Wang Z-Q (王志琴), Lang Y-Z (郎有忠), Tang S-Z (汤述翥), Yang J-C (杨建昌), Zhang Z-J (张祖建). Relationship between amylose content and edible stickiness and softness of cooked rice of hybrid. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2001, **27** (3): 377 - 382
- [19] Bao J-S (包劲松), He P (何平), Xia Y-W (夏英武), Chen Y (陈英), Zhu L-H (朱立煌). Rice starch RVA profiles mainly controlled by Wx gene. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 1999, **44** (22): 2 047 - 2 051
- [20] Shi C-H, Zhu J, Yu Y-G. Genotype × environment interaction effect and genotypic correlation for nutrient quality traits of indica rice (*Oryza sativa*). *Indian J Agric Sci*, 2000, **70** (2): 85 - 89
- [21] Bao J-S, Cai Y-Z, Corke H. Prediction of rice starch quality parameters by near-infrared reflectance spectroscopy. *J Food Sci*, 2001, **66** (7): 937 - 939