

岳红亮,张梦龙,程新杰,等. RVA 谱特征值的影响因素及其与稻米食味品质的关系综述[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):16–22.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2023.01.003

# RVA 谱特征值的影响因素及其与稻米食味品质的关系综述

岳红亮,张梦龙,程新杰,刘 凯,宛柏杰,朱静雯,唐红生,孙明法

(江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224000)

**摘要:**食味品质是稻米的重要性状,快速黏度分析仪(rapid visco analyzer,RVA)谱对评价稻米食味品质以及指导改善稻米品质具有重要的意义。相对于直链淀粉含量、蛋白含量等指标,RVA 谱特征值的测定更加简便、准确。RVA 谱能够区分直链淀粉含量相似而食味品质不同的水稻品种,在一定范围内,直链淀粉含量的升高会减小 PKV 和 BDV,增大 HPV、CPV、CSV、SBV、PeT 等特征值,PKV、BDV 和 SBV 与支链淀粉中短链部分所占的比例、支链淀粉的平均链长等都具有显著相关性;蛋白含量增加,会显著降低 PKV、HPV、CPV、BDV、SBV 等特征值,使 RVA 谱曲线呈现整体下降趋势;当人为降低米粉中蛋白含量时也会造成 RVA 谱曲线整体下降,且这种现象在直链淀粉含量越低时情况越显著。播期对 RVA 谱影响显著,同一品种在适宜种植区域内均以早播为佳,收获期对 RVA 的影响因品种和种植环境的不同差异较大。以浅水湿润灌溉、节水灌溉和间歇灌溉的方式能够提高稻米品质,水稻进入抽穗期早施入穗肥和适当增施镁肥也有利于获得较高的食味品质。RVA 谱特征值与米饭食味值相关性显著,具有较高 BDV、PKV 以及较低 SBV、CSV、CPV 的水稻品种米饭食味值较好。

**关键词:**水稻;快速黏度分析仪;QTL 定位;食味品质

**中图分类号:**S511.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2023)01–0016–07

水稻是我国重要的粮食作物,播种面积常年稳定在 3 000 万  $\text{hm}^2$ ,占粮食作物总播种面积的 25% 以上。随着我国种植产业结构的调整,“优质”已成为水稻育种的首要目标,快速黏度分析仪(rapid visco analyzer,RVA)是目前水稻淀粉品质测定中重要的仪器之一。RVA 最初是为了快速判定小麦穗发芽导致品质下降而开发的加热搅拌黏度仪,因其可以用少量的样品简便且迅速地测定黏度,1992 年田缘胜洋应用 RVA 对稻米米粉样品进行黏度测定及其测定条件的分析,发现 RVA 可以用来测定稻米的黏滞性<sup>[1]</sup>。淀粉黏滞性谱别称 RVA 谱,是指将一定质量的米粉加入到一定体积的水中并搅拌均匀,搅拌中的米粉浆在快速黏度分析仪中经过一定时间的加热和冷却处理,淀粉黏滞性发生一系列变化而形成的特征曲线。RVA 谱模拟了米饭的蒸煮过

程,揭示了稻米淀粉在蒸煮过程中黏性随温度和时间变化规律。本试验介绍了 RVA 的测定步骤及原理,RVA 谱特征值 QTL 的定位研究、影响稻米 RVA 谱特征值的因素以及 RVA 谱特征值与稻米品质的关系,探讨了 RVA 谱特征值对稻米食味品质的评价效果,以期为稻米品质的深入研究提供参考,并为 RVA 谱的进一步推广应用奠定基础。

## 1 RVA 的测定步骤及原理

RVA 谱的测定可以分为 6 个阶段:(1)向称有 3.0 g 待测米粉样品的测试罐中加入 25.0 mL 去离子水,用桨叶将水和米粉搅拌均匀;(2)RVA 以 960 r/min 快速搅拌 10 s,然后降至 160 r/min 保持整个过程;(3)RVA 将米粉浆从 50 ℃ 均匀加热至 95 ℃;(4)在 95 ℃ 下保持 2.5 min;(5)RVA 将米粉浆从 95 ℃ 均匀降至 50 ℃;(6)RVA 在 50 ℃ 下保温 1.4 min。整个测定程序时间为 12.5 min(表 1)。

在 RVA 谱黏度曲线测定过程中,当淀粉与水搅拌混合时,水会进入淀粉内部,并与蛋白质等成分结合,但在温度低于 50 ℃ 时,淀粉还未开始糊化,淀粉颗粒的膨胀很小,淀粉黏性基本没有变化。随着温度的升高,首先支链淀粉开始糊化,淀粉黏度达

收稿日期:2022–02–10

基金项目:江苏省种业振兴揭榜挂帅项目[编号:JBGS(2021)041];

江苏省科技支撑计划(编号:BE2019375–2)。

作者简介:岳红亮(1993—),男,河南周口人,硕士,研究实习员,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail:923535193@qq.com。

通信作者:孙明法,研究员,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail:smf559@163.com。

表 1 快速黏度分析仪测定程序

测试时间	参数	设定值
0:00:00	温度(℃)	50
0:00:00	转速(r/min)	960
0:00:10	转速(r/min)	160
0:01:00	温度(℃)	50
0:04:48	温度(℃)	95
0:07:18	温度(℃)	95
0:11:06	温度(℃)	50
0:12:30	结束	

到峰值黏度后,由于淀粉颗粒水合物膨胀破裂导致直链淀粉和分子量较小的支链淀粉浸出,淀粉黏度下降。持续高温使得淀粉颗粒的结晶区域融化,更多的淀粉颗粒破裂,黏度进一步降低。随着温度的降低,淀粉凝胶冷却回生淀粉颗粒重新排列,形成晶体化的结构,淀粉黏度再次增加。在这一阶段,

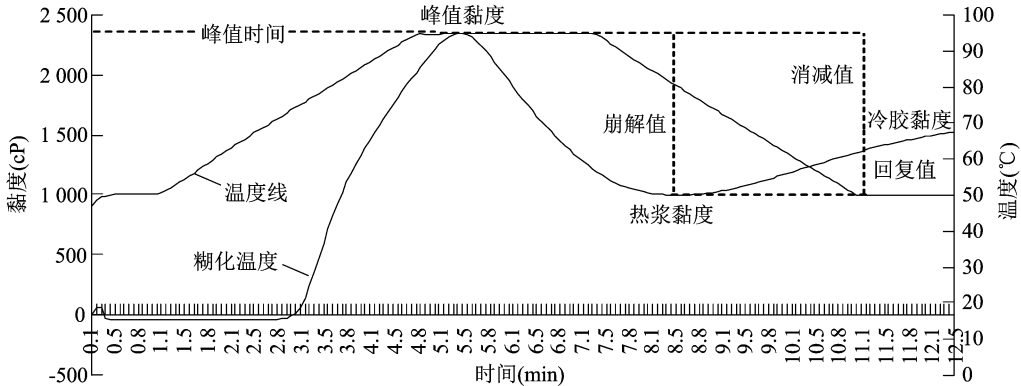


图1 淀粉黏滞性谱

2 RVA 谱特征值 QTL 的定位研究

RVA 谱特征值是由多基因控制的数量性状,且受基因和环境共同作用,对其研究工作较复杂。Zhang 等通过构建染色体片段置换系群体,对表观直链淀粉含量相近的水稻群体和亲本进行研究,在第 2、第 5、第 7、第 8 号染色体上鉴定出 *qPKV2-1*、*qSBV2-1*、*qPKV5-1*、*qHPV5-1*、*qCPV5-1*、*qPKV7-1*、*qHPV7-1*、*qCPV7-1*、*qSBV7-1*、*qPKV8-1* 等 10 个稳定的 QTL,其贡献率范围为 - 95. 6% ~ 47. 1%<sup>[7]</sup>。Shar 等通过双单倍体群体在 3 个种植季节对 RVA 谱特征值的遗传位点进行分析,检测到 4 个稳定调控 CPV、CPV、SBV、PeT 的 QTL 均位于 RM6 775 ~ RM3 805 区间<sup>[8]</sup>。包劲松等构建了双单倍体群体及分子连锁图谱,发现稻米 RVA 谱特征值主要受 *Wx* 基因控制,且在第 1、第 5 号染色体上存

淀粉黏度与直链淀粉含量有关,较低的回复值表明直链淀粉含量较低<sup>[2-3]</sup>。

RVA 谱中可以得到的一级参数有峰值黏度 (peak viscosity, PKV)、热浆黏度 (hot viscosity, HPV)、冷胶黏度 (cool viscosity, CPV)、峰值时间 (peak time, PeT)、糊化温度 (pasting temperature, PaT) 以及由一级参数通过计算而来的崩解值 (breakdown viscosity, BDV)、消减值 (setback viscosity, SBV)、回复值 (consistency viscosity, CSV) 等,其计算方式分别为  $BDV = PKV - HPV$ 、 $SBV = CPV - PKV$ 、 $CSV = CPV - HPV$ ,黏度值以 cP (centi poise) 为单位 (图 1)。其中峰值黏度又称为最高黏度,热浆黏度又称为最低黏度,冷胶黏度又称为最终黏度,糊化温度又称为起浆温度、成糊温度<sup>[4]</sup>,崩解值又称为衰减值,回复值又称为回冷值、回生值<sup>[5-6]</sup>。

在共同调节 BDV 和 SBV 的微效 QTL,在第 12 号染色体上存在调控 PKV 和 BDV 的微效 QTL<sup>[9]</sup>。张巧凤等利用 F2 群体对 RVA 谱特征值进行遗传分析,发现与包劲松等的结论<sup>[9]</sup> 相似,并发现 PeT 可能由 2 对主基因控制,且还受微效多基因的影响;此外,通过构建重组自交系还检测到位于第 2 号染色体 RM341 ~ RM475 标记之间的 *qHPV2*、*qCSV2* 和位于 RM573 ~ RM250 标记之间的 *qCPV2*;在第 2 号染色体上与支链淀粉合成有关的基因 *Sbe3* 和 *SssII-2* 与 RVA 谱特征值有密切关系<sup>[10]</sup>。张杰等通过回交重组自交系群体在定位区间 C470 - R1 944、G264 - G177 和 R2 829 - R2 401 发现 4 个尚未报道过的基因位点,分别是 *qCPV1*、*qBDV4*、*qPKV7*、*qHPV7*<sup>[11]</sup>。Yao 等利用重组自交系群体,在第 2、第 6、第 7、第 11 号染色体上检测到分别位于 RM7 581 - STS、RM190 ~ RM217、RM11 ~ RM1 279 和 RM2 064 ~

RM144 区间的 4 个含有稳定表达的 QTL 的多效性区域<sup>[12]</sup>。

### 3 影响水稻 RVA 谱特征值的因素

#### 3.1 淀粉对 RVA 谱特征值的影响

淀粉作为稻米最主要的成分,以淀粉粒的形式存在于细胞中,在含水量为 14% 的精米中,淀粉含量占总质量的 75% 以上<sup>[13]</sup>。根据淀粉的分子结构不同,可将淀粉分为直链淀粉和支链淀粉 2 类。岳红亮等对江苏省内粳稻品种进行研究,发现直链淀粉含量 (amylose content, AC) 较低的粳稻品种 PKV 和 BDV 较高,HPV、SBV 和 PeT 较低<sup>[14]</sup>。赵春芳等对江苏省普通粳稻与东北粳稻 RVA 谱进行比较,发现两者 RVA 曲线相似,CPV 近似或略高于 PKV,而江苏省半糯粳稻的 RVA 曲线与前两者有显著差异,具体表现为 PeT 提前,HPV 较低,CPV 显著低于 PKV,因而具有较高的 BDV 和较低的 SBV<sup>[15]</sup>。朱艳菊对 415 份按不同 AC 值分类的水稻品种进行 RVA 谱特征值比较,发现 HPV、CPV、CSV 随 AC 值的升高而增大,且 AC 值在 15% ~ 22% 时相关性最好,PKV、BDV 随 AC 值先增大后减小,SBV 随 AC 值先减小后增大<sup>[16]</sup>。张蓉对仅表观直链淀粉含量不同的水稻株系 RVA 谱进行研究,发现随着表观直链淀粉含量的升高,RVA 谱的 PKV、HPV、CPV 也逐渐升高,PeT 延迟;对糯 - 极低 (1.20% ~ 3.29%)、低 (13.13% ~ 13.91%)、中 (21.39% ~ 22.84%)、高 (25.26% ~ 25.93%) 4 组表观直链淀粉含量相似的水稻品种 RVA 谱进行比较,发现具有相近表观直链淀粉含量的水稻品种,其 RVA 谱也有较大差异<sup>[17]</sup>。可见,在一定范围内直链淀粉含量的升高会减小 PKV 和 BDV,增大 HPV、CPV、CSV、SBV、PeT 等特征值,但直链淀粉含量差异还不足以完全解释淀粉对 RVA 谱特征值的影响。

赵春芳等对支链淀粉结构与 RVA 谱特征值进行研究,发现南粳系列水稻品种支链淀粉短链 A 链 [ $6 \leq \text{支链淀粉链长聚合度} (\text{DP}) \leq 12$ ] 含量与 HPV、CPV、CSV 呈显著负相关,支链淀粉 B1 链 ( $13 \leq \text{DP} \leq 24$ ) 含量与 HPV、CPV 呈显著正相关<sup>[18]</sup>。李丁鲁等对长江下游地区部分优质粳稻品种与越光稻米支链淀粉结构进行比较,发现支链淀粉的短链部分 ( $5 \leq \text{DP} \leq 12$ ) 的占比和支链淀粉短/长链 [Fa ( $5 \leq \text{DP} \leq 12$ )/Fb3 ( $37 \leq \text{DP} \leq 58$ )] 与 PKV 和 BDV 均呈显著正相关<sup>[19]</sup>;蔡一霞等发现长链部分 ( $44 \leq$

$\text{DP} \leq 47$  和  $\text{DP} > 100$ ) 与 PKV 和 BDV 呈极显著负相关<sup>[20]</sup>。赵营等认为,支链淀粉含长链的占比越高,淀粉粒越不易充分糊化,PKV 和 BDV 将降低,影响米饭口感;支链淀粉中短链含量高,利于淀粉粒的糊化,易形成较高的 PKV 和 BDV,使米饭的口感较好<sup>[21]</sup>。对不同类型水稻品种按 AC 值分组后进行研究,发现支链淀粉结构主要与淀粉的起始成糊温度和相对结晶度相关,与淀粉 RVA 谱特征值关系不密切<sup>[22]</sup>。周慧颖等认为,在低 AC 值水稻品种中,支链淀粉的平均链长、平均外链长与起始糊化温度、最高糊化温度、终结糊化温度、SBV 呈正相关,与 PKV、BDV 呈负相关;支链淀粉 A : B 值 (每条 B 链上所具有的 A 链数量) 与起始糊化温度、SBV 呈负相关,与 PKV、BDV 呈正相关<sup>[23]</sup>。张超等认为,在直链淀粉含量相同的前提下,支链淀粉链长越长,分支结构越多,平均链长越长,双螺旋结构越多,结晶度、PaT 越高,BDV 越小<sup>[24]</sup>。可见,支链淀粉中短链部分的含量越高越利于淀粉的糊化,PKV 和 BDV 值也会越高。

#### 3.2 蛋白对 RVA 谱特征值的影响

陈能等认为,蛋白是稻米中的第二大成分,稻米中的大部分蛋白以贮藏性蛋白形式存在,一般占糙米干质量的 8% ~ 11%<sup>[25]</sup>。张启莉等认为,按溶解性可将其分为碱溶性谷蛋白、醇溶性醇溶蛋白、盐溶性球蛋白、水溶性清蛋白 (别称白蛋白),谷蛋白占贮藏蛋白的 75% ~ 90%,醇溶蛋白、球蛋白、清蛋白所占比例分别为 1% ~ 5%、2% ~ 10%、2% ~ 5%<sup>[26]</sup>。

石吕等认为,蛋白含量高的米饭质地较硬,口感较差,还会对 RVA 谱特征值产生显著影响<sup>[27]</sup>。谢新华等认为,随着稻米种蛋白含量的增加,RVA 谱曲线呈整体下降趋势,RVA 谱的 PKV、HPV、BDV、CPV、CSV、SBV 随蛋白含量的增加呈显著或极显著降低<sup>[28]</sup>。郭涛等认为,随着稻米蛋白含量增加,淀粉 RVA 谱曲线也呈整体下降趋势,不同的是只有 PKV、HPV、CPV 均呈下降趋势,BDV 和 SBV 先升高后降低,PaT 和 PeT 无显著变化<sup>[29]</sup>。谢新华等通过中性蛋白酶与超声波结合去除糙米中蛋白,去除蛋白质后的米粉 RVA 谱与未去除蛋白的相比,RVA 谱曲线整体下降,糙米中的蛋白使 RVA 特征值的 PKV、HPV、CPV 等值升高,去除蛋白后 RVA 谱曲线上升段的斜率降低<sup>[30]</sup>。谢黎虹等在米粉中分别添加一定量的二硫苏糖醇和蛋白酶,发现 PKV、

HPV、CPV 有不同程度的降低,并认为蛋白通过水合作用和二硫键形成的蛋白网络结构改变了淀粉的糊化特性<sup>[31]</sup>。可见,在一定范围内蛋白含量增加会显著降低 PKV、HPV、CPV、BDV、SBV 等特征值,造成淀粉 RVA 谱曲线整体下降。当人为去除米粉中的蛋白、降低米粉中蛋白含量时也会造成 RVA 谱曲线整体下降,且这种现象在直链淀粉含量越低时情况越显著。

张欣等对水稻 4 种蛋白组分进行分离并与 RVA 特征谱进行分析,发现醇溶蛋白含量和总蛋白含量与 PKV、BDV 呈极显著负相关,与 SBV 呈显著和极显著正相关;谷蛋白含量仅与 SBV 呈显著负相关,谷醇比与 PKV、BDV 呈极显著正相关,与 SBV 呈显著负相关<sup>[32]</sup>。周显青等对籼糯米逐步去除蛋白,发现糯米粉的 PKV 和 BDV 能够显著降低,其中去除谷蛋白影响最大,其次是球蛋白、醇溶蛋白;去除球蛋白能显著降低米粉的 CSV;去除球蛋白和谷蛋白后,米粉 PeT 延长、PaT 升高<sup>[33]</sup>。陈书强等认为,粳稻不同粒位间籽粒的总蛋白及其 4 种组分含量与 PKV、HPV、BDV、SBV 的相关性显著<sup>[34]</sup>。吴洪恺等通过对谷蛋白相对于醇溶蛋白含量差异较大的 2 种基因型 LGCLGC(谷蛋白含量较醇溶蛋白低)和基因型 lgclgc(谷蛋白含量较醇溶蛋白高)稻米的 RVA 谱特征值进行研究,发现 LGCLGC 型稻米的总蛋白含量与 BDV 和 SBV 存在显著的负相关和正相关;lgclgc 型稻米的总蛋白含量与 SBV 和 CSV 都存在极显著的负相关,且 LGCLGC 型稻米 RVA 谱特征值的 BDV 和 CSV 分别显著和极显著大于 lgclgc 型<sup>[35]</sup>。郭涛等对低谷蛋白品种圣稻 LG03 和其背景亲本圣稻 735 进行研究,发现谷蛋白含量降低会导致 PKV、HPV、CPV、BDV、PaT 降低和 PeT 减少,CSV 和 SBV 增加<sup>[36]</sup>。因此,研究蛋白对 RVA 谱特征值的影响不仅需要从稻米总蛋白含量上进行分析,还要对 4 种蛋白组含量及各组分之间的比例进行研究。

### 3.3 耕作措施及环境对 RVA 谱特征值的影响

稻米食味品质是一个受自身遗传因素和生长环境等多因素控制的复杂性状。同一品种的 RVA 谱特征值在不同环境和栽培条件下均有一定的差异<sup>[37-38]</sup>。因此,研究 RVA 谱特征值在不同种植条件下的性状表现对改善稻米品质具有重要意义。对半糯粳稻进行地点和播期试验,发现除 PKV 外,HPV、CPV、BDV、SBV、CSV、PeT 等在不同地点间的差异均达到极显著水平;PKV、HPV、CPV、CSV、PeT

与播期相关性显著;推迟播种会导致粳稻 PKV、HPV、CPV、PeT、CSV 上升<sup>[39]</sup>。对不同播期和种植地点的南粳 46 RVA 谱特征值进行研究,发现随着播期的推迟,PKV、HPV、CPV、CSV、PaT 呈先降后升趋势,BDV 先升后降,PeT 无明显变化规律。随着纬度的降低,PKV、HPV、BDV、CPV 总体上均呈先降后升的变化趋势,SBV 和 PeT 降低,PaT 升高<sup>[40]</sup>。对不同生态类型的粳稻进行播期与种植地点研究,发现品种对 RVA 谱特征值的影响最大,不同种植环境下 RVA 谱特性差异明显,CPV 和 CSV 呈现北高南低的趋势,SBV 随纬度的升高呈增加趋势。PaT 和 PeT 在不同纬度间差异较小。随着播期的推迟,PKV、HPV、CPV、PeT 呈减小趋势,而 SBV 和 CSV 呈增加趋势,BDV 呈先升后降的趋势,PaT 表现为先降后升的趋势。RVA 谱特征值在不同种植地点随播期的变化趋势基本一致,且在江苏省北部地区受播期的影响较显著,同一品种在适宜种植区域内均以早播为佳<sup>[41]</sup>。收获期对 RVA 的影响因品种不同和种植环境不同有较大差异<sup>[42-44]</sup>。

徐正浩等对水稻不同灌溉方式进行研究,发现水胁迫环境下会降低稻米的 PKV、HPV、CPV、BDV,增加 SBV<sup>[45]</sup>。刘立军等认为,水稻结实期轻度干-湿交替处理可以提高稻米的 BDV,降低 SBV,而重度干-湿交替处理结果<sup>[46]</sup>则相反。相较于深水和浅水的供水方式,湿润灌溉会获得较高的 PKV 和 HPV<sup>[47]</sup>,与淹水管理和旱栽管理相比,节水灌溉和间歇灌溉方式有利于获得更高的 PKV、HPV、BDV,降低 CPV、SBV、CSV,获得较优的稻米品质<sup>[48]</sup>。对水稻氮肥施肥期进行研究,发现水稻进入抽穗期尽早施入穗肥,可以获得更高的 BDV 和较低的 SBV<sup>[49]</sup>。从拔节期到齐穗期,增施镁肥可以显著降低稻米的 CPV、CSV、SBV,增加 PKV、HPV、BDV;然而穗肥时期镁锌配施会降低 PKV、HPV、BDV,提高 SBV 和 PaT,导致食味品质变差<sup>[50-51]</sup>。与常规栽培处理相比,生物菌肥的施用能在不改变稻米直链淀粉含量和蛋白含量的情况下显著提高稻米的 PKV、BDV,降低 SBV<sup>[52]</sup>。遮阴避光处理对水稻淀粉糊特性有显著影响,且在生育中后期的影响大于生育前期,但不同品种对遮阴的反应也有明显差异<sup>[53]</sup>。随着海拔高度的升高,稻米的 PKV、CSV、PaT 会降低,灌浆结实期间日均温度降低和日照时数减少导致 PKV、HPV、CPV 显著下降;秧龄和移栽方式发生改变,RVA 谱特性也会发生变化,PKV 和 CPV 均随秧

龄的增加而升高,双苗手插处理的 PKV、HPV、CPV 均高于单苗优化定抛处理<sup>[54]</sup>。与常规耕作方式相比,有机耕作能提高稻米 PKV、CSV、PaT 等主要糊化特性<sup>[55]</sup>。

### 3.4 其他因素对 RVA 谱特征值的影响

除了稻米自身所含的淀粉、蛋白和农田耕作管理等因素,稻米中的脂肪含量以及稻米的储藏条件、蒸煮工艺等对 RVA 谱特征值也有很大影响。在不同储藏条件下,储藏温度、储藏时间和稻米含水量对稻米 RVA 特征值均有显著影响,其中温度为主要因素,随着储藏时间的延长,稻米的 PKV 和 BDV 在储藏期先升高后降低,高温(30、35 ℃)储藏条件下,稻米的 PKV 和 BDV 在后期降低更快;CPV、CSV、SBV、PaT 在整个储藏期内呈增加趋势,高温储藏下 CSV、SBV、PaT 的变化明显大于其他储藏温度(25、20、15 ℃)<sup>[56]</sup>。RVA 特征值在储藏 1~5 个月内变化较小,而 6~7 个月期间变化较大,籼稻类储藏过程中变化较大的特征值主要为 PKV、BDV、PeT,粳稻类为 HPV、CPV、CSV,而粳糯类为 PKV、BDV、CSV、PaT,大部分特征值变化差异达到显著或极显著水平;且不同类型稻谷在储藏期间 RVA 谱特征值发生明显差异的时间点不同,粳糯类水稻品种在储藏期间发生明显差异的时间点明显早于粳稻和籼稻类<sup>[57]</sup>。Wongsapin 等认为,PKV 和 CPV 可以作为模型参数来判断稻米的贮藏时间,且这种方法对糯米的预测结果更加准确<sup>[58]</sup>。因此,在稻米储存和保鲜过程中应对不同类型的水稻品种提供适宜的储藏条件,同时储藏时间不宜过长。吴洪恺等认为,稻米米粉经脱脂处理后 PKV 和 HPV 显著高于未脱脂米粉,说明米粉脂肪含量升高会降低米粉黏度<sup>[59]</sup>。对大米进行微波处理能够降低 PKV、HPV、CPV、CSV,且 PaT 和 SBV 均随着微波功率和处理时间的增加而升高;微波功率(400、640 W)和处理时间(60、90 s)对 RVA 特征值均有显著影响,800 W 的微波功率及 120 s 的微波时间影响达极显著水平,原因可能是微波处理对淀粉颗粒的结构和形态有修饰作用,使淀粉颗粒间空隙变大,大米在蒸煮时可渗入更多水分,蒸煮品质得到改善<sup>[60]</sup>。

## 4 RVA 谱特征值与食味品质的关系

RVA 谱模拟了米饭的蒸煮过程,将加热过程中糊状米粉黏性随温度和时间变化以特征值的形式反映出来。因此,稻米 RVA 谱特征值与稻米食味

品质必然有很大相关性<sup>[61]</sup>。

目前评价稻米食味品质的指标除 RVA 谱特征值外,主要有直链淀粉含量、蛋白含量、胶稠度和食味值,其中食味值又分为米饭食味值和米粒食味值。马会珍等认为,不仅 RVA 谱特征值之间相关性显著,且 RVA 谱特征值与直链淀粉含量、蛋白含量、米饭食味值相关性也显著<sup>[62-68]</sup>。其中多数研究结果显示,直链淀粉含量与 HPV、CPV、SBV、CSV、PeT、PaT 等显著或极显著正相关,与 BDV 显著或极显著负相关,与 PKV 的相关性在不同的研究中结果不一致;蛋白含量与 CPV、CSV、PeT、PaT 显著或极显著正相关,与 BDV 显著或极显著负相关,与 PKV、HPV、SBV 的相关性在不同的研究中结果不一致;米饭食味值与 BDV、PKV 显著或极显著正相关,与 SBV、CSV、CPV、PeT、PaT 显著或极显著负相关<sup>[62-68]</sup>,与 HPV 的相关性在不同的研究中结果不一致,这些差异可能是由不同研究者所采用的品种类型不同以及是否进行分组分析造成的。舒庆尧等认为,食味较好的水稻品种大多表现为 BDV > 100 RVU,而 SBV < 25 RVU,且多数为负值;食味较差的品种大多表现为 BDV > 35 RVU,而 SBV > 80 RVU<sup>[69]</sup>。Allahgholipour 等认为,除 BDV 和 SBV 外,PKV 和 CSV 和对食味品质有较好的评价效果<sup>[70-71]</sup>。Champagne 等认为,感官评价中米饭内聚性、黏性、适口性和质构分析仪中的黏附性与 RVA 谱特征值有较高的相关性,其中 BDV 与米饭黏性的相关性最强<sup>[72]</sup>。因此,可以通过 CPV、CSV、PeT、PaT、BDV 等判断稻米直链淀粉含量和蛋白含量,通过 BDV、PKV 以及 SBV、CSV、CPV、PeT、PaT 等鉴定米饭食味值。

## 5 结论与展望

黏度特性是稻米食味品质的重要性状,在稻米食味品鉴活动中,黏度特性作为评价稻米食味品质等级的重要参考指标<sup>[73-74]</sup>,对优质稻米的选育和品鉴都具有十分重要的指导意义。RVA 特征值是反映稻米黏度特性的重要参数指标,近年来随着对稻米食味品质研究的深入,对 RVA 特征值影响因素的研究以及调控 RVA 特征值主效和微效基因的定位工作都取得了较好的进展,RVA 特征值与米饭食味值的相关性也得到较明确的研究结论。这些都为 RVA 特征值在稻米品质鉴定及育种中的应用提供了更加准确的理论依据,并为 RVA 谱的进一步推广

应用奠定了基础。

随着分子技术的不断发展和完善,分子标记辅助选择技术也越来越多地应用在水稻黏度基因鉴定和水稻育种的研究中。应当充分利用黏度特性对稻米黏性基因进行挖掘,明确不同基因位点与 RVA 谱特征值的相关性,通过分子标记辅助选择快速准确地培育出携带不同主效和微效基因的种质资源,加速种质资源的创新,通过与基因紧密连锁的标记进行辅助选择,提高育种的准确性,缩短育种年限,加速品质育种进程。

#### 参考文献:

- [1] 田縁勝洋. 米粉のアミログラム簡易測定法としてのラピッドビスコアナライザー(RVA)の適用性[J]. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報,1992(33):58-59.
- [2] Cozzolino D, Degner S, Eglinton J. The use of the rapid visco analyser (RVA) to sequentially study starch properties in commercial malting barley (*Hordeum vulgare*) [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2016, 10(3):474-479.
- [3] Balet S, Guelpa A, Fox G, et al. Rapid visco analyser (RVA) as a tool for measuring starch - related physiochemical properties in cereals; a review [J]. Food Analytical Methods, 2019, 12(10):2344-2360.
- [4] Bao J S. Accurate measurement of pasting temperature by the rapid visco - analyser; a case study using rice flour [J]. Rice Science, 2008, 15(1):69-72.
- [5] 水稻米粉糊化特性测定 快速黏度分析法:NY/T 1753—2009 [S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [6] 大米及米粉糊化特性测定 快速黏度仪法:GB/T 24852—2010 [S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [7] Zhang C Q, Hu B, Zhu K Z, et al. QTL mapping for rice RVA properties using high - throughput re - sequenced chromosome segment substitution lines [J]. Rice Science, 2013, 20(6):407-414.
- [8] Shar T, Sheng Z H, Ali U, et al. Mapping quantitative trait loci associated with starch paste viscosity attributes by using double haploid populations of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(7):1691-1703.
- [9] 包劲松,何平,夏英武,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征主要受  $Wx$  基因控制[J]. 科学通报,1999,44(18):1973-1976.
- [10] 张巧凤,张亚东,朱镇,等. 稻米淀粉黏滞性(RVA 谱)特征值的遗传及 QTL 定位分析[J]. 中国水稻科学,2007,21(6):591-598.
- [11] 张杰,郑蕾娜,蔡跃,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征值与直链淀粉、蛋白含量的相关性 & QTL 定位分析[J]. 中国水稻科学,2017,31(1):31-39.
- [12] Yao X Y, Wang J Y, Liu J, et al. Mapping quantitative trait loci associated with starch paste viscosity in rice (*Oryza sativa* L.) under different environmental conditions [J]. Plant Breeding, 2017, 136(5):591-602.
- [13] 黄晓珊,张欣,施利利,等. 稻米食味品质的研究进展[J]. 食品研究与开发,2010,31(9):198-201.
- [14] 岳红亮,赵庆勇,赵春芳,等. 江苏省半糯粳稻食味品质特征及其与感官评价的关系[J]. 中国粮油学报,2020,35(6):7-14,22.
- [15] 赵春芳,岳红亮,田铮,等. 江苏和东北粳稻稻米理化特性及  $Wx$  和  $OsSS II a$  基因序列分析[J]. 作物学报,2020,46(6):878-888.
- [16] 朱艳菊. 基于 RVA 谱的稻米食味品质评价及分子标记关联研究[D]. 广州:华南农业大学,2018.
- [17] 张蓉. 稻米 RVA 谱特征值的遗传及其与品质和产量的相关性研究[D]. 扬州:扬州大学,2003.
- [18] 赵春芳,岳红亮,黄双杰,等. 南粳系列水稻品种的食味品质与稻米理化特性[J]. 中国农业科学,2019,52(5):909-920.
- [19] 李丁鲁,张建明,王慧,等. 长江下游地区部分优质粳稻品种与越光稻米支链淀粉结构特征及品质性状比较[J]. 中国水稻科学,2010,24(4):379-384.
- [20] 蔡一霞,王维,朱智伟,等. 不同类型水稻支链淀粉理化特性及其与米粉糊化特征的关系[J]. 中国农业科学,2006,39(6):1122-1129.
- [21] 赵营,赵凯,刘宁,等. 支链淀粉结构分析研究进展[J]. 农产品加工(学刊),2013(16):86-88,91.
- [22] 贺晓鹏,朱昌兰,刘玲珍,等. 不同水稻品种支链淀粉结构的差异及其与淀粉理化特性的关系[J]. 作物学报,2010,36(2):276-284.
- [23] 周慧颖,彭小松,欧阳林娟,等. 支链淀粉结构对稻米淀粉糊化特性的影响[J]. 中国粮油学报,2018,33(8):25-30,36.
- [24] 张超,吴焱,魏海燕,等. 半糯性粳稻的淀粉精细结构及其米粉/饭功能特性研究[J]. 中国粮油学报,2021,36(6):1-7.
- [25] 陈能,罗玉坤,谢黎虹,等. 我国水稻品种的蛋白质含量及与米质的相关性研究[J]. 作物学报,2006,32(8):1193-1196.
- [26] 张启莉,谢黎虹,李仕贵,等. 稻米蛋白质与蒸煮食味品质的关系研究进展[J]. 中国稻米,2012,18(4):1-6.
- [27] 石吕,张新月,孙惠艳,等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. 中国水稻科学,2019,33(6):541-552.
- [28] 谢新华,李晓方,肖昕. 施氮对稻米淀粉 RVA 谱特征值的影响[J]. 中国稻米,2009,15(3):21-22.
- [29] 郭涛,王海凤,薛芳,等. 氮肥追施量对香稻 1601 品质和淀粉 RVA 谱特征值的影响[J]. 北方水稻,2021,51(1):6-10.
- [30] 谢新华,李晓方,肖昕,等. 糙米中蛋白质对淀粉黏滞性的影响[J]. 粮食与饲料工业,2009(11):20-21,24.
- [31] 谢黎虹,罗炬,唐绍清,等. 蛋白质影响水稻米饭食味品质的机理[J]. 中国水稻科学,2013,27(1):91-96.
- [32] 张欣,施利利,丁得亮,等. 稻米蛋白质相关性状与 RVA 特征谱及食味品质的关系[J]. 食品科技,2014,39(10):188-191.
- [33] 周显青,于子越. 粳糯米的蛋白组分对其糊化特性的影响及机制研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2021,42(6):1-9.
- [34] 陈书强,薛菁芳,潘国君,等. 粳稻粒间蛋白质及其组分与品质性状间的相关性研究[J]. 中国粮油学报,2015,30(7):1-

- 6,11.
- [35] 吴洪恺,刘世家,江玲,等. 稻米蛋白质组分及总蛋白质含量与淀粉 RVA 谱特征值的关系[J]. 中国水稻科学,2009,23(4):421-426.
- [36] 郭涛,张焕霞,薛芳,等. 低谷蛋白水稻的淀粉颗粒扫描电镜观察及 RVA 谱特征研究[J]. 北方农业学报,2020,48(5):49-54.
- [37] 滕斌,周俊峰,陈颐辉,等. 种植环境对不同 Wx 基因型稻米 RVA 谱的影响[J]. 核农学报,2015,29(11):2058-2064.
- [38] Xuan Y, Yi Y, Liang H, et al. Amylose content and RVA profile characteristics of noodle rice under different conditions [J]. Agronomy journal,2020,112(1):117-129.
- [39] 王才林,张亚东,陈涛,等. 地点和播期对半糯粳稻食味品质的影响[J]. 中国水稻科学,2021,35(4):373-382.
- [40] 朱镇,赵庆勇,张亚东,等. 播期和种植地点对南粳 46 稻米品质及 RVA 谱的影响[J]. 江苏农业学报,2013,29(5):921-927.
- [41] 赵庆勇,张亚东,朱镇,等. 播期与地点对不同生态类型粳稻淀粉 RVA 谱特性的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(1):1-8.
- [42] 宫彦龙,雷月,闫志强,等. 收获期对优质稻大粒香品质性状的影响[J]. 中国稻米,2020,26(3):81-83.
- [43] 刘兵,汪楠,邵小龙,等. 不同收获期对两种粳稻综合品质的影响分析[J]. 食品科学,2017,38(19):107-115.
- [44] 张欣,施利利,丁得亮,等. 收获期对津川 1 号产量、米饭食味品质和 RVA 特征谱的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(7):1567-1569.
- [45] 徐正浩,朱丽青,徐林娟,等. 土壤水分供给对不同水稻的产量构成及其淀粉品质的影响[J]. 核农学报,2011,25(6):1249-1254.
- [46] 刘立军,李鸿伟,赵步洪,等. 结实期干湿交替处理对稻米品质的影响及其生理机制[J]. 中国水稻科学,2012,26(1):77-84.
- [47] 刘奇华,吴修,陈博聪,等. 灌溉方式对黄淮稻区优质粳米品质的影响[J]. 应用生态学报,2014,25(9):2583-2590.
- [48] 蔡志欢,赵瑞,刘逸童,等. 不同水分管理方式对优质杂交晚稻产量和稻米品质的影响[J]. 杂交水稻,2017,32(6):59-63.
- [49] 杨雪,徐晓燕,张欣,等. 不同施肥期和施肥量对‘津川 1 号’产量和食味品质的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(9):61-64.
- [50] 杨文祥,王强盛,王绍华,等. 镁肥对水稻镁吸收与分配及稻米食味品质的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(12):2473-2478.
- [51] 李军,肖丹丹,邓先亮,等. 镁锌肥追施时期对优良食味粳稻产量及品质的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(8):1448-1463.
- [52] 刘建,谢锐萍,常立新,等. 生物菌肥对水稻食味品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):124-127.
- [53] Wang L, Deng F, Ren W J, et al. Effects of shading on starch pasting characteristics of indica hybrid rice (*Oryza sativa* L.) [J]. PLoS One,2013,8(7):e68220.
- [54] 邓飞,王丽,叶德成,等. 生态条件及栽培方式对稻米 RVA 谱特性及蛋白质含量的影响[J]. 作物学报,2012,38(4):717-724.
- [55] Kesarwani A, Chiang P Y, Chen S S. Rapid visco analyzer measurements of japonica rice cultivars to study interrelationship between pasting properties and farming system [J]. International Journal of Agronomy,2016,2016:3595326.
- [56] 舒在习,戴煌. 优质水稻储藏期间稻米 RVA 特性研究[J]. 食品工业科技,2022,43(2):112-119.
- [57] 王新其,殷丽青,卢有林,等. 水稻储藏过程中淀粉黏度特性的变化[J]. 植物生理学报,2011,47(6):601-606.
- [58] Wongsaipun S, Krongchai C, Jakmunee J, et al. Rice grain freshness measurement using rapid visco analyzer and chemometrics [J]. Food Analytical Methods,2018,11(2):613-623.
- [59] 吴洪恺,刘世家,张文伟,等. 稻米脂肪与米粉 RVA 谱特征的关系分析[J]. 江苏农业学报,2009,25(3):464-468.
- [60] 张晓红,万忠民,孙君,等. 微波处理对大米 RVA 谱特征值和微观结构的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(12):87-91,96.
- [61] Sato H, Saito S I, Taira T. Selection for high palatable rice lines by use of mido meter and rapid visco analyser [J]. Japanese Journal of Crop Science,2003,72(4):390-394.
- [62] 马会珍,陈心怡,王志杰,等. 中国部分优质粳稻外观及蒸煮食味品质特征比较[J]. 中国农业科学,2021,54(7):1338-1353.
- [63] 王志东,周少川,王重荣,等. 不同直链淀粉含量籼稻食味品质与其他品质性状的关系[J]. 中国稻米,2021,27(1):38-44.
- [64] 陈丹,汤翠凤,董超,等. 云南软米地方品种籽粒淀粉品质特性研究[J]. 浙江农业学报,2021,33(2):203-214.
- [65] 马兆惠,李坤,程海涛,等. 表观直链淀粉和蛋白质双低型粳稻食味的关联性状分析[J]. 沈阳农业大学学报,2019,50(1):10-18.
- [66] 王莹,于亚辉,阙补超,等. 辽宁滨海稻区稻米 RVA 谱特征值及其与食味品质的关系[J]. 种子,2017,36(2):92-94.
- [67] 胡中娥,李健,李吉,等. 不同籼稻品种杂交一代 RVA 谱特征值与食味品质相关性研究[J]. 中国粮油学报,2020,37(8):1-7.
- [68] 郑英杰,于亚辉,李振宇,等. 北方两系杂交粳稻淀粉 RVA 谱特征与食味品质的关系[J]. 中国稻米,2018,24(3):49-54.
- [69] 舒庆尧,吴殿星,夏英武,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与食用品质的关系[J]. 中国农业科学,1998,31(3):25-26,28-29.
- [70] Allahgholipour M, Ali A J, Alinia F, et al. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties [J]. Plant Breeding,2006,125(4):357-362.
- [71] Maw Z, Kenji I. Quality assessment on japonica and indica rice genotypes based on rapid visco analyzer (rva) pasting profile [J]. International Journal of Advanced Research,2018,6(1):917-924.
- [72] Champagne E T, Bett K L, Vinyard B T, et al. Correlation between cooked rice texture and rapid visco analyser measurements [J]. Cereal Chemistry,1999,76(5):764-771.
- [73] 孟庆虹,孙雅君,河野元信,等. 中日优良食味粳稻品评结果报告[J]. 北方水稻,2016,46(3):1-5.
- [74] 孙雅君,贾东,宋双,等. 第七次(2019 年)全国优良食味粳稻品评结果报告[J]. 北方水稻,2019,49(4):1-4.