

北方两系杂交粳稻淀粉 RVA 谱特征与食味品质的关系

郑英杰 于亚辉* 李振宇 陈广红 夏明 阙补超

(辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁 盘锦 124010; 第一作者: lnpjzyj@163.com; * 通讯作者: yyh666@sina.com)

摘 要:以 36 份北方两系杂交粳稻组合和 4 个常规粳稻品种为试验材料, 测定稻米的 RVA 谱特征值、直链淀粉含量、蛋白质含量和米饭食味品质, 并对 RVA 谱各特征值之间及其与直链淀粉含量、蛋白质含量和米饭食味品质之间的相关性进行研究。结果表明, 多个 RVA 谱各特征值之间相关性显著; 直链淀粉含量与消减值、回复值、糊化温度呈显著正相关, 而与崩解值和峰值黏度呈显著和极显著负相关; 蛋白质含量与最低黏度和峰值时间呈显著和极显著正相关, 与其余 RVA 谱特征值间均无显著相关性; 米饭食味值与峰值黏度、崩解值呈极显著正相关, 而与消减值、回复值、糊化温度呈极显著负相关。RVA 谱特征值能充分反映稻米食味品质的优劣, 可以作为优质两系杂交粳稻选育的主要依据。

关键词:两系杂交粳稻; RVA 谱特征值; 食味品质

中图分类号:S331; S511.2² **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)03-0049-06

两系法杂交水稻是我国独创的杂种优势利用方法, 至 2013 年止两系杂交稻推广面积已发展到 544.04 万 hm^2 , 占杂交水稻种植面积的 33.59%, 为保障我国水稻增产起到重要的支撑作用。与三系杂交粳稻相比, 两系杂交粳稻不受恢保关系制约, 无需特定的恢复基因, 配组自由度大, 在品质改良上具有特殊优势^[1]。过去在两系杂交水稻选育上主要侧重产量和抗性, 但随着人们生活水平的提高, 稻米品质也逐步受到关注。稻米品质主要包括碾磨品质、外观品质、蒸煮食味品质和营养品质。在摄取营养渠道多样化的今天, 人们越来越关注是否好吃, 因此稻米的蒸煮食味品质跃升为重要品质性状之一。通常衡量稻米蒸煮食味品质的主要理化指标有直链淀粉含量、碱消值、胶稠度等。近年研究认为, 淀粉特征性黏度谱反映的是米粉在加热-高温-冷却过程中, 在一定剪切力的作用下, 淀粉-水体系的黏滞性变化所形成的黏度谱, 是淀粉热物理特性的反应^[2], 检测的 RVA 谱特征值能更贴切地反映品种的口感和质地, 并与稻米物质组成、米饭食味品质的理化指标间存在显著的相关性^[3-6]。

目前对于北方稻区常规粳稻品种淀粉 RVA 谱特征值与稻米品质性状的研究较多, 而关于北方两系杂交粳稻淀粉 RVA 谱特征值及其与稻米品质性状的相关性研究未见报道。因此, 本研究利用 36 份辽宁省盐碱地利用研究所近年来选育的两系杂交粳稻组合, 测定其稻米淀粉 RVA 谱特征值和理化食味品质, 研究各特征值间及其与直链淀粉含量、蛋白质含量、米饭食味

品质性状的相关性, 并对 RVA 谱特征值间及其与理化食味品质的影响机理进行分析, 探讨 RVA 谱在两系杂交粳稻食味品质分析中的应用价值, 以期评价两系杂交粳稻食味品质提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

母本选用两系不育系 36 个, 均为辽宁省盐碱地利用研究所选育的粳型光温敏核不育系, 其中, GB028S、LY046S、LY056S、LY156S、LY201S 等通过省级鉴定; 父本则选用生产上产量和品质表现优良的粳稻品种(系) 14 个。

1.2 试验设计

2015 年将上述父母本配制 36 个杂交组合(表 1), 并于 2016 年种植在辽宁省盐碱地利用研究所试验田, 以 4 个本地区主栽常规粳稻品种为对照。按随机区组设计, 每个组合(品种)种植 60 株(20 株 \times 3 行), 3 次重复, 株行距为 13.3 cm \times 30.0 cm。田间栽培管理均同当地大田, 成熟时去除边行和病虫株, 连续选取 15 株收获。

1.3 稻米理化指标和食味品质测定

每份试材在晾晒贮藏 3 个月后, 待水分含量降至

收稿日期: 2017-11-25

基金项目:辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划(2015034); 国家科技支撑计划项目(2015BAD01B02)

表 1 参试组合来源

序号	组合	序号	组合	序号	组合
1	G528S/港育 128	13	G461S/富友 33	25	G264S/辽河 5 号
2	G554S/港育 128	14	G570S/盐梗 22	26	G361S/辽河 5 号
3	G649S/港育 128	15	G585S/盐梗 22	27	G548S/辽梗 207
4	G655S/港育 128	16	G625S/盐梗 22	28	G605S/辽梗 207
5	LY056S/盐梗 927	17	G26S/盐梗 188	29	G126S/盐梗 456
6	G282S/盐梗 927	18	G560S/盐梗 188	30	G374S/盐梗 456
7	G366S/盐梗 927	19	G762S/盐梗 188	31	G558S/盐梗 48
8	LY156S /盐 377	20	LY046S/盐丰 47	32	G582S/盐梗 48
9	LY201S /盐 377	21	G159S/盐丰 47	33	G98S/盐梗 237
10	G587S/盐 377	22	G234S/盐丰 47	34	G758S/盐梗 237
11	GB028S/富友 33	23	G217S/越光	35	G148S/盐梗 228
12	G128S/富友 33	24	G629S/越光	36	G482S/盐梗 228

12%~14%时碾磨精米 200 g。利用米粒食味计 (RC-TA11A,日本佐竹公司)测定精米的直链淀粉含量和蛋白质含量。食味品质测定:每份试材称取精米 30 g,放入专用不锈钢罐中,按比例(米:水=1:1.33)加水称重后,浸泡 30 min。将不锈钢罐放入沸腾的电饭煲,蒸煮 25 min,再焖 10 min,取出冷却至室温。每份试材称取 8.0 g 米饭装入专用的不锈钢样品圆环内,利用压饭器压成饭饼作为测定饭样,利用米饭食味计(STA1A,日本佐竹公司)测定米饭硬度、黏度、平衡度、弹性和食味值,每份试材作 3 个饭样,正反面各测 1 次。

1.4 稻米淀粉 RVA 谱特征值测定

采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 Super-4 型快速黏度分析仪(RVA 仪)测定稻米淀粉黏滞特性,用 TCW3(Thermal Cy-cle for Windows)配套软件进行数据分析,按照 GB/T 24852-2010 进行测定。整精米经旋风式粉碎磨(FS-11)碾磨粉碎后,过 100 目筛网,当米粉含水量为 14.00%左右时,称取 3.00 g 样品放入到装有 25.00 mL 蒸馏水的样品罐中,将搅拌桨置于样品罐中并上下快速搅动 10 次,使样品分散,将搅拌桨和样品罐卡入搅拌塔,按下搅拌塔,开始测定。运行过程中,测定过程罐内温度变化如下:50℃保持 1 min;以 12℃/min 的升温速率上升到 95℃(3.75 min),95℃下保持 2.5 min;以 12℃/min 的速率下降到 50℃(3.75 min),在 50℃下保持 1.4 min。搅拌器转速在开始 10s 内为 960 r/min,之后保持在 160 r/min。测定原理是根据淀粉糊化程度与黏度存在着一定对应关系,通过测定浸入被测淀粉糊的搅拌桨持续旋转形成的扭矩来测量黏度值^[7]。RVA 黏滞值用厘泊(centipoise,cp)作单位,主要参数包括峰值黏度(peak viscosity)、最低黏度(trough viscosity)和最终黏度(final viscosity),由这 3 个基本黏度产生崩解值(breakdown,峰值黏度-最低黏

度)、消减值(setback,最终黏度-峰值黏度)和回复值(consistency,最终黏度-最低黏度)3 个二级数据,同时记录峰值时间(peak time,样品开始加热至达到峰值黏度的时间)和糊化温度(pasting temperature,试样加热后,样品黏度开始增大时的温度)。每个样品重复测定 2 次,结果取平均值。

利用 Microsoft Excel 进行数据整理,采用 DPS 统计软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 淀粉 RVA 谱特征值及理化品质的差异性

从表 2 可见,两系杂交粳稻的峰值黏度、最低黏度、最终黏度、崩解值偏低,而消减值、回复值、糊化温度、直链淀粉含量、蛋白质含量偏高。已有研究表明,淀粉 RVA 特征值中峰值黏度、崩解值、消减值、糊化温度能较好的反映稻米蒸煮食味品质的优劣。一般而言,食味较好的品种普遍表现峰值黏度、崩解值较高,而消减值绝对值、糊化温度较低,以及较低的直链淀粉含量和蛋白质含量,食味较差的品种则相反^[8-10]。由此可见,两系杂交粳稻的食味品质差于本地区主栽常规粳稻品种。

从表 2 可见,供试的两系杂交粳稻的稻米 RVA 谱各特征值差异性较大。其中,峰值黏度的极差最大,达 1847.5 cp;其次为消减值和崩解值,分别为 1626.5 cp 和 1354.5 cp;最终黏度、回复值、最低黏度的极差相对较小。从变异系数来看,崩解值的变异系数最大,达 38.25%;其次为峰值黏度和消减值,分别为 22.65%和 17.20%;最低黏度,回复值、糊化温度、最终黏度、峰值时间的变异系数较小。可见,供试两系杂交粳稻的崩解值、峰值黏度、消减值变化较大,而其他 RVA 谱特征值变化不大。

表 2 两系杂交粳稻和北方稻区主栽品种稻米淀粉 RVA 谱特征值及理化品质指标比较

项目	峰值黏度 (cp)	最低黏度 (cp)	最终黏度 (cp)	崩解值 (cp)	消减值 (cp)	回复值 (cp)	峰值时间 (min)	糊化温度 (℃)	直链淀粉含量 (%)	蛋白质含量 (%)
最大值	3 442.50	1 834.00	3 220.00	1 728.50	1 064.00	1 796.00	6.13	88.75	20.30	8.30
最小值	1 595.00	1 123.50	2 454.50	374.00	-562.50	1 055.00	5.80	70.15	18.10	6.10
极差	1 847.50	711.00	765.50	1 354.50	1626.50	741.00	0.33	18.60	2.20	2.20
平均值	2 538.47	1 469.92	2 788.33	1 068.56	249.86	1 318.42	5.95	78.62	18.92	6.88
标准差	574.99	189.11	202.01	408.71	42.98	158.17	0.10	6.54	0.87	0.47
变异系数(%)	22.65	12.87	7.24	38.25	17.20	12.00	1.70	8.32	4.60	6.87
盐丰 47	3 054.50	1 684.00	2 844.00	1 370.50	-210.5	1 160.00	6.07	71.73	18.90	6.60
盐粳 456	2 576.50	1 586.00	2 999.50	990.50	423.00	1 413.50	6.04	73.10	17.50	7.80
辽星 1 号	3 763.50	1 885.50	3 290.50	1 878.00	-473.00	1 405.00	5.87	71.43	18.40	5.90
辽粳 401	2 939.50	1 729.00	2 987.50	1 210.50	48.00	1 258.50	6.07	70.98	18.50	6.30

表 3 两系杂交粳稻淀粉 RVA 谱各特征值之间的相关性

	峰值黏度	最低黏度	最终黏度	崩解值	消减值	回复值	峰值时间
最低黏度	0.89**						
最终黏度	0.37*	0.67**					
崩解值	0.98**	0.78**	0.20				
消减值	-0.93**	-0.70**	-0.01	-0.96**			
回复值	-0.60**	-0.33*	0.47**	-0.68**	0.82**		
峰值时间	0.32	0.57**	0.53**	0.18	-0.14	0	
糊化温度	-0.78**	-0.71**	-0.25	-0.76**	0.74**	0.54**	-0.43**

*,** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著。

表 4 两系杂交粳稻 RVA 谱特征值与淀粉理化品质指标之间的相关性

性状	峰值黏度	最低黏度	最终黏度	崩解值	消减值	回复值	峰值时间	糊化温度
直链淀粉含量	-0.51**	-0.36*	0.38*	-0.42*	0.53**	0.34*	0.41*	0.49*
蛋白质含量	-0.16	-0.30	0.35*	-0.14	0.17	0.19	0.49**	0.21

2.2 两系杂交粳稻 RVA 谱各特征值之间的相关性

由表 3 可见,峰值黏度与最低黏度、崩解值,最低黏度与最终黏度、崩解值、峰值时间,最终黏度与回复值、峰值时间,消减值与回复值、糊化温度,回复值与糊化温度均呈极显著正相关,其中峰值黏度与崩解值的相关系数达到 0.98;峰值黏度与消减值、回复值、糊化温度,最低黏度与消减值、糊化温度,崩解值与消减值、回复值、糊化温度,峰值时间与糊化温度均呈极显著负相关,其中崩解值与消减值的相关系数达到-0.96。由分析得出,RVA 谱 7 个特征值之间,回复值与峰值时间无相关,峰值时间与峰值黏度、崩解值、消减值,最终黏度与崩解值、消减值、糊化温度的相关性不显著,峰值黏度与最终黏度、最低黏度与回复值相关性显著,其余特征值之间均呈极显著相关。

2.3 两系杂交粳稻 RVA 谱特征值与稻米理化品质指标之间的相关性分析

从表 4 可见,直链淀粉含量与最终黏度、回复值、峰值时间、糊化温度呈显著正相关,与消减值呈极显著正相关,与峰值黏度呈极显著负相关,与最低黏度、崩解值呈显著负相关。这表明直链淀粉含量越高的品种,

其稻米淀粉 RVA 谱表现为最终黏度、消减值、回复值越大,到达峰值黏度时间越长,糊化温度越高,而峰值黏度、最低黏度、崩解值越小。蛋白质含量与最终黏度、峰值时间呈显著或极显著正相关,与峰值黏度、最低黏度、崩解值、消减值、回复值、糊化温度的相关性均不显著。

2.4 两系杂交粳稻 RVA 谱特征值与米饭食味品质之间的相关性分析

稻米的食味品质是一个比较复杂的性状,其优劣在很大程度上是由淀粉的糊化特性决定^[1]。从表 5 可以看出,米饭硬度与消减值、回复值、糊化温度呈极显著正相关,与峰值黏度、最低黏度、崩解值呈极显著负相关;米饭黏度与峰值黏度、最低黏度、崩解值呈极显著正相关,与消减值、回复值、糊化温度呈极显著负相关。米饭平衡度与最低黏度呈显著正相关,与峰值黏度、崩解值呈极显著正相关,与消减值、回复值、糊化温度呈极显著负相关。米饭弹性除与糊化温度呈显著正相关外,与其余 RVA 谱特征值间均无显著相关性。米饭食味值与峰值黏度、最低黏度、崩解值呈极显著正相关,与消减值、回复值、峰值时间、糊化温度呈显著或极

表 5 两系杂交粳稻 RVA 谱特征值与食味品质之间的相关性

性状	峰值黏度	最低黏度	最终黏度	崩解值	消减值	回复值	峰值时间	糊化温度
硬度	-0.75**	-0.60**	-0.18	-0.75**	0.75**	0.72**	-0.31	0.80**
黏度	0.71**	0.75**	0.12	0.72**	-0.74**	-0.74**	0.26	-0.72**
平衡度	0.63**	0.49*	-0.01	0.65**	-0.58**	-0.59**	0.09	-0.46**
弹性	-0.21	-0.21	-0.20	-0.19	0.15	-0.01	-0.14	0.36*
食味值	0.72**	0.65**	0.29	0.68**	-0.67**	-0.65**	-0.41*	-0.77**

显著负相关。以上分析表明,RVA 谱特征值能充分反应米饭硬度、粘度、平衡度和食味值,而米饭弹性与 RVA 谱特征值无关。因此,峰值黏度、崩解值越高,而消减值、回复值、糊化温度越低的两系杂交粳稻,米饭硬度越低,黏度越大,食味值越高,适口性越好。

3 结论与讨论

3.1 稻米淀粉 RVA 谱特征值间的相关研究

稻米组成的主体成分是淀粉,在精米中淀粉占胚乳总干质量的 70%~80%^[12]。稻米淀粉的黏弹性、溶解度、结晶构造、组分对米饭食味有重要影响,通过淀粉 RVA 谱特征值可以间接评价其食味品质。毛艇等^[13]对辽宁稻区 150 个常规粳稻新品种(系)的 RVA 谱特征值及食味品质、理化品质进行测定并进行相关分析,结果表明,食味值较高的品种(系)直链淀粉含量、蛋白质含量、消减值绝对值较低而崩解值较高,相关性分析还发现崩解值与消减值呈极显著负相关。本研究结果表明,北方两系杂交粳稻与当地主栽品种在 RVA 谱特征值上存在明显差距,其中主要表现在稻米峰值黏度和崩解值偏低,消减值、回复值、糊化温度、直链淀粉含量、蛋白质含量偏高,品质均衡性整体较差。在本研究中,两系杂交粳稻的 RVA 谱特征值之间存在高度的相关性,其中峰值黏度与崩解值呈极显著正相关,崩解值与消减值呈极显著负相关。峰值黏度反映了淀粉的膨胀能力,是由于吸水膨胀后的淀粉粒互相碰撞、摩擦导致淀粉黏度的增加^[14]。而崩解值表示的是淀粉粒变成淀粉糊后在继续加热期间损失的黏度值,其大小反映了淀粉粒高温下耐剪切的能力^[15],即淀粉热糊的稳定性。在保温阶段(95℃)淀粉糊黏度的降低是由于吸水溶胀的淀粉粒在高温和机械剪切作用下发生破裂所造成的,降低的程度与淀粉粒的相对强度有关,强度高的淀粉粒不易破裂,热糊稳定性强,黏度下降得少。峰值黏度高的品种淀粉分子之间的作用力较弱,淀粉粒强度低,糊化后黏度值降低较多,崩解值较高。消减值可以反映淀粉冷糊的稳定性和回生趋势,一般消减值绝对值越大,表示淀粉冷糊稳定性差,易回生^[16]。谢新华

等^[17]认为,消减值可以反应米饭的软硬程度,一般消减值绝对值较小时,米饭质地较软,而消减值绝对值较大时,米饭质地较硬,食味品质相对较差,这与本研究的结果相同。崩解值高的稻米淀粉在高温下的耐剪切能力较差,米饭冷却后不易回生,消减值绝对值相应较小。

3.2 稻米淀粉 RVA 特征值与理化品质的关系

稻米淀粉以复粒淀粉粒形态贮藏于胚乳淀粉体中。淀粉的形成受遗传及环境条件的影响,淀粉的种类、结构和性质均能影响 RVA 谱特征值^[18-19]。程海涛等^[20]分析了北方稻区近年来选育的常规粳稻品种(系) RVA 谱特征值与稻米品质的关系,认为直链淀粉含量高的品种(系)具有较大的峰值黏度、回复值,较高的糊化温度和较小的崩解值。本研究结果表明,直链淀粉含量越高的组合,其稻米淀粉 RVA 谱表现为最终黏度、回复值、消减值绝对值越大,淀粉糊化温度较高,而峰值黏度、崩解值越小,稻米食味品质较差。米粉匀浆在加热升温过程中直链淀粉受热糊化后其分子不是正规的平行排列,而是链与链缠绕在一起呈密集状态,形成不溶于水的坚固结合物。直链淀粉含量越高,淀粉粒越不易糊化,从而导致米饭质地变得硬而糙,米饭黏度和适口性下降,食用品质变劣。北方两系杂交粳稻的直链淀粉含量普遍偏高,这主要与北方两系不育系为提高杂种优势和其他目标性状而引入一定的籼稻血缘有关^[21],籼稻的直链淀粉含量普遍较高,直链淀粉含量的遗传力又较高^[22],从而使杂交后代籽粒的直链淀粉含量偏高,这也是造成部分杂交粳稻食味品质不佳的主要原因。胡培松等^[23-24]研究表明,粳稻直链淀粉含量与消减值存在显著的正相关,而与峰值黏度和崩解值存在显著的负相关,与本研究结果基本一致。从淀粉颗粒的糊化过程来看,高直链淀粉含量使得淀粉颗粒在加热剪切过程时不易破裂,抑制了淀粉膨胀,不利于黏度上升,热糊稳定性增强,峰值黏度、崩解值随之下降,同时淀粉糊化延缓,也使到达峰值黏度时间延长。淀粉糊在冷却过程中直链淀粉联结在一起形成不溶于水的聚合体^[25],聚合的直链淀粉同时把水和蛋白质分子包裹起

来形成网状结构的聚合物,导致了最终黏度升高,从而使回复值、消减值增加。糊化温度反映了稻米的胚乳细胞壁的透水性,糊化温度低的细胞壁透水性大,米饭容易糊化,食味相对较好。本研究直链淀粉含量与糊化温度呈显著正相关。原因在于,淀粉糊化与淀粉分子间缔合程度和分子排列紧密程度有关,直链淀粉分子间的结合力比较强,因此直链淀粉含量较高的稻米糊化就需要消耗更多的能量,糊化温度相应较高。

蛋白质是构成稻米胚乳第二大类组成成分,对稻米的食味品质也有较大影响^[26]。在本研究中,稻米中蛋白质含量与大部分 RVA 谱特征值的相关性未达显著水平,表明蛋白质含量与淀粉粘滞性没有明显和必然的联系,这与贾良等^[27-29]的研究结果基本一致。也有研究认为,蛋白质含量与峰值黏度、最低黏度、崩解值呈极显著负相关,与消减值呈极显著正相关^[30]。分析原因可能与试验材料的选择有关。同时,不同来源的稻米淀粉结合蛋白的含量相差很大,而且不同部位的蛋白质与淀粉的相互作用也不同^[31],可能导致试验结果存在差异,具体原因还有待进一步研究。

3.3 RVA 谱特征值与食味品质的关系

随着人民生活水平的不断提升,对优质稻米的需求日益增加,食味品质逐渐成为稻米品质的核心。本研究中米饭食味值及食味品质性状均与峰值黏度、崩解值、消减值、回复值、糊化温度呈极显著的相关关系,表明稻米淀粉的糊化特性与食味品质密切相关,可以在一定程度上根据 RVA 谱特征值评价品种(组合)食味品质的优劣,其中主要体现在峰值黏度、崩解值、消减值和糊化温度等指标上,这与刘红梅等^[32]的研究结果一致。相关分析结果还表明,峰值黏度、崩解值高,消减值绝对值、回复值、糊化温度低的组合类型,米饭表现柔软、黏性好、适口性好,而峰值黏度、崩解值低,消减值绝对值、回复值、糊化温度高的组合类型,米饭质地硬、黏性差、适口性差。说明 RVA 谱中与食味关系密切的特征值主要影响米饭的柔软性、黏度、口感等。在本研究中,快速黏度分析仪与米饭食味计测定结果的相关性密切,这表明快速黏度分析仪的测定结果能较好地反映米饭的蒸煮食味品质,而且稻米淀粉 RVA 特征谱测定具有快速、操作简单、重复性好、样品用量少等特点,有利于提高优质育种的选择效率,可以作为两系杂交粳稻食味品质评价的重要选择依据。

参考文献

[1] 卢兴桂. 两系法杂交水稻理论与技术 [M]. 北京: 科学出版社,

2001:9-12.

- [2] 谢新华,肖昕,李晓芳,等. 不同直链淀粉含量的稻米淀粉黏滞特性研究[J]. 食品科技,2006,22(7):62-65.
- [3] 姚月明,沈新平,沈明星,等. 太湖流域水稻地方种的稻米 RVA 谱多样性[J]. 江苏农业学报,2009,25(6):1 213-1 218.
- [4] 谢新华,李晓芳,肖昕. 稻米淀粉崩解值的近红外投射光谱法测定[J]. 光谱实验室,2009,26(2):511-514.
- [5] Nakamura. Towards a better understanding of metabolic system for amylopectin biosynthesis in plant: rice endosperm as a model tissue [J]. *Plant Cell Physiol*, 2002, 43(7): 718-725.
- [6] Zhong K, Zhou A, Kevin R, et al. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour [J]. *International Food Res*, 2003, 6(36): 625-634.
- [7] 余平,石彦忠. 淀粉与淀粉制品工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2011:20-26.
- [8] 吴殿星,舒庆尧,夏英武,等. 利用 RVA 谱快速鉴别不同表观直链淀粉含量早籼稻的淀粉粘滞特性 [J]. 中国水稻科学,2001,15(1):57-59.
- [9] 张小明,石春海,富田桂. 粳稻米淀粉特性与食味间的相关性分析[J]. 中国水稻科学,2002,16(2):157-161.
- [10] 朱振华,金基永,袁平荣,等. 不同海拔条件下耐冷性粳稻品种的稻米淀粉 RVA 谱特性[J]. 中国水稻科学,2010,24(2):151-156.
- [11] 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.
- [12] 王忠. 水稻的开花与结实[M]. 北京:科学出版社,2015:183-190.
- [13] 毛艇,李旭. 辽宁滨海稻区水稻品种淀粉 RVA 谱特征的测定及应用[J]. 湖北农业科学,2015,54(3):680-681.
- [14] 吴殿星,舒小丽,吴伟. 稻米淀粉品质研究与利用[M]. 北京:中国农业出版社,2009:27-33.
- [15] 谢新华,郭东旭,宋一诺,等. 脂肪酸对小麦淀粉糊化特性及热特性的影响[J]. 麦类作物学报,2014,34(7):957-962.
- [16] 蔡一霞,刘春香,王维,等. 灌浆期表观直链淀粉含量相似品种稻米胶稠度和 RVA 谱的动态差异 [J]. 中国农业科学,2011,44(12):2 439-2 445.
- [17] 谢新华,李晓芳,肖昕,等. 蛋白质中二硫键对稻米淀粉粘滞性的影响[J]. 核农学报,2009,23(1):114-117.
- [18] 孟庆虹,李霞辉,卢淑雯,等. 黑龙江粳稻品种的品质现状与评价[J]. 黑龙江农业科学,2010(6):108-113.
- [19] 沈新平,顾丽,李双成,等. 两优培九稻米淀粉粘滞性(RVA 谱)的纬度地域和播期变化特征[J]. 中国水稻科学,2007,21(1):59-64.
- [20] 程海涛,马兆惠,刘桂林,等. 北方粳稻品种(系)资源淀粉 RVA 谱特征与品质性状典型相关分析[J]. 作物杂志,2017(2):59-66.
- [21] 于亚辉,孙滨,夏明,等. 利用程式指数分析两系杂交粳稻亲本粳梗成分与产量及其构成因素的关系 [J]. 江苏农业科学,2014,42(1):61-63.
- [22] 廖伏明,周坤炉,阳和华,等. 籼型杂交水稻米质性状配合力及遗传力研究[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2000,26(5):323-328.

- [23] 胡培松, 翟虎渠, 唐邵清, 等. 利用 RVA 快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究[J]. 作物学报, 2004, 30(6): 519-524.
- [24] 张欣, 施利利, 丁得亮, 等. 74 份优质粳稻品种的理化特征和食味特性研究[J]. 食品科技, 2010, 35(9): 178-181.
- [25] 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性的关系[J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1 122 - 1 129.
- [26] 丁毅, 华泽田, 王芳, 等. 粳稻蛋白质与蒸煮食味品质的关系[J]. 作物学报, 2012, 33(23): 42-46.
- [27] 贾良, 丁雪云, 王平荣, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 790-794.
- [28] 丁得亮, 张欣, 赵梅, 等. 粳稻品质性状间的相关关系研究[J]. 作物杂志, 2010(5): 60-63.
- [29] 李先品, 徐庆国, 刘红梅. 不同地域水稻的 RVA 谱特征值及其与蛋白质含量的关系[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2016, 42(1): 1-5.
- [30] 陈书强. 粳稻米蒸煮食味品质与其他品质性状的典型相关分析[J]. 西北农业学报, 2015, 24(1): 60-67.
- [31] 闫清平, 朱永义. 大米淀粉、蛋白质与食用品质的关系[J]. 粮食与油脂, 2001(5): 29-32.
- [32] 刘红梅, 刘建丰, 范峰峰, 等. 杂交稻淀粉 RVA 谱特征值的配合力及杂种优势研究[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 203-208.

Relationship between RVA Profile Characteristics and Eating Value of *Japonica* Two Line Hybrid Rice in Northern China

ZHEN Yingjie, YU Yahui*, LI Zhenyu, CHEN Guanghong, XIA Ming, QUE Buchao

(Liaoning Provincial Saline-Alkali Land Utilization and Research Institute, Panjin, Liaoning 124010, China; 1st author: lnpjzyj@163.com; *Corresponding author: yyh666@sina.com)

Abstract: A field experiment was conducted using 36 cross combinations of two-line *japonica* hybrid rice and 4 conventional *japonica* rice varieties in Northern China, the RVA profile characteristics, amylose content, protein content and eating value of rice were measured, and the correlation of which were analyzed. The results showed that there existed significant correlation among multiple RVA profile characteristics. Amylose content had significantly positively correlation with setback, consistency, pasting temperature, respectively, whereas amylose content had significantly or very significantly negative correlation with breakdown and peak viscosity. Protein content had significantly or very significantly positive correlation with trough viscosity and pasting temperature, protein content had no significant correlation with the rest of RVA profile characteristics. The palatability value of cooked rice had very significantly positive correlation with peak viscosity and breakdown. Moreover, the palatability value of cooked rice had very significantly negative correlation with setback, consistency, pasting temperature, respectively. RVA profile characteristics could fully reflect the advantage and disadvantage of eating value, and it could be used as the main basis of breeding fine quality two-line *japonica* hybrid rice.

Key words: *japonica* two line hybrid rice; RVA profile characteristics; eating quality

(上接第 48 页)

- [51] 陈爱葵, 王茂意, 刘晓梅, 等. 水稻对重金属镉的吸收及耐性机理研究进展[J]. 生态科学, 2013, 32(4): 514-522.
- [52] 许超, 陈旭磊, 陈倩倩, 等. 水稻根际酶活性对土壤重金属污染的响应[J]. 中国农学通报, 2014(30): 28-33.
- [53] Li H, Luo N, Zhang L, et al. Do arbuscular mycorrhizal fungi affect cadmium uptake kinetics, subcellular distribution and chemical forms in rice[J]. *Sci Total Environ*, 2016, 571: 1 183-1 190.
- [54] Lin X, Mou R, Cao Z, et al. Characterization of cadmium-resistant bacteria and their potential for reducing accumulation of cadmium in rice grains[J]. *Sci Total Environ*, 2016, 569-570: 97-104.
- [55] 纪雄辉, 梁永超, 鲁艳红, 等. 污染稻田水分管理对水稻吸收积累镉的影响及其作用机制[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3 930-3 939.
- [56] Santiago W R, Vasconcelos S S, Kato O R, et al. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental[J]. *Acta Amazonica*, 2013, 43, 395-406.
- [57] 常同举. 耕作方式对紫色水稻土重金属积累和有效性的影响特性[D]. 重庆: 西南农业大学, 2014.
- [58] 沈欣, 朱奇宏, 朱捍华, 等. 农艺调控措施对水稻镉积累的影响及其机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(8): 1 449-1 454.

Absorption of Heavy Metals in Rice and the Influence factors

HAN Juanying¹, ZHANG Ning², SHU Xiaoli^{2*}, WU Dianxing²

(¹ Zhejiang Yuyao Municipal Seed Administration Station, Yuyao, Zhejiang 315400, China; ² Institute of Nuclear Agricultural Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 1st author: 1293288389@qq.com; *Corresponding author: shuxl@zju.edu.cn)

Abstract: Pollution of heavy metal on soil is the focus for rice quality and safety. The absorption of heavy metals in rice was affected by rice varieties, types of heavy metal, rhizosphere and the cultivation methods and etc. In this review, the factors influencing the absorption of heavy metals mentioned above were summarized, and proposed how to grow and breed good rice with less heavy metal.

Key words: rice; heavy metal; absorption; cultivation regulation