

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.00293

生育类型与施氮水平对粳稻淀粉 RVA 谱特性的影响

李 敏^{1,2} 张洪程^{1,*} 李国业¹ 马 群¹ 杨 雄¹ 魏海燕¹

¹ 扬州大学农业部长江流域稻作技术创新中心 / 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009; ² 贵州省水稻研究所, 贵州贵阳 550006

摘 要: 以长江中下游地区 3 种生育类型中有代表性的 46 个常规粳稻品种为试材, 采用大田条件下的裂区试验, 研究了 4 种施氮水平下稻米 RVA 谱特征值的差异及其与蒸煮食味品质的关系。结果表明: (1) 随着氮肥水平升高, 峰值黏度、崩解值逐渐下降, 消减值、糊化温度逐渐升高, 而热浆黏度、最终黏度和回复值变化无明显规律。(2) 随着生育期的延长, 峰值黏度、崩解值逐渐下降, 回复值、消减值和糊化温度逐渐升高, 热浆黏度和最终黏度均先升后降。(3) 随着生育期的延长, 氮肥水平对稻米 RVA 谱特性的影响分别由优化调控至调控钝感到调控失效。(4) 相关分析表明, 胶稠度和食味值与峰值黏度、热浆黏度相关性均不显著, 而与最终黏度、崩解值、回复值、消减值、糊化温度相关性达显著或极显著水平, 利用食味值与崩解值、最终黏度、糊化温度所建立的回归方程能较好地预测稻米食味值, 使 RVA 对稻米食味的评价定量化。

关键词: 粳稻; 生育期; 氮肥水平; RVA

Effects of Growth-period Type and Nitrogen Application Level on the RVA Profile Characteristics for *Japonica* Rice Genotypes

LI Min^{1,2}, ZHANG Hong-Cheng^{1,*}, LI Guo-Ye¹, MA Qun¹, YANG Xiong¹, and WEI Hai-Yan¹

¹ Innovation Center of Rice Technology in Yangtze Rice Valley, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; ² Rice Research Institute of Guizhou Province, Guiyang 550006, China

Abstract: A field experiment was conducted using 46 *japonica* rice varieties belonging to three growth-period types in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The results were as follows: (1) Generally, with increasing nitrogen application rate, the peak viscosity and the breakdown value decreased, the setback value and the pasting temperature increased accordingly, while the hot viscosity, the final viscosity and the consistency value showed no apparent changes. (2) The peak viscosity and the breakdown value decreased sharply with delaying growth duration among different growth-types of rice cultivars, the setback value, the consistency value and the pasting temperature increased, while the hot viscosity and the final viscosity increased at first and then decreased. (3) As the growth-period prolonged, the influence of nitrogen application rate on the RVA profile changed from the positive to the insensitive and at last to the entirely invalid. (4) Correlation analysis proved that, final viscosity, breakdown, consistency, setback value and pasting temperature were significantly or very significantly correlated with gel viscosity and taste value. Using the regression equation containing breakdown, final viscosity, pasting temperature and taste value, the taste quality could be predicted quantitatively from RVA values.

Keywords: *Japonica* rice; Growth-period; Nitrogen application rate; RVA

淀粉 RVA 谱特性是评价稻米品质的重要指标, 与蒸煮食味品质密切相关。前人就稻米 RVA 谱特征值与稻米食味品质的关系展开了较多的研究^[1-8]。据舒庆尧等^[4]报道, 稻米的直链淀粉含量与消减

值、回复值、热浆黏度和冷胶黏度呈显著或极显著正相关, 与崩解值呈显著负相关。朱满山等^[10]对 3 个 DH 群体的研究表明, 直链淀粉含量与消减值呈显著或极显著正相关, 与糊化温度呈显著或极显

本研究由国家自然科学基金项目(30971732), 国家粮食丰产科技工程项目(2011BAD16B03), 贵州省水稻育种、栽培与产业化创新能力建设项目(黔科合院所创能合[2011]4003)和贵州山区水稻科研基础条件建设项目(黔科条中补地[2011]4005)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 张洪程, E-mail: hc Zhang@yzu.edu.cn, Tel: 0514-87979220

第一作者联系方式: E-mail: limin_good@yahoo.com.cn

Received(收稿日期): 2011-05-17; Accepted(接受日期): 2011-10-12; Published online(网络出版日期): 2011-12-01.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20111201.0921.009.html>

著负相关;胶稠度与峰值黏度、崩解值和糊化温度呈极显著正相关,与消减值呈极显著负相关。隋炯明等^[1]报道,胶稠度与 RVA 各特征值均显著或极显著相关。这些结果均表明 RVA 谱与蒸煮食味品质之间存在着较密切的联系,但对于两者间关系的变化规律,因试验材料、生态环境、种植制度及栽培处理等因素的不同,现有研究结论不一,甚至观点相反。RVA 谱及蒸煮食味各指标的形成是遗传基因与环境互作的结果,不仅受到遗传因素影响,还和水稻生长期的环境条件及栽培处理等有关^[11-18]。虽然温度、氮肥、种植密度、播期、种植方式等对稻米 RVA 谱的影响已有一些研究^[19-23],但关于不同生育类型稻米 RVA 特性的变化及其受

氮肥水平调控的差异尚未见较系统的研究报道。为此,本文期望阐明粳稻 RVA 谱特征值与品种生育类型及其氮肥效应间的关系,为长江中下游地区优质粳稻品种的合理利用与氮肥的合理调优提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用长江中下游地区有代表性的 46 个常规粳稻品种,根据生育类型,将供试粳稻品种分为中熟中粳(10 个)、迟熟中粳(18 个)、早熟晚粳(20 个) 3 类(表 1)。本试验所用材料粒形均为椭圆形,千粒重多为 25~28 g。

表 1 供试水稻品种及其生育期类型
Table 1 List of rice varieties and their growth-period types in this experiment

生育类型 Growth-period type	全生育期 Growth period	品种 Variety
中熟中粳 MMMJ	135-145 d	盐粳 93538、扬粳 687、水晶 3 号、华粳 2 号、淮稻 8 号、泗阳 1382、镇稻 99、农育 1898、徐优 201、南粳 40 Yanjing 93538, Yangjing 687, Shuijing 3, Huajing 2, Huaidao 8, Siyang 1382, Zhendao 99, Nongyu 1898, Xuyou 201, Nanjing 40
迟熟中粳 LMMJ	145-155 d	早丰 9 号、农垦 57、盐粳 5 号、ELIO、徐粳 2000、郑稻 5 号、盐优 1 号、宁恢 8 号、广陵香粳、III 优 98、南粳 39、R254、晚粳 4003、兴化 2001-4、扬辐粳 4928、盐优 2 号、扬辐粳 4901、863B Zaofeng 9, Nongken 57, Yanjing 5, ELIO, Xujing 2000, Zhengdao 5, Yanyou 1, Ninghui 8, Guanglingxiangjing, III You 98, Nanjing 39, R254, Wanjing 4003, Xinghua 2001-4, Yangfujing 4928, Yanyou 2, Yangfujing 4901, 863B
早熟晚粳 EMLJ	155-165 d	镇稻 210、香粳 T31、武粳 13、武 2401、86 优 8 号、常农粳 4 号、武香粳 14、宁粳 1 号、晚粳 97、武运粳 7 号、镇稻 196、香粳 20-18、武粳 15、镇稻 158、苏香粳 1 号、武香粳 9 号、9746、99-295 Zhendao 210, Xiangjing T31, Wujing 13, Wu 2401, 86 you 8, Changnongjing 4, Wuxiangjing 14, Ningjing 1, Wanjing 97, Wuyunjing 7, Zhendao 196, Xiangjing 20-18, Wujing 15, Zhendao 158, Suxiangjing 1, Wuxiangjing 9, 9746, 99-295

MMMJ: medium-maturing medium japonica rice; LMMJ: late-maturing medium japonica rice; EMLJ: early-maturing late japonica rice.

1.2 试验方法

试验于 2007 和 2008 年在扬州大学农学院试验农场进行,两年试验相同。土质为沙壤土,含全氮 0.13%、碱解氮 88.41 mg kg⁻¹、速效磷 33.3 mg kg⁻¹、速效钾 89.7 mg kg⁻¹。采用裂区设计,以施氮(纯氮)为主区,设不施氮、低氮(150 kg hm⁻²)、中氮(225 kg hm⁻²)、高氮(300 kg hm⁻²) 4 个水平。以品种为裂区,裂区面积为 4 m²,重复 3 次,主区间作大埂隔离,并用塑料薄膜覆盖埂体,保证各区间单独排灌。于 5 月 13 日播种,6 月 12 日移栽,栽插密度为 27 万穴 hm⁻² (26.0 cm×14.4 cm),双本栽插。氮肥(尿素)的基肥:蘖肥:穗肥=1:1:2,其中穗肥分别于倒四叶和倒二叶叶龄期等量施入,不同类型水稻分别按其生育进程严格控制施肥时间;P、K 肥同常规栽培,

每公顷施 P₂O₅ 150 kg, K₂O 150 kg,全部用做基肥。其他管理措施统一按常规栽培要求实施。

1.3 测定项目与分析方法

1.3.1 蛋白质含量、直链淀粉含量、胶稠度 于稻米收获 3 个月后,按照中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999》测定。

1.3.2 食味值(食味综合值) 采用日本株式会社 KETT 科学研究所生产的 AN-700 型成分分析仪测定。

1.3.3 稻米淀粉黏滞性 采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司的 Super3 型 RVA (rapid viscosity analyzer)快速测定,用 TWC (thermal cycle for windows)配套软件分析数据。按照 AACC (美国谷物化学家协会)规程(1995-61-02)和 RACI 标准方法,当米

粉含水量为 12.00% 时, 取 3.00 g 样品加 25.00 g 蒸馏水。在搅拌中, 罐内温度于 50℃ 保持 1 min, 以 11.84℃ min⁻¹ 的速度上升至 95℃ (3.8 min) 保持 2.5 min, 再以 11.84℃ min⁻¹ 的速度下降至 50℃ 并保持 1.4 min。搅拌器的转动速度在起始 10 s 内为 960 r min⁻¹, 之后保持在 160 r min⁻¹。稻米 RVA 谱特性用最高黏度(peak viscosity)、热浆黏度(hot viscosity)、最终黏度(final viscosity) 3 个一级参数和崩解值(breakdown, 最高黏度与热浆黏度之差)、消减值(setback, 最终黏度与最高黏度之差)、回复值(consistence, 最终黏度与热浆黏度之差) 3 个二级参数表示, 单位为 cP (centiPoise), 同时记录起始糊化温度(pasting temperature)。

1.3.4 数据分析 两年试验的重复性较好, 品种和处理间各指标值变化趋势一致, 因此, 本文以 2008 年数据进行分析。用 Microsoft Excel 和唐启义的 DPS 统计软件分析数据, 采用最小显著差数法(LSD)进行多重比较, 采用向后逐步回归法建立最优回归方程。

2 结果与分析

2.1 氮肥水平对不同生育类型稻米 RVA 特征值的影响

由表 2 可知, 随着氮肥水平升高和生育期延长, 峰值黏度均不断降低, 且品种间的变异系数均表现逐渐变小的趋势。热浆黏度在氮肥水平间变化无明显规律, 但迟熟中粳>中熟中粳>早熟晚粳。从变异系数来看, 生育类型间大于氮肥水平间。最终黏度在氮肥水平间和生育类型间变化规律同热浆黏度一致。

随着氮肥水平的升高, 崩解值不断降低, 消减值不断升高, 不同生育类型品种对氮肥的反应有差异(表 2)。对中熟中粳而言, 从低氮到中氮再到高氮, 崩解值先升后降, 消减值先降后升; 对迟熟中粳, 崩解值和消减值在无氮、低氮和中氮条件下差异均未达显著水平; 对早熟晚粳, 崩解值和消减值在氮肥水平间差异均达到极显著水平。随着生育期延迟, 崩解值不断降低, 消减值逐渐升高。变异系数随着氮肥水平升高和生育期延迟均表现逐渐变小的趋势。

随着氮肥水平升高, 回复值无明显变化规律, 但无氮和低氮条件下的回复值较中氮和高氮条件下要高(表 2)。随着生育期延迟, 回复值不断变大。氮

肥水平间变异系数以迟熟中粳类型最大, 为 79.38%, 品种间变异系数以低氮条件下最大, 为 102.02%。

随着氮肥水平升高, 淀粉起始糊化温度总体上呈升高的趋势, 其中, 中熟中粳类型在中氮和高氮条件下有所下降, 迟熟中粳不断升高, 但在无氮、低氮和中氮条件下差异未达显著水平, 极差仅为 0.64℃, 早熟晚粳不断升高, 且氮肥水平间差异均达到显著或极显著水平。随着生育期的延长, 稻米淀粉糊化温度升高。变异系数随着氮肥水平升高和生育期延迟均逐渐变小(表 2)。

2.2 氮肥水平对不同生育类型稻米蛋白质含量的影响

由表 3 可知, 3 种类型品种的蛋白质含量均随着氮肥水平的升高而增加。多重比较表明, 蛋白质含量在氮肥水平间的差异均达到极显著水平, 由此可见, 稻米蛋白质含量受氮肥水平的影响较大, 就不同类型来看, 中熟中粳在低氮和中氮条件下蛋白质含量差异未达极显著水平, 迟熟中粳类型在无氮、低氮和中氮条件下的差异也未达极显著水平, 而迟熟中粳在 4 种氮肥水平间均表现出极显著差异, 说明不同生育类型稻米受氮肥水平的影响有差异。从平均值来看, 随着生育期的延长, 稻米蛋白质含量有增加的趋势, 早熟晚粳蛋白质含量为 8.13%, 较迟熟中粳和中熟中粳品种的蛋白质含量分别高出 2.85% 和 3.67%。同一品种在 4 种氮肥水平下稻米蛋白质含量的极差最大为 3.25%, 最小为 0.75%; 变异系数最大为 16.07%, 最小为 4.46%。

2.3 氮肥水平对稻米胶稠度、直链淀粉含量及食味值的影响

随着氮肥水平升高, 胶稠度逐渐变短、直链淀粉含量和稻米食味值降低, 统计差异达显著或极显著水平(表 4), 这表明在相对较高的施氮水平下, 供试品种的总体食味品质呈较明显的下降。比较不同施氮水平的极差和变异系数可知, 胶稠度在无氮、低氮和中氮条件下的极差较为接近, 高氮条件下的极差和变异系数均最小, 而直链淀粉含量在无氮条件下极差最大, 在其他 3 种氮肥水平下的极差较为接近, 这说明供试品种在胶稠度和直链淀粉含量之间的差别, 在低氮水平下往往表现得较明显, 随着施氮水平的不断提高, 胶稠度的“异质性”将有所缩小, 不利于品种资源之间胶稠度指标的差别鉴定。

值得关注的是, 稻米食味值在无氮和低氮条件下的极差相对较大, 但其变异系数却相对较小(与中

表 2 氮肥水平对不同生育类型稻米 RVA 谱特征值的影响

Table 2 Effects of nitrogen application rate on RVA profile values for rice cultivars with different growth-period types

参数 Parameter	品种类型 Cultivar type	无氮 No nitrogen	低氮 Low nitrogen	中氮 Middle nitrogen	高氮 High nitrogen	平均 Average	变异系数 CV (%)
峰值黏度 Peak viscosity (cP)	中熟中粳 MMMJ	2893.40 aA	2806.06 bA	2564.50 bB	2759.60 aA	2755.89	19.81
	迟熟中粳 LMMJ	2907.22 aA	2848.59 aA	2658.00 aA	2523.00 bB	2734.20	15.49
	早熟晚粳 EMLJ	2786.11 bB	2486.39 cB	2372.61 cC	2277.00 cC	2480.53	11.23
	平均 Average	2862.24	2713.68	2531.70	2519.87		
	变异系数 CV (%)	43.17	13.71	17.40	10.44		
热浆黏度 Hot viscosity (cP)	中熟中粳 MMMJ	1411.40 bB	1444.28 aA	1088.80 bB	1334.30 aA	1319.69	8.21
	迟熟中粳 LMMJ	1492.72 aA	1386.76 bB	1239.50 aA	1333.65 aA	1363.16	12.90
	早熟晚粳 EMLJ	1487.22 aA	1266.17 cC	1239.17 aA	1278.00 bA	1317.64	11.54
	平均 Average	1463.78	1365.74	1189.16	1315.32		
	变异系数 CV (%)	32.21	15.02	13.68	40.70		
最终黏度 Cool viscosity (cP)	中熟中粳 MMMJ	2483.10 bB	2621.57 aA	2137.40 bB	2393.30 cB	2408.84	11.82
	迟熟中粳 LMMJ	2665.50 aA	2558.76 bB	2396.28 aA	2526.47 aA	2536.75	22.87
	早熟晚粳 EMLJ	2722.44 aA	2460.33 cC	2412.61 aA	2446.59 bB	2510.49	17.59
	平均 Average	2623.68	2546.89	2315.43	2455.45		
	变异系数 CV (%)	21.02	31.30	15.01	36.60		
崩解值 Breakdown (cP)	中熟中粳 MMMJ	1482.00 aA	1361.78 bB	1475.70 aA	1425.30 aA	1436.19	25.77
	迟熟中粳 LMMJ	1414.50 bB	1461.82 aA	1418.50 bA	1189.35 bB	1371.04	11.15
	早熟晚粳 EMLJ	1298.89 cC	1220.22 cC	1133.44 cB	999.00 cC	1162.89	9.05
	平均 Average	1398.46	1347.94	1342.55	1204.55		
	变异系数 CV (%)	15.10	11.10	7.32	5.64		
回复值 Consistence (cP)	中熟中粳 MMMJ	1071.70 cB	1177.29 abA	1048.60 bA	1059.00 bB	1089.15	18.30
	迟熟中粳 LMMJ	1172.78 bA	1172.00 bA	1156.78 aA	1192.82 aA	1173.59	79.38
	早熟晚粳 EMLJ	1235.22 aA	1194.17 aA	1173.44 aA	1168.59 aA	1192.86	39.31
	平均 Average	1159.90	1181.15	1126.27	1140.14		
	变异系数 CV (%)	14.06	102.02	16.62	15.99		
消减值 Setback (cP)	中熟中粳 MMMJ	-410.30 cC	-184.49 bB	-427.10 cB	-366.30 cB	-347.05	3.12
	迟熟中粳 LMMJ	-241.72 bB	-289.82 cB	-261.72 bAB	3.47 bA	-197.45	1.46
	早熟晚粳 EMLJ	-63.67 aA	-26.06 aA	40.00 aA	169.59 aA	29.97	0.29
	平均 Average	-238.56	-166.79	-216.27	-64.41		
	变异系数 CV (%)	1.38	1.26	0.91	0.23		
糊化温度 Pasting temperature (°C)	中熟中粳 MMMJ	73.19 aA	73.99 aA	72.71 cB	72.40 cB	73.07	105.27
	迟熟中粳 LMMJ	72.23 bA	72.66 aA	73.30 bB	76.24 bB	73.61	40.67
	早熟晚粳 EMLJ	72.10 bA	75.66 aA	76.44 aA	81.06 aA	76.31	20.71
	平均 Average	72.51	74.10	74.15	76.57		
	变异系数 CV (%)	122.40	49.36	36.90	17.65		

大、小写字母分别表示同一列数据 1%和 5%差异显著水平。

Values with in a row followed by different letters are significantly different at 1% (capital) and 5% (small) probability levels, respectively. MMMJ: medium-maturing medium japonica rice; LMMJ: late-maturing medium japonica rice; EMLJ: early-maturing late japonica rice.

氮和高氮条件相比), 其原因可能是不同品种对氮肥的反应有差异。

2.4 稻米蛋白质、胶稠度、直链淀粉含量及食味值与 RVA 特征值的关系

由表 5 可知, 食味值与蛋白质、最终黏度、回

复值、消减值和糊化温度呈显著或极显著负相关, 而与胶稠度、崩解值呈极显著正相关; 直链淀粉含量与峰值黏度、热浆黏度、最终黏度和回复值呈显著或极显著正相关, 但与食味值相关不显著; 蛋白质对 RVA 各特征值影响主要表现在峰值黏度、崩解

值、消减值、糊化温度这 4 个指标上。其中, 它与 糊化温度呈极显著正相关, 说明蛋白质是影响稻米峰值黏度、崩解值呈极显著负相关, 但与消减值、 RVA 谱的重要因素。

表 3 氮肥水平对不同生育类型稻米蛋白质含量的影响
Table 3 Effects of nitrogen application rate on protein content of different growth types

生育类型 Growth type	施氮水平 Nitrogen application	平均值 Mean (%)	标准差 SD	最大值 Max (%)	最小值 Min (%)	极差 Range (%)	变异系数 CV (%)
中熟中粳 MMMJ	无氮 No nitrogen	7.22 dC	0.35	8.10	6.40	1.70	4.85
	低氮 Low nitrogen	7.53 cB	0.51	7.95	6.45	1.50	6.77
	中氮 Middle nitrogen	7.97 bB	0.43	8.65	7.15	1.50	5.40
	高氮 High nitrogen	8.66 aA	0.38	9.30	8.20	1.10	4.39
	平均 Average	7.84	0.35	9.30	6.40	2.90	4.46
迟熟中粳 LMMJ	无氮 No nitrogen	7.39 dB	0.33	8.15	6.70	1.45	4.47
	低氮 Low nitrogen	7.59 cB	0.31	8.20	6.80	1.40	4.08
	中氮 Middle nitrogen	8.06 bB	0.44	9.30	7.30	2.00	5.46
	高氮 High nitrogen	8.86 aA	0.46	10.20	8.05	2.15	5.19
	平均 Average	7.91	0.32	10.20	6.70	3.50	4.05
早熟晚粳 EMLJ	无氮 No nitrogen	7.39 dD	0.38	8.30	6.60	1.70	5.14
	低氮 Low nitrogen	7.63 cC	0.44	8.30	6.70	1.60	5.77
	中氮 Middle nitrogen	8.42 bB	0.39	9.55	7.30	2.25	4.63
	高氮 High nitrogen	9.21 aA	0.38	10.45	8.25	2.20	4.13
	平均 Average	8.13	0.46	10.45	6.60	3.85	5.66

大、小写字母分别表示同一列数据 1%和 5%差异显著水平。

Values with in a row followed by different letters are significantly different at 1% (capital) and 5% (small) probability levels, respectively. MMMJ: medium-maturing medium japonica rice; LMMJ: late-maturing medium japonica rice; EMLJ: early-maturing late japonica rice.

表 4 氮肥水平对稻米胶稠度、直链淀粉含量及食味值的影响
Table 4 Effects of nitrogen application rate on gel consistency, amylose content, and taste value of different growth types

参数 Parameter	施氮水平 Nitrogen application	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	变异系数 CV (%)
胶稠度 Gel consistency (mm)	无氮 No nitrogen	65 aA	6.69	75	42	33	10.37
	低氮 Low nitrogen	62 bB	6.18	73	39	34	9.95
	中氮 Middle nitrogen	58 cC	5.58	68	35	33	9.57
	高氮 High nitrogen	50 dD	4.74	56	34	22	9.47
	平均 Average	59	7.98	75	34	41	13.59
直链淀粉含量 Amylose content (%)	无氮 No nitrogen	18.74 aA	1.71	19.68	16.55	3.13	9.12
	低氮 Low nitrogen	17.57 bAB	1.40	16.15	14.65	1.50	7.95
	中氮 Middle nitrogen	16.83 cB	1.24	15.50	13.60	1.90	7.37
	高氮 High nitrogen	15.26 dC	1.37	14.50	13.40	1.10	8.97
	平均 Average	17.10	1.77	19.68	13.40	6.28	10.34
食味值 Taste value	无氮 No nitrogen	70.15 aA	3.97	75.0	62.0	13.0	5.66
	低氮 Low nitrogen	67.62 bB	3.39	73.0	60.0	13.0	5.01
	中氮 Middle nitrogen	64.93 cC	3.84	67.5	56.0	11.5	5.92
	高氮 High nitrogen	60.11 dD	3.73	63.5	52.5	11.0	6.20
	平均 Average	65.71	5.00	75.0	52.5	22.5	7.61

大、小写字母分别表示同一列数据 1%和 5%差异显著水平。

Values in a row followed by different letters are significantly different at 1% (capital) and 5% (small) probability levels, respectively.

表 5 稻米蛋白质、胶稠度、直链淀粉含量、食味值与 RVA 特征值的相关关系
Table 5 Correlation of protein, gel consistency, amylose content, taste value, and RVA parameters

	峰值黏度 Peak viscosity	热浆黏度 Hot viscosity	最终黏度 Cool viscosity	崩解值 Break- down	回复值 Consis- tence	消减值 Setback	糊化温度 Pasting temperature	蛋白质 Protein content	胶稠度 Gel con- sistency	直链淀粉 含量 Amylose content
蛋白质 Protein content	-0.471**	-0.018	0.109	-0.582**	0.197	0.477**	0.462**			
胶稠度 Gel consistency	0.195	-0.280	-0.464**	0.430**	-0.566**	-0.574**	-0.311*	-0.448**		
直链淀粉含量 Amylose content	0.310*	0.520**	0.555**	0.028	0.507**	0.250	-0.040	-0.181	-0.349*	
食味值 Taste value	0.184	-0.218	-0.312*	0.394**	-0.334*	-0.429**	-0.490**	-0.674**	0.408**	0.040

*,**分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。

*,** denote significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

最终黏度、崩解值、回复值、消减值和糊化温度与食味值存在显著或极显著的相关关系,可作为表征食味值的特征指标,通过对食味值与最终黏度、崩解值、回复值、消减值和糊化温度的逐步回归分析,建立的最优回归方程为 $Y = 78.07 + 0.002x_1 - 0.345x_2 + 0.007x_3$ (式中: Y 代表食味值; x_1 、 x_2 、 x_3 分别代表最终黏度、糊化温度和崩解值), 该方程 $P = 0.016$, 达显著水平 ($n = 46$)。故在 RVA 谱众多特征值中选择性地计算该 3 个指标便可对稻米食味品质量化评估。用此方程求出不同生育类型的 46 个品种在 4 种氮肥水平下的 184 个预测值与实际测得的食味值的相关系数 $r = 0.702$, 达极显著水平 ($n = 184$), 说明用此方程对稻米食味品质的评价具有一定的应用价值(图 1)。

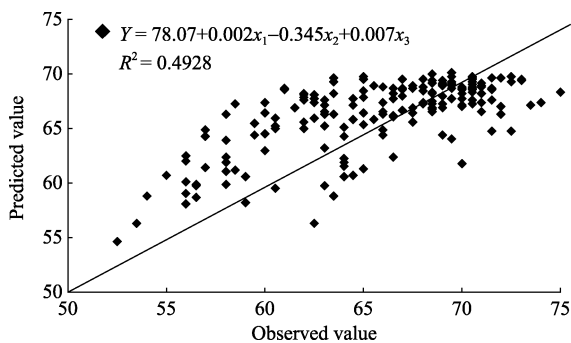


图 1 稻米食味值的预测值与实测值的比较 ($n=184$)

Fig. 1 Comparison of predicted and observed taste value in rice ($n=184$)

3 讨论

3.1 氮肥水平对稻米 RVA 谱特征值的影响

关于氮肥水平对稻米 RVA 特征谱影响的研究很多,一般认为,随着施氮量的增加,峰值黏度、崩解值下降,回复值、消减值升高,糊化温度升高,稻米

蒸煮食味品质变劣^[1-6]。本研究也得到类似的结果,但氮肥水平对稻米 RVA 特征谱的影响在不同生育类型间表现不一。对中熟中粳,除无氮外,以中氮条件下 RVA 值最优,如崩解值最大,回复值和消减值最小,过低或过高的氮肥水平均使 RVA 谱变劣,表现氮肥对 RVA 谱良好的调控作用;对迟熟中粳,随着氮肥水平升高, RVA 谱特征值在无氮、低氮和中氮条件下差异不明显,崩解值、回复值、消减值和糊化温度均未达到显著性差异,但与高氮条件下差异极显著。说明对迟熟中粳类型,适量增加氮肥达到高产的同时也不会明显影响食味品质,但过量的氮肥造成食味品质明显变劣。而对早熟晚粳类型,氮肥水平的增加使得 RVA 特征谱迅速变劣。由此推测,随着生育期的延迟,氮肥水平对稻米 RVA 谱的影响由优化调控到调控钝感再到调控失效。此外,不同生育类型品种蛋白质含量对氮肥的反应也有差异,且变化规律与 RVA 谱较一致,相关分析表明,蛋白质含量与峰值黏度、崩解值、消减值和糊化温度有极显著相关关系。谢黎虹等^[24]已证实稻米蛋白质含量是影响稻米 RVA 的一个重要因素,所以,不同生育类型稻米受氮肥水平调控时,蛋白质含量或蛋白质组分的差异^[25]可能是导致稻米 RVA 特性差异的重要原因。

3.2 生育类型对稻米 RVA 谱特征值的影响

据已有研究可知,水稻品种的生育期特别是熟期不同对稻米品质有一定的影响^[26-27],但有关不同生育类型稻米蒸煮食味品质方面的研究不多。本研究前文报道,随着生育期延长,粳稻品种胶稠度缩短,直链淀粉含量增加,食味值却略有上升^[28]。本文表明,随着生育期的延迟,峰值黏度和崩解值逐渐下降,回复值、消减值和糊化温度逐渐升高,热浆

黏度和最终黏度均先升后降, 说明生育期的延迟使稻米 RVA 谱变劣。前人研究认为, 胶稠度长、直链淀粉含量中等、食味值高的稻米, 其蒸煮食味品质较好^[15]。结合前文报道^[28]可以发现, 随着生育期的延迟, 稻米 RVA 特征值与蒸煮食味指标的表征并非完全一致, 说明稻米食味评价的复杂性。究其原因, 各品种蒸煮食味指标及 RVA 特征值的差异, 可能一定程度上是其抽穗期不同, 灌浆期间的温光等气候环境因素差异所引起的^[20], 并不完全与这几类品种之间的品质遗传差异有较密切的联系。另外, 食味值不仅存在着品种间差异, 而且不同品种对氮肥的反应也有差异^[28], 同一生育类型中因对氮素反应敏感的品种数量或敏感程度不同而影响到该类型整体品质的表现。

3.3 关于稻米蒸煮食味品质与 RVA 特征值的关系

本文结果表明, 蛋白质、胶稠度、食味值都与 RVA 特征值尤其是崩解值、回复值、消减值和糊化温度的相关性较为密切, 此与朱满山等^[10]结果基本一致。直链淀粉含量与 RVA 一级参数及回复值有显著或极显著关系, 与其他特征值相关不显著, 这与前人结果不尽一致^[4,9-10], 如舒庆尧等^[4]报道, 直链淀粉含量越高的品种, 最高黏度、崩解值越小, 而最终黏度、回复值和消减值越大。这可能与供试品种的选择有关, 本试验供试品种的平均直链淀粉含量均较小, 在 13.40%~19.68% 之间, 崔改泵^[2]研究表明直链淀粉含量在 20.9%~23.8%、16.5%~19.6% 区间内与食味值没有明显的负相关, 本文也证明, 食味值与胶稠度极显著正相关, 而与直链淀粉含量关系不显著, 这与金正勋等^[29]的报道一致。

前人就 RVA 谱特征值与蒸煮食味品质的关系进行了大量研究^[1-8], 但结果不一, 且用 RVA 众多特征值去评价蒸煮食味品质本身就非常复杂, 常是经验比较和粗略预测。因此, 本研究除考虑品种本身基因型差异外, 还考虑了氮素调控及不同生育期所致的温光环境因子的影响, 系统研究了 RVA 与蒸煮食味品质的关系, 发现胶稠度和食味值与峰值黏度、热浆黏度相关性均不显著, 因此认为这两个指标对蒸煮食味直接评价的意义不大。由于各特征值对评价食味的贡献大小不同, 无法利用单个指标对食味单独评价, 所以对与蒸煮食味品质密切联系的指标与食味值进行逐步回归分析, 建立的回归方程包含了一级数据(最终黏度)、二级数据(崩解值)和糊化温

度, 这不仅对今后的稻米食味评价工作排除了冗余指标的干扰, 也使 RVA 特征值对蒸煮食味的评价得以量化, 从而使鉴定更科学、简捷。并在试验中证明, 用此方程对参试品种进行食味预测准确有效。

4 结论

随着氮肥水平升高, 峰值黏度、崩解值下降, 消减值、糊化温度升高, 而热浆黏度、最终黏度和回复值变化无明显规律, 食味品质变劣。随着生育期的延长, 峰值黏度、崩解值逐渐下降, 回复值、消减值和糊化温度逐渐升高, 热浆黏度和最终黏度均先升后降, RVA 特征值有变劣的趋势。随着生育期延长, 氮肥水平对稻米 RVA 谱特性的影响分别由优化调控至调控钝感到调控失效。RVA 谱与胶稠度和食味值关系密切, 利用崩解值、最终黏度、糊化温度与食味值所建立的回归方程能较好地预测稻米食味。

References

- [1] Sui J-M(隋炯明), Li X(李欣), Yan S(严松), Yan C-J(严长杰), Zhang R(张蓉), Tang S-Z(汤述囊), Lu J-F(陆驹飞), Chen Z-X(陈宗祥), Gu M-H(顾铭洪). Studies on the rice RVA profile characteristics and its correlation with the quality. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2005, 38(4): 657-663 (in Chinese with English abstract)
- [2] Cui G-B(崔改泵). Study on Methods for Evaluating Amylose Content in Paddy Rice. MS Dissertation of China Agricultural University, 2004 (in Chinese with English abstract)
- [3] Chen N(陈能), Luo Y-K(罗玉坤), Zhu Z-W(朱智伟), Zhang B-P(张伯平), Zheng Y-C(郑有川), Xie L-H(谢黎虹). Correlation between eating quality and physico-chemical properties of high grain quality rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 1997, 11(2): 70-76 (in Chinese with English abstract)
- [4] Shu Q-Y(舒庆尧), Wu D-X(吴殿星), Xia Y-W(夏英武), Gao M-W(高明尉). Relationship between RVA profile character and eating quality in *Oryza sativa* L. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1998, 31(3): 25-29 (in Chinese with English abstract)
- [5] 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. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2001, 15(1): 57-59 (in Chinese with English abstract)
- [6] 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 Agron Sin* (作物学报), 2001, 27(2): 165-172 (in Chinese with English abstract)

- [7] Deffenbaugh L B, Walker C E. Comparison of starch pasting properties in the Brabender Viscoamylograph and the Rapid Visco-Analyzer. *Cereal Chem*, 1989, 66: 493–499
- [8] Reddy K R, Subramanian R, Zakiuddin S A, 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] Hu P-S(胡培松), Zhai H-Q(翟虎渠), Tang S-Q(唐绍清), Wan J-M(万建民). Rapid evaluation rice cooking and palatability quality by RVA profile. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2004, 30(6): 519–524 (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhu M-S(朱满山), Gu M-H(顾铭洪), Tang S-Z(汤述翥). Correlation analysis of starch RVA profiles and cooking physicochemical indices of different cultivars (lines) and DH populations in *japonica* rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(3): 411–418 (in Chinese with English abstract)
- [11] Bason M L, Blakeney A B, Booth R I. Assessing rice quality using the RVA results of an international collaborative trial. *RVA World*, 1994, 6: 2–5
- [12] Reddy K R, Subramanian R, Zakiuddin S A. Viscoelastic properties of rice flour pastes and the rice relationship to amylase content and rice quality. *Cereal Chem*, 1994, 71: 548–552
- [13] American Association of Cereal Chemistry (AACC). Methods 6102 for RVA, 9th edn. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemistry, 1995
- [14] Huang F-S(黄发松), Sun Z-X(孙宗修), Hu P-S(胡培松). Present situations and prospects for the research on rice grain quality forming. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 1998, 12(3): 172–176 (in Chinese with English abstract)
- [15] Lim S. Varietal variation of amylogram properties and its relationship with other eating quality characteristics in rice. *Korean J Breed*, 1995, 27: 268–275
- [16] Kim K H. Varietal variation of cooking quality and interrelationship between cooking and physicochemical properties of rice grain. *Korean J Crop Sci*, 1994, 39: 45–54
- [17] Kim K H. Varietal and environmental variation of gel consistency of rice flour. *Korean J Crop Sci*, 1993, 38: 38–45
- [18] Cheong J I. Effects of slow release fertilizer application on rice grain quality at different culture methods. *Korean J Crop Sci*, 1996, 41: 286–294
- [19] Liu J(刘建), Wei Y-F(魏亚凤), Xia L-R(夏礼如), Wu K(吴魁), Xu S-A(徐少安). Effect of different nitrogen level on quality of rice grain and RVA profile character. *J Jinling Ins Technol* (金陵科技学院学报), 2004, 20(1): 34–38 (in Chinese with English abstract)
- [20] Yao Y-M(姚月明), Shen X-P(沈新平), Shen M-X(沈明星). Effect of sowing date on rice amylose viscosity of *japonica* rice variety “Suxiangjing 2”. *Jiangsu J Agric Sci* (江苏农业学报), 2003, 19(3): 163–165 (in Chinese with English abstract)
- [21] Jin J(金军), Xu D-Y(徐大勇), Cai Y-X(蔡一霞), Hu S-Y(胡署云), Ge M(葛敏), Zhu Q-S(朱庆森). Effect of N-fertilizer on main quality characters of rice and RVA profile parameters. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2004, 30(2): 154–158 (in Chinese with English abstract)
- [22] Ye Q-B(叶全宝), Zhang H-C(张洪程), Li H(李华), Huo Z-Y(霍中洋), Wei H-Y(魏海燕), Dai Q-G(戴其根), Xu K(许轲). Effects of amount of nitrogen applied and planting density on RVA profile characteristic of *japonica* rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(1): 124–130 (in Chinese with English abstract)
- [23] Zhang Z-C(张自常), Sun X-L(孙小林), Chen T-T(陈婷婷), Liu L-J(刘立军), Yang J-C(杨建昌). Effects of non-flooded mulching cultivation on the yield and quality of rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2010, 36(2): 285–295 (in Chinese with English abstract)
- [24] Xie L-H(谢黎虹), Chen N(陈能), Duan B-W(段彬伍), Zhu Z-W(朱智伟). Effects of proteins on RVA viscosity properties of rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2006, 20(5): 524–528 (in Chinese with English abstract)
- [25] Xie L H, Chen N, Duan B W, Zhu Z W, Liao X Y. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *J Cereal Sci*, 2008, 47: 372–379
- [26] Xu R-L(许仁良), Dai Q-G(戴其根), Huo Z-Y(霍中洋), Wang X-Q(王秀芹). Effects of nitrogen fertilizer quantity on different rice variety quality. *J Yangzhou Univ* (Agric & Life Sci Edn)(扬州大学学报·农业与生命科学版), 2005, 26(1): 66–68 (in Chinese with English abstract)
- [27] Yan G-B(严光彬), Li Y-L(李彦利), Wang W-C(王万成), Wang C-A(王成瓌), Yan Y-F(严永峰), Chu X-C(初秀成), Meng L-J(孟令军). Analysis of yield, quality and benefit in different maturing varieties of rice. *J Jilin Agric Sci* (吉林农业科学), 2002, 27(5): 35–37 (in Chinese with English abstract)
- [28] Gao H(高辉), Ma Q(马群), Li G-Y(李国业), Yang X(杨雄), Li X-Q(李雪侨), Yin C-Y(殷春渊), Li M(李敏). The effect of nitrogen application rate on cooking and eating qualities of growth-development type in *japonica* rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2010, 43(21): 4543–4552 (in Chinese with English abstract)
- [29] Jin Z-X(金正勋), Qiu T-Q(秋太权), Sun Y-L(孙艳丽), Jin X-Y(金学泳). Study on the correlation of the cooking and eating quality properties of rice grain. *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), 2001, 32(1): 1–7 (in Chinese with English abstract)