

直立与弯曲穗型水稻穗上不同部位籽粒淀粉 RVA 谱特征的比较

陈书强^{1,2}, 薛菁芳², 张文忠¹, 马殿荣¹, 徐正进¹, 陈温福¹

(1. 沈阳农业大学 水稻研究所 辽宁 沈阳 110161; 2. 黑龙江省农业科学院 水稻研究所 黑龙江 佳木斯 154026)

摘要: 利用 3 个直立穗型和 3 个弯曲穗型粳稻品种研究了两种不同穗型水稻穗上不同部位籽粒淀粉 RVA 谱特征的差异。研究结果表明 粳稻的穗型特征与品种间的淀粉 RVA 谱特征值高低、穗内不同部位间的变异及粒位顺序并无直接必然的联系。同一稻穗内不同粒位间的淀粉 RVA 谱特征值高低与其颖花在穗上的开花顺序有一定联系, 两种穗型(直立和弯曲)品种都是一次枝梗上籽粒的淀粉粘滞特性优于二次枝梗上籽粒 穗上部籽粒的淀粉粘滞特性好于穗下部籽粒。品种的一次和二次枝梗与上部、中部和下部枝梗这两类粒位之间的互作对淀粉 RVA 谱特征值有显著影响。

关键词: 粳稻; 穗型; 粒位; 淀粉粘滞特性

中图分类号: S511.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)03-0113-07

Comparisons of RVA Profile Characteristics of Grains at Different Positions of Panicle between Erect Panicle Type and Curved Panicle Type of Japonica Rice

CHEN Shu-qiang^{1,2}, XUE Jing-fang², ZHANG Wen-zhong¹, MA Dian-rong¹,
XU Zheng-jin¹, CHEN Wen-fu¹

(1. Rice Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Jiamusi 154026, China)

Abstract: Under the field conditions, three japonica cultivars with erect panicle and three japonica cultivars with curved panicle were applied to compare the difference in RVA profile characteristics of rice grains at different positions in two different panicle type. Results indicated panicle types of japonica rice had no direct correlation with RVA profile characteristics of rice cultivars tested, difference of RVA profile characteristics in the grains at the different parts of panicle and order of its grain positions. The variation in RVA profile characteristics of grains at the different positions within a panicle was closely related to the flowering order of rice grains on the rachis branches. The similar trends of starch viscosity characteristics could be seen for two panicle type rice cultivars, in which starch viscosity characteristics for the grains on a primary branch and at top part were better than those on a secondary branch and at bottom part. The significant difference was found in RVA profile characteristics among grains located on different rachises (primary and secondary rachises) and panicle position, i. e. top, middle, and bottom in rice cultivars.

Key words: Japonica rice; Panicle type; Grain position; Starch viscosity

东北稻区是优质粳稻的主产区, 种植面积虽小, 但是品质产量潜力很大^[1]。东北稻区直立、半直立穗型品种的推广应用使水稻单产上了一个新台阶^[2], 但是对于直立穗型品种的米质普遍看法是稍

差于弯曲穗型品种^[3]。因此, 改善东北稻区直立穗型粳稻的米质, 对于提高东北大米的市场竞争力和确保我国人口粮食安全, 具有重要的意义, 也是北方粳稻优质育种需要解决的一个关键问题。

收稿日期: 2011-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370866); 公益性(农业)科研专项(200903003); 黑龙江省农业科技创新工程(2009)

作者简介: 陈书强(1976-), 男, 黑龙江阿城人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事水稻高产高效优质栽培研究。

通讯作者: 徐正进(1958-), 男, 辽宁营口人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水稻产量生理与遗传基础研究工作。

对于一个稻穗内部而言,由于各枝梗上的籽粒以及同一枝梗上不同粒位间的籽粒存在着开花时间以及发育上的差异,因而不同部位间的籽粒形成了粒重和米质性状上的差异^[4-5]。以往的研究多数是从整体上比较不同穗型粳稻米质的差异,但有关不同穗型粳稻穗上不同部位籽粒的米质的差异及其分布特点报道较少,尤其关于不同粒位的食味和淀粉粘滞特性研究相对更少。本研究选用典型的直立穗型和弯曲穗型粳稻为材料,比较分析了粳稻不同穗型间以及同一穗型内不同部位籽粒的淀粉粘滞特性的差异性,阐明了淀粉粘滞特性在不同部位及在穗上的分布特点,以期通过研究,进一步揭示不同穗型粳稻品种的穗内粒间淀粉粘滞特性变化及其部位分布特征,为直立穗型粳稻优质高产育种提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料为不同穗型的 6 个粳稻品种,生育期 155~158 d。直立穗型品种 3 个,分别为千重浪 1 号(QCL1)、辽粳 5 号(LG5)、ZF₁₃(辽粳 5 号与丰锦杂交后代(13 代)分离出的稳定纯合直立穗型株系),弯曲穗型品种 3 个,分别为沈农 315(SN315)、

丰锦(FJ)、WF₁₃(辽粳 5 号与丰锦杂交后代(13 代)分离出的稳定纯合弯曲穗型株系)。

1.2 试验设计

试验于 2006 年在沈阳农业大学水稻研究所试验田进行,试验采用随机区组设计,3 次重复,小区行长 4 m,每区 8 行,面积约 9.6 m²。试验地土质为棕壤土,地势平坦,肥力中等,并水灌溉。于 4 月 10 日左右播种,播种量 0.2 kg/m²,营养土保温旱育苗,5 月 20 日左右移栽,插植行株距为 30 cm×13.3 cm,每穴插 1 苗。各品种于 8 月 6 日左右开始抽穗,8 月 10 号左右齐穗。每公顷施尿素底肥 150 kg,返青肥 60 kg(5 月 24 日),分蘖肥 75 kg(6 月 1 日),穗肥 60 kg(7 月 26 日)。磷、钾肥以磷酸二铵 150 kg/hm²、硫酸钾 112.5 kg/hm² 作底肥一次性施入。其他栽培管理同常规生产田。

1.3 取样

于抽穗期各小区选取同日抽穗、穗型大小一致的穗子约 800 个,并挂上纸牌作标记,其中一部分穗观察并记载各粒位开花日期。成熟期将各小区标记的穗摘取,按穗上枝梗部位及粒位分类取样。供试 6 个品种的穗部粒位划分标准参照 Liu 等^[6]的方法(表 1)。穗上同一部位的籽粒合并作为一个样本,除去空瘪后待测稻米品质。

表 1 供试 6 个品种的穗部粒位划分

Tab. 1 Classification of grain position within a panicle

穗型 Panicle type	品种 Cultivar	一次枝梗总数 Numbers of primary branches	一次枝梗划分 Classification of primary branches		
			上部 Upper	中部 Middle	下部 Lower
直立 Erect panicle	千重浪 1 号	15	5	5	5
	辽粳 5 号	13	4	5	4
	直立穗品系	13	4	5	4
弯曲 Curved panicle	沈农 315	11	3	4	4
	丰锦	13	4	5	4
	弯曲穗品系	12	4	4	4

1.4 稻米淀粉黏滞性的测定

采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 RVA-4 型快速黏度仪(Rapid Viscosity Analyzer)快速测定淀粉谱黏滞特性,用 Thermocline 软件进行分析,按 AACC 美国谷物化学协会操作规程(1995-61-02)标准方法,含米粉含水量为 12.00% 时,样品量为 3.000 0 g,蒸馏水为 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 12℃/min 下降到 50℃(3.75 min),50℃ 保持 1.4 min。搅拌器在起始 10 s 内转动速度

为 960 r/min,以后保持在 160 r/min。黏滞性单位为 cP(Centipoise)(厘泊)。

RVA 谱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)和消减值(Setback, SBV)、冷胶黏度—最高黏度)等表示。

1.5 数据分析

数据分析采用 Excel 和 SPSS11.5 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 籽粒峰值黏度在穗上不同部位的差异

由表 2 可见,供试 6 个品种的峰值黏度为 2 535 ~2 899 cP,其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系,峰值黏度的大小因品种而异,其中 SN315 和 QCL1 的峰值黏度较高,品种间差异显著。同一品种不同枝梗间籽粒相比,着生在一次枝梗上籽粒的峰值黏度相对较高,而二次枝梗相对较低,差异达到极显著水平,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。值得注意的是,穗内不同部位

间籽粒峰值黏度的差异及其粒位顺序,却在很大程度上与品种的穗型特征存在着密切联系。对 3 个直立穗型品种而言,一次枝梗上籽粒的峰值黏度部位间排序不明显,二次枝梗上籽粒的峰值黏度表现为上部>中部>下部,差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种而言,一次枝梗和二次枝梗上籽粒的峰值黏度都表现为上部>中部>下部,差异达到显著水平。6 个品种穗内不同部位间籽粒峰值黏度的差异幅度和变异系数大小因品种而异,与穗型特征无关。新育成的直立穗型品种 QCL1 部位间差异最小,LG5 最大。

表 2 两种穗型粳稻穗上不同部位籽粒峰值黏度的差异

Tab.2 Difference of peak viscosity in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (cP)

穗上部位 Part of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP				弯曲穗型品种 Variety with CP			
	千重浪 1 号 ²⁾ QCL1 ²⁾	辽梗 5 号 LG5	直穗品系 ZF ₁₃	均值 Mean	沈农 315 SN315	丰锦 FJ	弯穗品系 WF ₁₃	均值 Mean
一次枝梗 Primary rachis								
上部 Top	2 679b	2 864a	2 782ab	2 773	3 108a	2 876a	2 825a	2 936
中部 Middle	2 764a	2 779b	2 809a	2 783	3 090a	2 861a	2 822a	2 922
下部 Bottom	2 754a	2 676c	2 724b	2 718	2 994b	2 700b	2 688b	2 793
平均 1 Mean 1	2 732	2 773	2 769	2 758	3 061	2 812	2 778	2 884
二次枝梗 Secondary rachis								
上部 Top	2 670a	2 533a	2 687a	2 630	3 017a	2 699a	2 696a	2 804
中部 Middle	2 584b	2 200b	2 414b	2 399	2 740b	2 479b	2 410b	2 543
下部 Bottom	2 466c	2 155c	2 203c	2 275	2 456 c	2 222c	2 216c	2 298
平均 2 Mean 2	2 573	2 296	2 434	2 435	2 738	2 467	2 440	2 548
平均 ¹⁾ Mean ¹⁾	2 653B	2 535D	2 602C	2 596	2 899A	2 639B	2 609C	2 716
最大值 Max	2 764	2 864	2 807		3 108	2 876	2 825	
最小值 Min	2 466	2 155	2 203		2 456	2 222	2 216	
变幅 Range	298	709	604		652	654	609	
变异系数/%CV	4.24	11.76	9.23		8.75	9.47	9.38	

注: ¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同品种间在 1% 水平上的差异显著性; ²⁾ 数据后不同的小写字母表示同一品种不同部位间在 5% 水平上的差异显著性。下同。

Note: ¹⁾ Data followed by a different uppercase letter indicated significant difference at the 0.05 probability level for PC in the grains between different cultivars. ²⁾ Data followed by a different lowercase letter indicated significant difference at the 0.05 probability level for PC in the grains between different parts of same cultivars. The same follow.

2.2 籽粒热浆黏度在穗上不同部位的差异

由表 3 可见,供试 6 个品种的热浆黏度为 1 311 ~1 420 cP,其变化趋势与品种的穗型特征差异并无明显的直接联系,热浆黏度的大小因品种而异,其中 FJ 和 SN315 的热浆黏度较高,品种间差异显著。同一品种不同枝梗间籽粒相比,着生在一次枝梗上籽粒的热浆黏度相对较高,而二次枝梗相对较低,差异达到极显著水平,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。值得注意的是,穗内不同部位间籽粒热浆黏度的差异及其粒位顺序,却在很大程

度上与品种的穗型特征存在着密切联系。对 3 个直立穗型品种而言,一次枝梗上籽粒的热浆黏度表现为上部>中部>下部,二次枝梗上籽粒的热浆黏度部位间排序不明显,以上部较高,差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种而言,一次枝梗和二次枝梗上籽粒的热浆黏度都表现为上部>中部>下部,差异达到显著水平。6 个品种穗内不同部位间籽粒的热浆黏度的差异幅度和变异系数大小因品种而异,与穗型特征无关。直立穗型品种 QCL1 部位间差异最小,ZF₁₃最大。

表 3 两种穗型粳稻穗上不同部位籽粒热浆黏度的差异

Tab.3 Difference of hot paste viscosity in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (cP)

穗上部位 Part of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP				弯曲穗型品种 Variety with CP			
	千重浪 1 号 ²⁾ QCLI ²⁾	辽粳 5 号 LG5	直穗品系 ZF ₁₃	均值 Mean	沈农 315 SN315	丰锦 FJ	弯穗品系 WF ₁₃	均值 Mean
一次枝梗 Primary rachis								
上部 Top	1 308b	1 440a	1 497a	1 414	1 449ab	1 522a	1 427a	1 466
中部 Middle	1 346a	1 388b	1 430b	1 387	1 453a	1 486b	1 431a	1 455
下部 Bottom	1 361a	1 372b	1 382c	1 372	1 430b	1 404c	1 424a	1 419
平均 1 Mean 1	1 338	1 400	1 434	1 391	1 443	1 471	1 427	1 447
二次枝梗 Secondary rachis								
上部 Top	1 267b	1 360a	1 424a	1 351	1 453a	1 441a	1 391a	1 428
中部 Middle	1 303a	1 219b	1 334b	1 285	1 368b	1 386b	1 347b	1 367
下部 Bottom	1 280ab	1 284b	1 248c	1 271	1 225c	1 277c	1 289c	1 264
平均 2 Mean 2	1 283		1 335	1 302	1 349	1 368	1 342	1 353
平均 ¹⁾ Mean ¹⁾	1 311D	1 344C	1 385B	1 347	1 396B	1 420A	1 385B	1 400
最大值 Max	1 361	1 440	1 494		1 453	1 522	1 431	
最小值 Min	1 267	1 219	1 248		1 225	1 277	1 289	
变幅 Range	94	221	246		228	245	142	
变异系数/%CV	2.79	5.90	6.17		6.41	6.06	4.10	

2.3 籽粒崩解值在穗上不同部位的差异

由表 4 可见,供试 6 个品种的崩解值为 1 191 ~ 1 540 cP,其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系,崩解值的大小因品种而异,其中 QCLI 和 SN315 的崩解值较高,品种间差异显著。同一品种不同枝梗间籽粒相比,着生在一次枝梗上籽粒的崩解值相对较高,而二次枝梗相对较低,差异达到极显著水平,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。值得注意的是,穗内不同部位间籽粒崩解值的差异及其粒位顺序,却在很大程度上与品种的

穗型特征存在着密切联系。对 3 个直立穗型品种而言,一次枝梗上籽粒的崩解值部位间排序不明显,以中部较高,二次枝梗上籽粒的崩解值表现为上部 > 中部 > 下部,差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种而言,一次枝梗和二次枝梗上籽粒的崩解值都表现为上部 > 中部 > 下部,差异达到显著水平。6 个品种穗内不同部位间籽粒的崩解值的差异幅度和变异系数大小因品种而异,与穗型特征无关。直立穗型品种 QCLI 部位间差异最小,LG5 最大。

表 4 两种穗型粳稻穗上不同部位籽粒崩解值的差异

Tab.4 Difference of breakdown in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (cP)

穗上部位 Part of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP				弯曲穗型品种 Variety with CP			
	千重浪 1 号 ²⁾ QCLI ²⁾	辽粳 5 号 LG5	直穗品系 ZF ₁₃	均值 Mean	沈农 315 SN315	丰锦 FJ	弯穗品系 WF ₁₃	均值 Mean
一次枝梗 Primary rachis								
上部 Top	1 371c	1 425a	1 285b	1 359	1 659a	1 354a	1 399a	1 470
中部 Middle	1 417a	1 391a	1 379a	1 396	1 637a	1 375a	1 391a	1 467
下部 Bottom	1 393b	1 304b	1 343ab	1 347	1 564b	1 296b	1 264b	1 374
平均 1 Mean 1	1 394	1 373	1 335	1 367	1 619	1 341	1 351	1 437
二次枝梗 Secondary rachis								
上部 Top	1 403a	1 173a	1 262a	1 280	1 564a	1 258a	1 304a	1 376
中部 Middle	1 282b	981b	1 080b	1 114	1 371b	1 092b	1 063b	1 176
下部 Bottom	1 186c	8 70c	955c	1 004	1 231c	945c	927c	1 035
平均 2 Mean 2	1 290	1 008	1 099	1 132	1 389	1 099	1 098	1 195
平均 ¹⁾ Mean ¹⁾	1 342B	1 191D	1 217C	1 250	1 504A	1 220C	1 225C	1 316
最大值 Max	1 417	1 425	1 381		1 659	1 375	1 399	
最小值 Min	1 186	870	955		1 231	945	927	
变幅 Range	231	555	426		428	430	472	
变异系数/%CV	6.72	18.97	13.56		11.14	13.76	15.52	

2.4 籽粒冷胶黏度在穗上不同部位的差异

由表 5 可见,供试 6 个品种的冷胶黏度为 2 784 ~2 960 cP,其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系,冷浆黏度的大小因品种而异,其中 ZF₁₃、FJ 和 SN315 的冷浆黏度较高,品种间差异显著。同一品种不同枝梗间籽粒相比,着生在一次枝梗上籽粒的冷胶黏度相对较高,而二次枝梗相对较低,差异达到极显著水平,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。值得注意的是,穗内不同部位间籽粒冷胶黏度的差异及其粒位顺序,却在很大程度上与品种的穗型特征存在着密切联系。对

3 个直立穗型品种而言,一次枝梗上籽粒的冷胶黏度表现为上部>中部>下部,二次枝梗上籽粒的冷胶黏度部位间排序不明显,以上部较高,差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种而言,一次枝梗上籽粒的冷胶黏度部位间排序不太明显,以中部较高,下部较低,二次枝梗上籽粒的冷胶黏度都表现为上部>中部>下部,差异达到显著水平。6 个品种穗内不同部位间籽粒的冷浆黏度的差异幅度和变异系数大小因品种而异,与穗型特征无关。直立穗型品种 QCL1 和弯穗品系 WF₁₃部位间差异较小,ZF₁₃最大。

表 5 两种穗型粳稻穗上不同部位籽粒冷胶黏度的差异

Tab.5 Difference of cool paste viscosity in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (cP)

穗上部位 Part of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP				弯曲穗型品种 Variety with CP			
	千重浪 1 号 ²⁾ QCL1 ²⁾	辽梗 5 号 LG5	直穗品系 ZF ₁₃	均值 Mean	沈农 315 SN315	丰锦 FJ	弯穗品系 WF ₁₃	均值 Mean
一次枝梗 Primary rachis								
上部 Top	2 937a	3 018a	3 293a	3 083	2 909b	3 029a	2 834a	2 924
中部 Middle	2 834b	2 840b	3 098b	2 923	2 984a	2 972b	2 841a	2 931
下部 Bottom	2 821b	2 761c	2 847c	2 810	2 922b	2 896c	2 820a	2 880
平均 1 Mean 1	2 864	2 873	3 078	2 938	2 937	2 966	2 832	2 911
二次枝梗 Secondary rachis								
上部 Top	2 766a	2 841a	3 016a	2 874	2 896a	2 891a	2 783a	2 856
中部 Middle	2 773a	2 579c	2 831b	2 728	2 817b	2 829b	2 779a	2 808
下部 Bottom	2 729a	2 666b	2 675c	2 690	2 657c	2 657c	2 657b	2 657
平均 2 Mean 2	2 756	2 695	2 841	2 764	2 790	2 792	2 739	2 774
平均 ¹⁾ Mean ¹⁾	2 810C	2 784D	2 960A	2 851	2 863B	2 879B	2 786D	2 843
最大值 Max	2 937	3 018	3 294		2 979	3 029	2 841	
最小值 Min	2 729	2 579	2 675		2 657	2 657	2 657	
变幅 Range	208	439	619		322	372	184	
变异系数/%CV	2. 60	5. 51	7. 45		3. 97	4. 49	2. 44	

表 6 两种穗型粳稻穗上不同部位籽粒消减值的差异

Tab.6 Difference of setback in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (cP)

穗上部位 Part of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP				弯曲穗型品种 Variety with CP			
	千重浪 1 号 ²⁾ QCL1 ²⁾	辽梗 5 号 LG5	直穗品系 ZF ₁₃	均值 Mean	沈农 315 SN315	丰锦 FJ	弯穗品系 WF ₁₃	均值 Mean
一次枝梗 Primary rachis								
上部 Top	259a	153a	511a	310	- 199b	153ab	9b	- 12
中部 Middle	70b	61b	288b	139	- 105a	111b	19b	9
下部 Bottom	68b	85b	123c	92	- 71a	196a	133a	86
平均 1 Mean 1	132	100	310	180	- 125	154	54	27
二次枝梗 Secondary rachis								
上部 Top	96c	307b	329b	244	- 121c	192c	87b	53
中部 Middle	188b	379b	418a	328	78b	351b	369a	266
下部 Bottom	263a	511a	472a	415	201a	434a	441a	359
平均 2 Mean 2	183	399	406	329	52	326	299	226
平均 ¹⁾ Mean ¹⁾	157C	249B	358A	255	- 36D	240B	176C	127
最大值 Max	263	511	520		201	434	441	
最小值 Min	68	61	123		- 199	111	9	
变幅 Range	195	450	397		400	323	432	
变异系数/%CV	58. 12	71. 83	40. 30		- 409. 77	52. 22	104. 50	

2.5 籽粒消减值在穗上不同部位的差异

由表 6 可见,供试 6 个品种的消减值为 $-36 \sim -358$ cP,其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系,消减值的大小因品种而异,其中 ZF₁₃、LG5 和 FJ 的消减值较高,品种间差异显著。同一品种不同枝梗间籽粒相比,着生在一次枝梗上籽粒的消减值相对较低,而二次枝梗相对较高,差异达到极显著水平,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。值得注意的是,穗内不同部位间籽粒消减值的差异及其粒位顺序,却在很大程度上与品种的穗型特征存在着密切联系。对 3 个直立穗型品种而言,一次枝梗上籽粒的消减值表现为上部 > 中部 > 下部,二次枝梗上籽粒的消减值表现为下部 > 中部 > 上部,差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种

而言,一次枝梗和二次枝梗上籽粒的消减值都表现为下部 > 中部 > 上部,差异达到显著水平。6 个品种穗内不同部位间籽粒的消减值的差异幅度和变异系数大小因品种而异,与穗型特征无关。直立穗型品种 QCL1 部位间差异较小,LG5 最大。

2.6 穗内粒位间的互作效应

方差分析表明,6 个品种的一次和二次枝梗间峰值黏度、热浆黏度、崩解值、冷浆黏度和消减值的差异达极显著水平,上部、中部和下部枝梗间的差异也达到极显著水平。6 个品种的一次和二次枝梗与上部、中部和下部枝梗这两类粒位之间的互作对峰值黏度、热浆黏度、崩解值、冷浆黏度和消减值的影响显著,达极显著水平(表 7)。

表 7 穗内籽粒淀粉 RVA 谱特征粒位效应的方差分析

Tab.7 ANOVA of influence on starch RVA profiles of two kinds of grain positions within a panicle

RVA 特征值	变异来源 Source of variance	自由度 df	直立穗型品种 Variety with EP			弯曲穗型品种 Variety with CP		
			千重浪 1 号 QCL1	辽粳 5 号 LG5	直穗品系 ZF ₁₃	沈农 315 SN315	丰锦 FJ	弯穗品系 WF ₁₃
峰值黏度	P-S	1	939.18 **	988.92 **	770.84 **	1657.68 **	1633.97 **	2166.85 **
PKV	T-M-B	2	68.72 **	125.08 **	166.08 **	594.71 **	498.24 **	601.18 **
	互作	2	247.08 **	24.25 **	108.05 **	261.58 **	108.25 **	210.71 **
热浆黏度	P-S	1	134.92 **	105.68 **	296.35 **	833.28 **	330.38 **	170.94 **
HPV	T-M-B	2	24.75 **	27.99 **	206.81 **	484.84 **	216.7 **	22.04 **
	互作	2	7.49 *	6.65 *	9.42 **	335.86 **	5.57 *	20.04 **
崩解值	P-S	1	294.16 **	826.58 **	406.85 **	563.7 **	999.83 **	566.18 **
BDV	T-M-B	2	89.02 **	92.81 **	38.79 **	161.36 **	196.46 **	192.7 **
	互作	2	138.35 **	20.35 **	87.55 **	53.11 **	99.01 **	55.78 **
冷胶黏度	P-S	1	287.77 **	208.59 **	933.16 **	541.55 **	636.89 **	105.64 **
CPV	T-M-B	2	48.94 **	139.24 **	842.88 **	136.62 **	250.14 **	27.19 **
	互作	2	26.29 **	15.26 **	18.29 **	132.66 **	23.45 **	15.78 **
消减值	P-S	1	28.35 **	721.13 **	38.97 **	204.35 **	341.82 **	343.88 **
SBV	T-M-B	2	9.32 **	19.13 **	19.98 **	112.79 **	78.58 **	110.55 **
	互作	2	133.48 **	50.18 **	95.16 **	20.47 **	51.19 **	40.63 **

注:表中数据为 F 值;T-M-B. 一次枝梗和二次枝梗上部、中部和下部枝梗之间;P-S. 一次枝梗和二次枝梗之间;* 和 ** 表示 0.05 和 0.01 水平下显著。

Note: The data in this table are F-values. T-M-B. Grain position among top, middle, and bottom rachis within a panicle; P-S. Grain position between primary and secondary rachis within a panicle; * and **. Significant at 0.05 and 0.01 probability level; PKV. Peak viscosity; HPV. Hot paste viscosity; BDV. Breakdown; CPV. Cool paste viscosity. SBV: Setback.

3 讨论

穗型研究一直是理想株型育种中的主要内容之一,关于不同穗型品种不同粒位籽粒淀粉 RVA 谱特征比较的研究报道较少。本研究表明,粳稻的穗型特征与品种的淀粉 RVA 谱特征值无直接必然的联系,淀粉 RVA 谱特征值大小因品种而异。水稻穗内粒间在结实性和品质上的差异与品种的遗传特性有关。一般大穗型品种的穗内粒间差异要大于小穗型品种^[7,8]。但本研究中 6 个粳稻品种穗内不同粒

位间籽粒的淀粉 RVA 谱特征值的粒位变异大小因品种而异,与穗型特征关系不大。

据报道,一次枝梗上籽粒的单粒重要高于二次枝梗上的籽粒^[9,10],且一次枝梗上的籽粒在诸如适口性、直链淀粉含量和糊化温度等食味品质上也优于二次枝梗^[11,12]。本研究结果显示,一次枝梗上籽粒的粒重和淀粉粘滞特性优于二次枝梗上籽粒的粒重和淀粉粘滞特性,穗上部籽粒的粒重和淀粉粘滞特性好于穗中部和穗下部籽粒的粒重和淀粉粘滞特性。因而,通过对一次枝梗上的籽粒数目进行选择

就有可能获得产量高而品质好的品种。同一稻穗内不同部位的籽粒在分化时间和发育进程上存在着很大差异,最终表现为粒重^[13,14]和品质^[15,16]的差异。穗内粒间籽粒发育上的差异主要与它们对同化物的竞争能力不同有关^[17,18],同一穗上强势粒(开花较早且发育较快的籽粒)对弱势粒的灌浆有抑制作用^[19],并进而影响稻米粒重和品质性状差异的形成。研究表明,穗内不同部位籽粒的淀粉粘滞特性好坏与其颖花在穗上的开花顺序有密切联系,进一步佐证了不同粒位籽粒发育进程上的差异是导致最终籽粒间品质差异幅度较大的主要原因。

有关一次枝梗和二次枝梗及上部枝梗、中部枝梗和下部枝梗这两类粒位的互作对籽粒淀粉 RVA 谱特征影响的研究较少。本研究中这两类粒位及其互作对不同粒位籽粒淀粉 RVA 谱特征有极显著影响,在提高籽粒淀粉粘滞特性的育种中,需要考虑粒位对两者的影响,但粒位的影响大小均依品种而定,因而在探讨不同粒位籽粒淀粉粘滞特性的粒位效应时应充分考虑基因型的影响。由于籽粒淀粉 RVA 谱特征粒位间差异很大,因而有必要通过遗传改良或栽培手段降低这种差异,以提高群体内籽粒的均匀性,进而提高穗内种子粒重和品质的整齐度。已有研究表明,二次枝梗籽粒偏向穗轴中上部分布有利于改善二次枝梗籽粒结实性,减少穗轴不同部位籽粒结实性及品质的差异,是协调大穗型品种产量与品质矛盾的有效途径^[20-22]。因此,在育种中通过籼粳稻杂交选育穗颈维管束发达,一次枝梗数偏多和二次枝梗偏向穗轴中上部分布的品种,将有助于提高水稻结实率和减少穗内不同粒位间品质的差异,这是北方粳稻高产优质育种遗传改良的有效途径。在栽培上通过外喷激素等化控方式或者通过调节源库关系,提高根系活力、增加同化物的供应强度、促进胚乳细胞的分裂、提高籽粒中激素含量和与淀粉合成有关的关键酶活性,使水稻活秆成熟,有可能减少米质在同一稻穗内不同籽粒间的差异,并有望改善不同粒位间籽粒的充实度和稻米品质。

参考文献:

- [1] 陈温福,潘文博,徐正进.我国北方粳稻生产现状及发展趋势[J].沈阳农业大学学报,2006,26(1):1-7.
- [2] 孔祥斗,张洪熙,刘晓静.江苏省粳稻品种经济性的演变及高产育种的设想[J].江苏农业科学,1997(3):2-16.
- [3] 吕文彦,曹萍,邵国军,等.辽宁省主要水稻品种品质性状研究[J].辽宁农业科学,1997(5):7-11.
- [4] 钟旭华,张佩莲,曾宪江,等.穗上不同部位籽粒的稻米垩白度差异的研究[J].江西农业大学学报,1995,17(4):396-399.
- [5] 钟旭华,张佩莲,曾宪江,等.强弱势粒的稻米垩白度差异及其与谷粒粒重的关系[J].江西农业大学学报,1996,18(2):154-159.
- [6] Liu Z H, Cheng F M, Cheng W D, *et al.* Positional variations in phytic acid and protein content within a panicle of japonica rice [J]. J Cereal Sci, 2005, 41: 297-303.
- [7] Yang J C, Peng S B, Zhang Z J, *et al.* Grain and dry matter yields and partitioning of assimilates in japonica/indica hybrid rice [J]. Crop Sci, 2002, 42: 766-772.
- [8] Kato T. Effect of spikelet removal on the grain filling of Akenohoshi, a rice cultivar with numerous spikelets in a panicle [J]. J Agric Sci, 2004, 142: 177-181.
- [9] Mallik S, Aguilar A M, Vergara B S. Rice panicle characteristics [J]. International Rice Research Newsletter, 1988, 13: 7-8.
- [10] Mallik S, Aguilar A M, Vergara B S. Analysis of rice panicle structure [J]. International Rice Research Newsletter, 1989, 14: 10-12.
- [11] Matsue Y, Odahara K, Hiramatsu M. Differences in protein content, amylose content and palatability in relation to location of gains within rice panicle [J]. Jpn J Crop Sci, 1994, 63: 271-277.
- [12] Matsue Y, Odahara K, Hiramatsu M. Differences in amylose content, amylographic characteristics and storage proteins of grains on primary and secondary rachis branches in rice [J]. Jpn J Crop Sci, 1995, 64: 601-606.
- [13] Yang J C, Peng S B, Visperas R M, *et al.* Grain filling pattern and cytokinin content in the grains and roots of rice plants [J]. Plant Growth Regul, 2000, 30: 261-270.
- [14] Kato T. Change of sucrose synthase activity in developing endosperm of rice cultivars [J]. Crop Sci, 1995, 35: 827-831.
- [15] 程旺大,张国平,姚海根,等.密穗型水稻品种的籽粒灌浆特性研究[J].作物学报,2003,29(6):841-846.
- [16] Jongkaewwattana S, Geng S, Hill J E, *et al.* Within-panicle variability of grain filling in rice cultivars with different maturities [J]. J Agron Crop Sci, 1993, 171: 236-242.
- [17] Mohapatra P K, Sahu S K. Heterogeneity of primary branch development and spikelet survival in rice panicle in relation to assimilates of primary branches [J]. J Exp Bot, 1991, 42: 871-879.
- [18] Wang Y. Effectiveness of supplied nitrogen at the primordial panicle stage on rice plant characteristics and yields [J]. International Rice Research Newsletter, 1981, 6: 23-24.
- [19] Iwasaki Y, Mae T, Makino A, *et al.* Nitrogen accumulation in the inferior spikelet of rice ear during ripening [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1992, 38: 517-525.
- [20] 徐正进,陈温福,孙占惠,等.辽宁水稻籽粒在穗轴上分布特点及其与结实性的关系[J].中国农业科学,2004,37(7):963-967.
- [21] 徐正进,陈温福,张树林,等.辽宁水稻穗型指数品种间差异及其与产量和品质的关系[J].中国农业科学,2005,38(9):1926-1930.
- [22] 徐正进,陈温福,韩勇,等.辽宁水稻穗型分类及其与产量和品质的关系[J].作物学报,2007,33(9):1411-1418.