

两种穗型水稻穗上不同粒位籽粒淀粉黏滞谱特征的比较分析

陈书强¹ 薛菁芳¹ 杜金岭²

(1. 黑龙江省农业科学院 水稻研究所 黑龙江 佳木斯 154026; 2 黑龙江省农垦科学院 水稻研究所 黑龙江 佳木斯 154007)

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粒位籽粒淀粉 RVA 谱特征的差异。结果表明:穗内不同粒位间籽粒的淀粉黏滞特性的差异幅度和变异系数大小因品种而异,与穗型特征无关。淀粉黏滞特性好坏与其颖花在穗上的开花顺序有密切联系,早开花籽粒的淀粉黏滞特性强于晚开花籽粒。一次枝梗上的6个粒位的 RVA 谱特征值排列顺序以第1、5粒位较高,第2粒位最低;二次枝梗上的3个粒位排序为第1粒位>第3粒位>第2粒位。从空间上看,整穗粒位间从上到下,淀粉黏滞特性有逐渐变劣的趋势。

关键词: 粳稻; 穗型; 粒位; 淀粉黏滞特性

中图分类号: S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2012)01-0110-08

Comparisons of RVA Profile Characteristics of Grains at Different Grain Positions of Panicle between Two Panicle Types of *Japonica* Rice

CHEN Shu-qiang¹, XUE Jing-fang¹, DU Jin-ling²

(1. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Jiamusi 154026, China;

2. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi 154007, 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 of RVA profile characteristics in the grains between different grain positions in two different panicle type. Results indicated the range of difference and variation coefficient (CV) of RVA profile characteristics in the grains between different grain positions varied with cultivars, which had no correlation with panicle type. The variation in starch viscosity characteristics of different grains within a panicle was closely related to the flowering order of rice grains on the rachis branches. Starch viscosity characteristics for the grain of the spikelets that flowered earlier were superior to those for the grain of the spikelets that flowered late. RVA profile parameters for the grain 1 and 5 on the primary branch showed the highest, the grain 2 the lowest. The order of RVA profile parameters on a secondary branch within a panicle was the grain 1 > the grain 3 > the grain 2. From space, starch viscosity characteristics are gradually deteriorate from top to bottom in the entire spikelets.

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

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^[1],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^[2]。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民“口粮”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。

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的差异^[3,4]。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粒位籽粒的米质的差异及其分

收稿日期:2011-08-11

基金项目:公益性(农业)科研专项(200903003);黑龙江省农业科技创新工程(2009);黑龙江省科技攻关计划项目(GA09B102-3-3);国家科技支撑计划(201113AD161311)

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

布特点,报道较少。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粒位籽粒的淀粉黏滞特性的差异性,阐明了淀粉黏滞特性在不同粒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黏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(QCLI)、辽梗 5 号(LG5)、ZF₁₃(辽梗 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(辽梗 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,小区面积约 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^[5]的方法(表 1),同一枝梗上粒位划分标准是将一次枝梗上的 6 个粒分为第 1~6 个粒位,将二次枝梗上的 3 个粒分为第 1~3 个粒位。穗上同一部位、同一粒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	总数 ^a Total ^a	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
	辽梗 5 号	13	4	5	4
	直立穗品系 ZF ₁₃	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 WF ₁₃	12	4	4	4

注: ^a. 一次枝梗总数。

Note: ^a. Numbers of primary branches.

1.4 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)。

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 穗上不同粒位峰值黏度的差异

同一品种枝梗上不同粒位间籽粒相比,着生在中上部一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的峰值黏度的排列顺序没有明显的规律性,但着生在下部一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的峰值黏度的排列顺序以第 5,

6,1 粒位较高,第4,3 粒位次之,第2 粒位最低(表2);着生在二次枝梗上的3 个粒位籽粒的峰值黏度排序为第1 粒位>第3 粒位>第2 粒位,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。两种穗型品种穗内二次枝梗上的3 个粒位及下部一次枝梗

上的6 个粒位,相对于上部一次枝梗第1 粒位籽粒峰值黏度的相对变化值是降低的,其他粒位是升高的。6 个品种穗内不同粒位间籽粒的峰值黏度的差异幅度和变异系数大小因品种而异。

表 2 两种穗型粳稻穗上不同粒位籽粒峰值黏度的差异

Tab.2 Difference of peak viscosity in the grains between different grain positions in two panicle types of <i>Japonica</i> rice(cP)										
穗上粒位 Position of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP			均值 Mean	相对值 ^{a)} / %	弯曲穗型品种 Variety with CP			均值 Mean	相对值 ^{a)} / %
	QCL1	LG5	ZF ₁₃			SN315	FJ	WF ₁₃		
上部 Upper										
一次枝梗 Primary branch										
1	2 583 e	2 781 b	2 759 c	2 708	100.00	3 018 c	2 801 c	2 849 a	2 889	100.00
2	2 693 c	2 824 ab	2 875 a	2 797	103.30	3 070 bc	2 857 b	2 871 a	2 933	101.50
3	2 718 bc	2 870 ab	2 845 ab	2 811	103.80	3 118 b	2 892 ab	2 838 a	2 949	102.08
4	2 769 a	2 860 ab	2 759 c	2 795	103.21	3 212 a	2 921 a	2 840 a	2 991	103.53
5	2 605 de	2 905 ab	2 801 abc	2 757	101.81	3 115 b	2 933 a	2 731 b	2 926	101.28
6	2 704 c	2 948 a	2 653 d	2 768	102.23	3 112 b	2 851 b	2 821 a	2 928	101.34
二次枝梗 Secondary branch										
1	2 633 d	2 899 ab	2 794 bc	2 77 5	102.49	3 110 b	2 856 b	2 818 a	2 928	101.33
2	2 623 de	2 225 d	2 532 e	2 460	90.84	2 821 d	2 511 e	2 560 c	2 631	91.05
3	2 754 ab	2 476 c	2 735 c	2 655	98.05	3 120 b	2 731 d	2 709 b	2 853	98.76
中部 Middle										
一次枝梗 Primary branch										
1	2 650 c	2 806 ab	2 760 c	2 739	101.14	3 180 a	2 822 bc	2 779 c	2 927	101.31
2	2 843 a	2 672 c	2 770 bc	2 758	101.84	3 115 abc	2 813 c	2 811 bc	2 913	100.82
3	2 764 b	2 764 b	2 784 bc	2 770	102.31	3 141 ab	2 905 a	2 788 c	2 945	101.92
4	2 759 b	2 819 ab	2 814 abc	2 798	103.32	3 099 bc	2 887 ab	2 856 ab	2 947	102.00
5	2 752 b	2 780 ab	2 856 a	2 796	103.25	2 940 e	2 906 a	2 823 bc	2 890	100.02
6	2 814 a	2 832 a	2 872 a	2 839	104.85	3 063 cd	2 834 bc	2 874 a	2 910	100.73
二次枝梗 Secondary branch										
1	2 750 b	2 588 d	2 822 ab	2 720	100.45	3 008 de	2 823 bc	2 717 d	2 850	98.63
2	2 449 e	1 990 e	2 172 e	2 204	81.38	2 531 g	2 171 e	2 190 f	2 297	79.51
3	2 554 d	2 023 e	2 247 d	2 275	84.00	2 680 f	2 441 d	2 322 e	2 481	85.88
下部 Basal										
一次枝梗 Primary branch										
1	2 654 d	2 806 a	2 804 a	2 755	101.74	3 004 ab	2 746 b	2 702 b	2 817	97.51
2	2 759 ab	2 398 d	2 542 c	2 566	94.77	2 882 c	2 473 d	2 510 c	2 622	90.74
3	2 778 ab	2 505 c	2 683 b	2 655	98.06	2 997 ab	2 616 c	2 719 b	2 777	96.13
4	2 801 a	2 652 b	2 717 b	2 723	100.57	3 019 a	2 699 b	2 689 b	2 802	97.00
5	2 798 a	2 863 a	2 820 a	2 827	104.40	3 039 a	2 845 a	2 708 b	2 862	99.05
6	2 732 bc	2 834 a	2 780 a	2 782	102.75	3 020 a	2 821 a	2 799 a	2 880	99.68
二次枝梗 Secondary branch										
1	2 707 c	2 585 bc	2 682 b	2 658	98.16	2 943 b	2 713 b	2 731 b	2 796	96.76
2	2 288 f	1 940 e	1 935 e	2 054	75.87	2 165 e	1 976 e	1 937 d	2 026	70.12
3	2 404 e	1 940 e	1 991 d	2 112	77.99	2 261 d	1 979 e	1 980 d	2 073	71.75
平均 Mean	2 679	2 614	2 657			2 953	2 697	2 666		
最大值 Max	2 843	2 948	2 875			3 212	2 933	2 874		
最小值 Min	2 288	1 940	1 935			2 165	1 976	1 937		
CV / %	4.92	12.28	9.84			8.80	10.09	9.75		

2.2 穗上不同粒位热浆黏度的差异
由表 3 可见,同一品种枝梗上不同粒位间籽粒

相比,着生在中上部一次枝梗上的6 个粒位籽粒的热浆黏度的排列顺序没有明显的规律性,但着生在

下部一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的热浆黏度的排列顺序以第 1 粒位较高,第 2 粒位最低,其他粒位规律不明显;着生在二次枝梗上的 3 个粒位籽粒的热浆黏度排序为第 1 粒位 > 第 3 粒位 > 第 2 粒位,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。直立穗型品种穗内其他粒位相对于上部一次枝梗第 1

粒位籽粒热浆黏度的相对变化值,在多数粒位上是降低的,而弯曲穗型品种穗内其他所有粒位相对于上部一次枝梗第 1 粒位籽粒热浆黏度的相对变化值都是降低的。6 个品种穗内不同粒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。

表 3 两种穗型水稻穗上不同粒位籽粒热浆黏度的差异

Tab. 3 Difference of hot paste viscosity in the grains between different grain positions in two panicle types of Japonica rice (cP)

穗上粒位 Position of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP			均值 Mean	相对值 ^{a)} / % RR ^{a)}	弯曲穗型品种 Variety with CP			均值 Mean	相对值 ^{a)} / % RR ^{a)}
	QCLI	LG5	ZF ₁₃			SN315	FJ	WF ₁₃		
上部 Upper										
一次枝梗 Primary branch										
1	1 306 ab	1 367 de	1 550 a	1 408	100.00	1 472 bc	1 528 ab	1 471 a	1 490	100.00
2	1 306 ab	1 477 ab	1 482 bc	1 422	100.99	1 417 de	1 496 b	1 448 ab	1 454	97.55
3	1 307 ab	1 448 bc	1 527 ab	1 427	101.36	1 438 cd	1 502 b	1 420 abc	1 453	97.52
4	1 332 a	1 463 abc	1 489 bc	1 426	101.32	1 474 b	1 531 ab	1 410 bc	1 472	98.74
5	1 298 ab	1 401 cd	1 497 abc	1 396	99.14	1 451 bcd	1 520 ab	1 371 c	1 447	97.11
6	1 297 ab	1 481 ab	1 436 c	1 405	99.77	1 439 cd	1 556 a	1 439 ab	1 478	99.19
二次枝梗 Secondary branch										
1	1 275 b	1 538 a	1 452 c	1 422	100.99	1 444 bcd	1 525 ab	1 408 bc	1 459	97.91
2	1 215 c	1 221 f	1 352 d	1 263	89.68	1 391 e	1 358 d	1 372 c	1 374	92.19
3	1 313 ab	1 321 e	1 469 bc	1 367	97.12	1 523 a	1 440 c	1 393 bc	1 452	97.44
中部 Middle										
一次枝梗 Primary branch										
1	1 360 a	1 436 a	1 466 a	1 421	100.90	1 496 a	1 486 a	1 404 b	1 462	98.11
2	1 340 ab	1 373 bc	1 438 ab	1 376	97.77	1 451 abc	1 476 a	1 423 ab	1 450	97.29
3	1 329 b	1 370 bc	1 398 b	1 366	97.00	1 434 bc	1 490 a	1 407 b	1 444	96.88
4	1 353 ab	1 376 bc	1 465 a	1 398	99.29	1 441 bc	1 491 a	1 427 ab	1 453	97.48
5	1 329 b	1 403 ab	1 396 b	1 376	97.73	1 420 c	1 493 a	1 459 a	1 457	97.79
6	1 367 a	1 369 bc	1 419 b	1 385	98.38	1 474 ab	1 481 a	1 462 a	1 466	98.35
二次枝梗 Secondary branch										
1	1 348 ab	1 348 c	1 396 b	1 364	96.88	1 435 bc	1 482 a	1 420 ab	1 446	97.01
2	1 261 d	1 151 d	1 283 c	1 232	87.48	1 306 e	1 308 c	1 281 d	1 298	87.12
3	1 299 c	1 159 d	1 323 c	1 260	89.52	1 364 d	1 369 b	1 339 c	1 357	91.07
下部 Basal										
一次枝梗 Primary branch										
1	1 377 a	1 404 b	1 479 a	1 420	100.86	1 446 a	1 477 a	1 442 ab	1 455	97.64
2	1 341 b	1 270 cd	1 383 bc	1 331	94.55	1 404 cd	1 329 e	1 400 b	1 378	92.46
3	1 355 ab	1 282 c	1 403 b	1 347	95.65	1 443 ab	1 387 cd	1 437 ab	1 423	95.45
4	1 357 ab	1 366 b	1 354 d	1 359	96.54	1 448 a	1 384 d	1 428 ab	1 420	95.28
5	1 362 ab	1 454 a	1 368 cd	1 395	99.06	1 418 bc	1 403 cd	1 408 b	1 411	94.69
6	1 375 ab	1 456 a	1 303 e	1 378	97.87	1 418 bc	1 443 b	1 429 ab	1 430	95.95
二次枝梗 Secondary branch										
1	1 345 ab	1 374 b	1 302 e	1 340	95.19	1 390 d	1 413 c	1 464 a	1 422	95.43
2	1 232 d	1 226 d	1 224 f	1 227	87.18	1 128 f	1 217 f	1 188 c	1 178	79.02
3	1 264 c	1 253 cd	1 217 f	1 245	88.42	1 157 e	1 201 f	1 214 c	1 191	79.89
平均 Mean	1 320	1 362	1 401			1 411	1 437	1 399		
最大值 Max	1 377	1 538	1 550			1 523	1 556	1 471		
最小值 Min	1 215	1 151	1 217			1 128	1 201	1 188		
CV / %	3.24	7.30	6.15			6.21	6.43	4.99		

2.3 穗上不同粒位籽粒崩解值的差异

同一品种枝梗上不同粒位间籽粒相比,着生在中上部一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的崩解值的排列

顺序没有明显的规律性,但着生在下部一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的崩解值的排列顺序以第 5 粒位较高,第 2 粒位最低,其他粒位规律不明显(表 4);着

生在二次枝梗上的 3 个粒位籽粒的崩解值排序为第 1 粒位 > 第 3 粒位 > 第 2 粒位,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。直立穗型品种穗内二次枝梗上的第 2、3 粒位籽粒相对于上部一次枝梗第 1 粒位籽粒的崩解值的相对变化值是降低的,其他粒位上是升高的,而弯曲穗型品种穗内除了二次枝梗上第 2、3 粒位籽粒相对于上部一次枝梗第 1 粒位籽粒的崩解值的相对变化值是降低的,下部一次枝梗上第 1-4 粒位也是降低的。6 个品种穗内不同粒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。

表 4 两种穗型粳稻穗上不同粒位籽粒崩解值的差异

Tab.4 Difference of breakdown in the grains between different grain positions in two panicle types of Japonica rice (cP)										
穗上粒位 Position of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP			均值 Mean	相对值 ^{a)} /% RR ^{a)}	弯曲穗型品种 Variety with CP			均值 Mean	相对值 ^{a)} /% RR ^{a)}
	QCL1	LG5	ZF ₁₃			SN315	FJ	WF ₁₃		
上部 Upper										
一次枝梗 Primary branch										
1	1 277 c	1 414 abc	1 209 de	1 300	100.00	1 546 c	1 273 b	1 378 ab	1 399	100.00
2	1 387 ab	1 346 c	1 393 a	1 375	105.80	1 653 ab	1 360 ab	1 423 ab	1 479	105.72
3	1 411 ab	1 422 abc	1 318 abc	1 384	106.45	1 680 ab	1 390 a	1 418 ab	1 496	106.95
4	1 437 a	1 397 abc	1 271 bcde	1 368	105.26	1 738 a	1 390 a	1 431 a	1 520	108.63
5	1 306 c	1 503 a	1 304 abcd	1 361	104.70	1 664 ab	1 413 a	1 360 ab	1 479	105.73
6	1 407 ab	1 467 ab	1 217 cde	1 363	104.89	1 673 ab	1 295 b	1 382 ab	1 450	103.64
二次枝梗 Secondary branch										
1	1 358 b	1 361 bc	1 341 ab	1 354	104.13	1 666 ab	1 330 ab	1 409 ab	1 468	104.97
2	1 408 ab	1 004 e	1 179 e	1 197	92.10	1 430 d	1 153 c	1 188 c	1 257	89.85
3	1 441 a	1 155 d	1 267 bcde	1 288	99.07	1 597 bc	1 291 b	1 315 b	1 401	100.17
中部 Middle										
一次枝梗 Primary branch										
1	1 289 c	1 371 c	1 294 d	1 318	101.40	1 684 a	1 336 b	1 375 a	1 465	104.73
2	1 503 a	1 299 d	1 332 cd	1 381	106.26	1 664 ab	1 337 b	1 388 a	1 463	104.58
3	1 435 b	1 394 bc	1 385 bc	1 405	108.06	1 707 a	1 415 a	1 381 a	1 501	107.29
4	1 407 b	1 443 ab	1 349 cd	1 400	107.68	1 658 ab	1 396 ab	1 429 a	1 494	106.82
5	1 423 b	1 377 bc	1 460 a	1 420	109.24	1 520 c	1 413 a	1 364 a	1 432	102.38
6	1 447 b	1 462 a	1 453 a	1 454	111.86	1 588 bc	1 353 ab	1 412 a	1 445	103.26
二次枝梗 Secondary branch										
1	1 402 b	1 240 d	1 426 ab	1 356	104.32	1 573 c	1 341 b	1 297 b	1 404	100.35
2	1 188 d	838 e	889 e	972	74.78	1 225 e	863 d	909 d	999	71.40
3	1 255 c	864 e	924 e	1 014	78.02	1 316 d	1 073 c	983 c	1 124	80.35
下部 Basal										
一次枝梗 Primary branch										
1	1 278 d	1 401 a	1 325 bc	1 335	102.68	1 558 a	1 268 cd	1 259 b	1 362	97.36
2	1 418 abc	1 128 d	1 159 d	1 235	95.01	1 478 b	1 143 e	1 110 c	1 244	88.90
3	1 423 ab	1 223 bc	1 280 c	1 309	100.68	1 554 a	1 229 d	1 282 b	1 355	96.85
4	1 444 a	1 286 b	1 363 b	1 364	104.95	1 571 a	1 315 bc	1 261 b	1 382	98.82
5	1 436 a	1 409 a	1 452 a	1 432	110.19	1 621 a	1 442 a	1 300 b	1 450	103.69
6	1 358 c	1 378 a	1 477 a	1 404	108.03	1 602 a	1 378 ab	1 370 a	1 450	103.66
二次枝梗 Secondary branch										
1	1 362 bc	1 211c	1 381b	1 318	101.38	1 553 a	1 300 c	1 267 b	1 373	98.18
2	1 056 f	713e	711f	827	63.61	1 037 d	758 f	750 d	848	60.64
3	1 139 e	687e	774e	867	66.68	1 104 c	778 f	765 d	882	63.07
平均 Mean	1 359	1 252	1 256			1 542	1 260	1 267		
最大值 Max	1 503	1 503	1 477			1 738	1 431	1 431		
最小值 Min	1 056	687	711			1 037	758	750		
CV/%	7.71	18.69	16.28			11.55	14.91	15.47		

2.4 穗上不同粒位冷胶黏度的差异

从表 5 看出,同一品种枝梗上不同粒位间籽粒相比,着生在一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的冷胶黏度一般以开花较早的粒位(第 1、6 粒位)较高,开花较晚的粒位(第 2 粒位)较低,其他粒位排列顺序没有明显的规律性;着生在二次枝梗上的 3 个粒位籽粒的冷胶黏度排序为第 1 粒位 > 第 3 粒位 > 第 2 粒

位,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。两种穗型品种其他粒位相对于上部一次枝梗第 1 粒位的冷胶黏度的相对变化值是按照穗内粒位的位置排序从上向下逐渐降低的,以下部二次枝梗第 2、3 粒位最低。6 个品种穗内不同粒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。

表 5 两种穗型粳稻穗上不同粒位籽粒冷胶黏度的差异

Tab. 5 Difference of cool paste viscosity in the grains between different grain positions										
穗上粒位 Position of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP			均值 Mean	相对值 ^{a)} /% RR ^{a)}	弯曲穗型品种 Variety with CP			均值 Mean	相对值 ^{a)} /% RR ^{a)}
	QCL1	LG5	ZF ₁₃			SN315	FJ	WF ₁₃		
上部 Upper										
一次枝梗 Primary branch										
1	3 013 a	3 085 b	3 328 ab	3 142	100.00	3 053 a	3 056 bc	2 909 a	3 006	100.00
2	2 953 ab	3 018 b	3 116 c	3 029	96.41	2 809 e	2 936 e	2 858 abc	2 867	95.39
3	2 939 b	2 997 b	3 336 ab	3 091	98.38	2 821 e	2 987 de	2 835 bcd	2 881	95.84
4	3 004 ab	3 071 b	3 329 ab	3 134	99.74	2 833 e	3 076 ab	2 777 de	2 895	96.31
5	2 962 ab	2 899 c	3 306 ab	3 059	97.36	2 931 d	3 015 cd	2 811 cd	2 919	97.10
6	2 752 cd	3 036 b	3 344 a	3 044	96.88	3 004 b	3 101 ab	2 814 cd	2 973	98.90
二次枝梗 Secondary branch										
1	2 783 c	3 207 a	3 249 b	3 080	98.02	2 977 bc	3 132 a	2 887 ab	2 998	99.74
2	2 712 d	2 627 d	2 900 d	2 746	87.41	2 753 f	2 738 g	2 707 f	2 733	90.91
3	2 804 c	2 689 d	2 898 d	2 797	89.02	2 957 cd	2 804 f	2 754 ef	2 838	94.41
中部 Middle										
一次枝梗 Primary branch										
1	2 891 a	2 981 a	3 185 a	3 019	96.10	3 054 ab	3 019 a	2 823 cd	2 965	98.64
2	2 821 bcd	2 764 bc	2 994 c	2 852	90.78	2 896 d	2 864 c	2 780 d	2 847	94.70
3	2 867 ab	2 760 c	3 004 c	2 877	91.58	2 870 d	2 923 b	2 762 d	2 852	94.86
4	2 821 bcd	2 754 c	3 162 ab	2 912	92.69	2 961 c	2 999 a	2 880 bc	2 947	98.03
5	2 806 bcd	2 967 a	3 110 b	2 961	94.25	3 088 a	3 007 a	2 884 bc	2 993	99.56
6	2 798 cd	2 815 b	3 129 b	2 914	92.75	3 037 ab	3 018 a	2 917 b	2 981	99.16
二次枝梗 Secondary branch										
1	2 844 abc	2 794 bc	3 006 c	2 881	91.71	3 005 bc	3 055 a	3 032 a	3 031	100.82
2	2 714 e	2 501 d	2 761 d	2 658	84.62	2 660 f	2 751 d	2 654 e	2 688	89.43
3	2 760 de	2 443 e	2 728 d	2 644	84.14	2 788 e	2 681 e	2 650 e	2 706	90.02
下部 Basal										
一次枝梗 Primary branch										
1	2 857 a	2 850 a	3 048 a	2 918	92.88	3 038 a	3 121 a	2 868 b	3 009	100.10
2	2 796 c	2 631 c	2 789 c	2 739	87.17	2 774 c	2 695 f	2 746 d	2 738	91.10
3	2 820 bc	2 610 cd	2 798 c	2 743	87.30	2 918 b	2 781 e	2 792 c	2 830	94.15
4	2 789 c	2 811 b	2 834 c	2 811	89.49	2 923 b	2 870 d	2 852 b	2 882	95.87
5	2 813 c	2 836 ab	2 883 b	2 844	90.53	2 921 b	2 922 c	2 828 bc	2 892	96.20
6	2 851 ab	2 828 ab	2 733 d	2 804	89.25	2 960 b	2 983 b	2 836 b	2 926	97.34
二次枝梗 Secondary branch										
1	2 783 c	2 836 ab	2 814 c	2 811	89.48	2 972 b	2 973 b	2 909 a	2951	98.18
2	2 712 d	2 577 d	2 623 e	2 637	83.94	2 499 d	2 501 g	2 508 f	2503	83.25
3	2 692 d	2 586 d	2 589 e	2 622	83.46	2 500 d	2 495 g	2 553 e	2516	83.70
平均 Mean	2 828	2 814	2 999			2 888	2 908	2 801		
最大值 Max	3 013	3 207	3 344			3 088	3 132	3 032		
最小值 Min	2 692	2 443	2 589			2 499	2 495	2 508		
CV/%	3.07	6.82	7.76			5.27	6.01	4.04		

2.5 穗上不同粒位消减值的差异

由表 6 可知,同一品种枝梗上不同粒位间籽粒相比,着生在一次枝梗上的 6 个粒位籽粒的消减值排列顺序没有明显的规律性,着生在上部二次枝梗上的 3 个粒位籽粒的消减值排序为第 2 粒位 > 第 1 粒位 > 第 3 粒位;着生在中下部二次枝梗上的 3 个粒位籽粒的消减值排序为第 2 粒位 > 第 3 粒位 > 第

1 粒位,两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。两种穗型品种中下部二次枝梗上的粒位相对于上部一次枝梗第 1 粒位的消减值的相对变化值是升高的,其他粒位的相对变化值是按照穗内粒位的位置排序从上向下逐渐降低的。6 个品种穗内不同粒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。

表 6 两种穗型粳稻穗上不同粒位籽粒消减值的差异

Tab. 6 Difference of setback in the grains between different grain positions in two panicle types of Japonica rice (cP)

穗上粒位 Position of the panicle	直立穗型品种 Variety with EP			均值 Mean	相对值 ^{a)} /% RR ^{a)}	弯曲穗型品种 Variety with CP			均值 Mean	相对值 ^{a)} /% RR ^{a)}
	QCL1	LG5	ZF ₁₃			SN315	FJ	WF ₁₃		
上部 Upper										
一次枝梗 Primary branch										
1	430a	304ab	569ab	434	100.00	35 a	255 a	60 ab	117	100.00
2	260c	194c	241d	232	53.41	− 261 de	79 c	− 14 bc	− 65	− 55.80
3	222c	127cd	491bc	280	64.52	− 297 ef	95 c	− 4 bc	− 68	− 58.56
4	235c	211bc	570ab	339	78.06	− 379 f	156 bc	− 64 c	− 96	− 81.94
5	358b	− 6e	505b	302	69.62	− 184 cd	82 c	80 ab	− 7	− 6.37
6	48e	88de	692a	276	63.54	− 108 bc	250 ab	− 7 bc	45	38.59
二次枝梗 Secondary branch										
1	150d	308ab	455bc	304	70.12	− 133 bc	276 a	69 ab	71	60.55
2	89de	402a	368c	286	66.00	− 68 b	228 ab	147 a	102	87.26
3	50e	213bc	162d	142	32.62	− 163 bc	72 c	45 b	− 15	− 13.02
中部 Middle										
一次枝梗 Primary branch										
1	242a	174c	425bc	280	64.62	− 127 c	197 bc	44 c	38	32.51
2	− 22c	93d	224d	94	21.76	− 219 cd	52 ef	− 31 c	− 66	− 56.56
3	104b	− 3e	220d	107	24.60	− 271 d	18 f	− 26 c	− 93	− 79.56
4	61bc	− 65e	348c	115	26.42	− 137 c	112 cde	24 c	0	− 0.29
5	54bc	187c	254d	165	38.04	148 a	101 def	61 c	103	88.40
6	− 16c	− 17e	257d	75	17.26	− 25 b	184 bed	43 c	70	60.27
二次枝梗 Secondary branch										
1	94b	206c	184d	161	37.20	− 3 b	232 b	315 b	181	154.94
2	265a	511a	589a	455	104.79	129 a	580 a	464 a	391	334.79
3	206a	419b	481b	369	85.02	108 a	239 b	327 b	225	192.30
下部 Basal										
一次枝梗 Primary branch										
1	203c	44ef	243c	163	37.66	34 b	375 b	167 c	192	164.16
2	37ef	233bc	247c	172	39.71	− 108 c	223 cd	236 b	117	100.00
3	42ef	105de	115de	87	20.12	− 79 c	165 d	73 de	53	45.25
4	− 12f	158cd	118de	88	20.30	− 96 c	171 d	163 c	79	67.97
5	15ef	− 27f	63e	17	3.94	− 118 c	77 e	120 cd	30	25.95
6	119d	− 6f	− 48f	22	4.99	− 60 bc	161 d	37 e	46	39.35
二次枝梗 Secondary branch										
1	77de	251b	132d	153	35.28	29 b	260 c	178 bc	156	133.27
2	424a	637a	687a	583	134.28	334 a	526 a	571 a	477	407.79
3	289b	646a	597b	511	117.64	240 a	517 a	573 a	443	379.09
平均 Mean	149	200	342			− 66	211	135		
最大值 Max	430	646	692			334	580	573		
最小值 Min	− 22	− 65	− 48			− 379	18	− 64		
CV/%	87.98	96.41	59.82			− 250.68	68.58	129.52		

3 讨论

穗型研究一直是理想株型育种中的主要内容之一^[18],关于不同穗型品种不同粒位籽粒淀粉 RVA 谱特征比较的研究文献较少。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^[6,7]。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。

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^[8,9]和品质^[10,11]的差异,这种差异不利于水稻产量和品质及种子发芽整齐度的提高。据报道,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^[12,13],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^[14],并进而影响稻米粒重和品质性状差异的形成。本研究表明,穗内不同部位籽粒的淀粉黏滞特性好坏与其颖花在穗上的开花顺序有密切联系,早开花籽粒(第 1、6、5 粒位)的淀粉黏滞特性强于晚开花籽粒(第 2 粒位),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。

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一性,进而提高穗内种籽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^[15-17]。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] 孔祥斗,张洪熙,刘晓静. 江苏省粳稻品种经济性状的演变及高产育种的设想[J]. 江苏农业科学, 1997(3): 2-16.
- [2] 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.
- [3] 张佩莲,钟旭华,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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Kato T. Change of sucrose synthase activity in developing endosperm of rice cultivars[J]. Crop Sci 1995, 35: 827-831.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.