

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.00641

两种穗型粳稻穗上不同粒位籽粒几个营养和蒸煮品质性状的比较分析

陈书强¹ 金 峰 董 丹 刘柏林 薛菁芳 张文忠 徐正进* 陈温福

(沈阳农业大学水稻研究所/农业部作物生理生态与遗传育种重点开放实验室 / 辽宁省北方粳稻育种重点实验室, 辽宁沈阳 110161)

摘 要: 选用典型的直立穗型和弯曲穗型粳稻品种, 研究了穗上不同粒位籽粒的几个重要营养和蒸煮品质性状差异及其分布特点。结果表明, 穗型特征与蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值高低无直接必然的联系, 但是对穗不同部位间这些指标及其粒位顺序有较大影响。对 3 个直立穗型品种而言, 蛋白质含量、直链淀粉含量表现为穗下部 > 中部 > 上部, 食味值则相反, 而对 3 个弯曲穗型品种而言, 蛋白质含量、直链淀粉含量的表现规律不明显, 食味值表现为穗上部 > 中部 > 下部; 同一稻穗不同枝梗间相比, 着生在二次枝梗上的稻米蛋白质含量相对较高、直链淀粉含量和食味值相对较低, 而着生在一次枝梗上的稻米蛋白质含量相对较低、直链淀粉含量和食味值相对较高; 同一枝梗间的不同着粒部位相比, 下部二次枝梗第 2、3 粒位的蛋白质含量较高、食味值较低, 中上部一次枝梗 1~6 粒位的蛋白质含量较低、食味值较高, 而直链淀粉含量在粒位间规律不明显; 直立穗型品种单一稻穗不同粒位间的差异大于弯曲穗型品种, 其主要原因可能是直立穗型品种着粒密度过大。

关键词: 粳稻; 穗型; 粒位; 蛋白质含量; 直链淀粉含量; 食味值

Comparisons of Several Nutritional and Cooking Qualities of Grains at Different Grain Positions of Panicle between Two Panicle Types of *Japonica* Rice

CHEN Shu-Qiang, JIN Feng, DONG Dan, LIU Bai-Lin, XUE Jing-Fang, ZHANG Wen-Zhong, XU Zheng-Jin*, and CHEN Wen-Fu

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture / Key Laboratory of Northern Japonica Rice Breeding of Liaoning / Rice Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning, China)

Abstract: Nutritional and taste quality are focused in rice (*Oryza sativa* L.) breeding for grain quality. Panicle type may have certain effect on grain quality traits. However, research in detail on grain quality difference between/within erect and curved panicle rice is not well-documented. The objective of the present study was to characterize the difference in several nutritional and cooking qualities at different seed positions in *japonica* rice cultivars which differ in panicle type. Three erect and three curved panicle *japonica* rice cultivars of similar maturity were grown in randomized block design in 2006. After maturity protein content (PC), amylose content (AC), and taste quality (TQ) of milled rice were measured. The results showed that panicle type had considerable influence on PC, AC, and TQ at the different parts of panicle, for erect panicle cultivars, PC and AC increased with the grain position from the upper to the lower parts, while TQ showed reverse trend; for curved panicle ones, PC and AC showed no regular trend, but TQ was the same as that of erect panicle cultivars. In the same panicle, the PC of secondary branches was higher than that of primary branches, while AC and TQ behaved reversely. In the same rachis branches, the 2nd and 3rd grain of secondary branch at lower part had higher PC and lower TQ, the 1st to 6th grains of primary branch at mid and upper part had lower PC and higher TQ, no rule was found for AC at different grain positions of panicle. The difference of referred quality traits at different grain positions in erect panicle was higher than that in curved panicle, resulting from higher grain density in erect panicle. Results from this study will facilitate erect panicle cultivars in rice breeding for quality in Northeast China.

Keywords: *Japonica* rice; Panicle type; Grain position; Protein content; Amylose content; Taste quality

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370866); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20050157001); 辽宁省教育厅重点实验室项目(20060753)

作者简介: 陈书强(1976-), 男, 黑龙江阿城人, 博士研究生, 主要从事水稻产量生理与品质研究。

* 通讯作者(Corresponding author): 徐正进。Tel: 024-88487183, E-mail: xuzhengjin@126.com

Received(收稿日期): 2007-07-23; Accepted(接受日期): 2007-09-27.

东北稻区是优质粳稻的主产区,种植面积虽小,但是品质和产量潜力很大^[1]。现在东北稻区直立穗型品种种植面积超过总面积的50%以上,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^[2-3],但是对于直立穗型品种营养和蒸煮食味品质的普遍看法是稍差于弯曲穗型品种^[4]。因此,改善东北稻区直立穗型粳稻的营养和蒸煮食味品质,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。国内学者对水稻不同籽粒的蒸煮及营养品质进行了一些研究^[5-8]。朱海江等^[5]研究表明,直立穗型粳稻品种单一稻穗内直链淀粉含量的粒间差异明显大于弯曲穗型品种,直立与弯曲两种穗型粳稻品种均表现为穗顶部籽粒的直链淀粉含量相对较高、穗基部籽粒的直链淀粉含量相对较低这一基本趋势。董明辉等^[6]认为,穗下部一、二次枝梗籽粒的胶稠度较低,直链淀粉含量较高;穗中、上部一、二次枝梗的胶稠度较高,直链淀粉含量较低。在同一个枝梗上,二次枝梗上早开花的第1粒的胶稠度最高,稻穗中、上部一次枝梗迟开花的第2粒的直链淀粉含量较高。蛋白含量因不同类型品种的不同部位表现不同。

对于一个稻穗而言,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,因而形成了粒重和米质性状上的差异^[9-10]。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及不同粒位籽粒的蒸煮及营养品质的差异及其分布特点,报道较少,尤其关于不同粒位籽粒的食味研究相对更少。本研究比较分析了粳稻不同穗型间以及同一穗型不同部位和不同粒位籽粒间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味的差异,以期揭示其品质变化及其粒位分布特征,为直立穗型粳稻优质高产

育种提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 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,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]。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 m⁻²,营养土保温早育苗,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 hm⁻²、硫酸钾112.5 kg hm⁻²作底肥一次性施入。其他栽培管理同常规生产田。

1.2 取样及测定

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,并挂纸牌标记,观察并记载其中一部分穗各粒位开花日期。成熟期摘取各小区的标记穗,按穗上枝梗部位及粒位分类取样。参照Liu^[11]的穗部粒位划分标准(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至第6个粒位,将二次枝梗上的3个粒分为第1至第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,除去空瘪待测稻米品质。

表1 供试6个品种的穗部粒位划分
Table 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 QCL1	15	5	5	5
	辽粳5号 LG5	13	4	5	4
	直立穗品系 ZF13	13	4	5	4
弯曲 Curved panicle	沈农315 SN315	11	3	4	4
	丰锦 FJ	13	4	5	4
	弯曲穗品系 WF13	12	4	4	4

^a: 一次枝梗总数。^a: numbers of primary branches.

徐正进等^[12]的研究结果表明,近红外线食味分

析仪测定的蛋白质和直链淀粉含量与常规测定结果

均呈极显著正相关，近红外线食味分析仪测定结果可以用于蛋白质和直链淀粉含量的比较分析。本试验参照该法，用日本静岡机械制造有限公司生产的近红外透过式 PS-500 食味分析仪测定不同粒位精米的蛋白质、直链淀粉含量和食味值。此仪器用 300 份粳稻材料进行定标，其中校正组 200 份，检验组 100 份，在波长为 850~1 050 nm 的范围内，每隔 2 nm 采集透射光强度，每个样品重复扫描 10 次，利用 WinISI 软件对光谱进行标准正常化处理和散射处理，建模方法采用偏最小二乘法(PLS)。直链淀粉含量的定标标准偏差(SEC)、交叉检验标准误差(SECV)和定标决定系数(R)分别为 1.462、1.634 和 0.861；蛋白质的定标标准偏差(SEC)、交叉检验标准误差(SECV)和定标决定系数(R)分别为 0.221、0.256 和

0.988。仪器的测定范围为蛋白质含量 4.0%~11.0% (干基)、直链淀粉含量 15.0%~30.0%(总淀粉比)、食味值 40~100 分(精米)。

采用 SPSS11.5 软件进行显著性测验。

2 结果分析

2.1 不同穗型品种的农艺性状比较

由表 2 可以看到，直立穗型品种和弯曲穗型品种在穗部性状上有显著差异，尤其在着粒密度和一次枝梗密度上的差异较为明显。直立穗型品种总体表现为穗较短，一次枝梗数和穗粒数较多，一次枝梗密度和着粒密度较大，粒重较小，结实率偏低，产量较高；而弯曲穗型品种则表现相反趋势。

表 2 6 个粳稻品种的穗部性状
Table 2 Panicle characteristics of six japonica rice cultivars

穗型 Panicle type	品种 Cultivar	穗数 PN	穗长 PL	穗粒数 GN (grains panicle ⁻¹)	一次枝 梗数 PRN	着粒密度 GD (grains cm ⁻¹)	一次枝梗 密度 PRD (PR cm ⁻¹)	结实率 SSR (%)	千粒重 TGW	产量 Yield (kg 667m ⁻²)
直立 Erect panicle	QCL1	13.60 a	19.22 c	191.10 a	15.07 a	99.48 a	0.79 a	92.06 a	23.80 ab	700.74 a
	LG5	14.40 a	16.33 e	163.40 b	12.53 c	100.30 a	0.78 a	92.23 a	22.85 bc	629.64 ab
	ZF13	14.40 a	16.53 e	157.00 bc	13.07 b	95.07 a	0.79 a	91.61 a	22.68 c	586.57 bc
	平均 Mean	14.13	17.36	170.50	13.56	98.28	0.78	91.97	23.11	638.98
弯曲 Curved panicle	SN315	15.20 a	17.74 d	112.90 e	11.13 e	63.76 b	0.63 b	92.57 a	24.67 a	514.40 c
	FJ	14.60 a	20.00 b	138.50 d	13.13 b	69.35 b	0.65 b	93.45 a	24.35 a	565.94 bc
	WF13	13.20 a	21.64 a	149.70 cd	12.00 d	69.39 b	0.56 c	92.60 a	23.87 ab	522.46 c
	平均 Mean	14.33	19.79	133.70	12.09	67.50	0.61	92.88	24.30	534.26

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽粳 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

PN: Panicle number per hill; PL: Panicle length; GN: Grains number per panicle; PRN: Primary rachis number per panicle; GD: Grain density; PRD: Primary rachis density; SSR: Seed setting rate; TGW: 1000-grain weight.

2.2 蛋白质含量在穗上不同部位的差异

由表 3 可见，供试 6 个品种的蛋白质含量在 7.55%~8.66% 之间，其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系。同一品种不同枝梗的稻米蛋白质含量，以二次枝梗相对较高，而一次枝梗相对较低，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，穗内不同部位间蛋白质含量的差异幅度及其粒位顺序，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，二次和一次枝梗上的蛋白质含量表现为下部 > 中部 > 上部，差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种来说，二次枝梗上的蛋白质含量也是下部 > 中部 > 上部，差异达到显著水平，而一次枝梗上的蛋白质含量表现不太规律，但都

以中部最低。3 个直立穗型品种穗内不同部位间蛋白质含量的差异幅度较大(6.54%~9.83%)，变异系数也较大(1.13~1.83)。而 3 个弯曲穗型品种穗内不同部位间蛋白质含量的差异幅度较小(7.49%~10.16%)，变异系数也较小(0.96~1.07)。由上可知，直立穗型品种蛋白质含量上部一次枝梗最低，下部二次枝梗最高；弯曲穗型品种蛋白质含量中部一次枝梗最低，下部二次枝梗最高；直立穗型品种蛋白质含量不同部位间差异大于弯曲穗型品种。

由表 4 可见，同一品种不同粒位间相比，着生在一次枝梗上的 6 个粒位的蛋白质含量排列顺序并无明显规律性，而二次枝梗上的 3 个粒位蛋白质含量排序基本上以第 1 粒位最低，第 3 粒位最高，两种

表 3 两种穗型粳稻穗上不同部位蛋白质含量的差异

Table 3 Difference of protein content in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (%)

穗上部位 Part of the panicle		直立穗型 Erect panicle type						均值 ¹⁾ Mean ¹⁾
		QCL1		LG5		ZF13		
		平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	
一次枝梗 Primary branch								
上部	Upper	7.54 c	1.26	6.86 b	1.62	6.54 c	1.56	6.98 aB
中部	Middle	8.12 b	0.54	7.13 b	1.88	7.14 b	0.82	7.46 aA
下部	Basal	8.28 a	0.35	7.76 a	2.17	7.67 a	2.07	7.90 aA
平均 1 Mean 1		7.98		7.25		7.12		7.45 A
二次枝梗 Secondary branch								
上部	Upper	7.61 c	1.41	7.10 c	0.47	6.97 c	1.91	7.23 bB
中部	Middle	8.19 b	1.43	8.71 b	2.55	8.11 b	2.41	8.34 aA
下部	Basal	8.66 a	1.78	9.83 a	0.34	8.89 a	2.20	9.13 aA
平均 2 Mean 2		8.15		8.55		7.99		8.23 A
平均 ²⁾ Mean ²⁾		8.07 C	1.13	7.90 D	1.50	7.55 F	1.83	
变幅	Range	7.54–8.66		6.86–9.83		6.54–8.89		

穗上部位 Part of the panicle		弯曲穗型 Curved panicle type						均值 ¹⁾ Mean ¹⁾
		SN315		FJ		WF13		
		平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	
一次枝梗 Primary branch								
上部	Upper	7.72 a	0.90	7.83 b	1.18	8.16 b	0.24	7.90 aA
中部	Middle	7.49 c	0.13	7.72 b	0.65	8.16 b	1.01	7.79 aA
下部	Basal	7.60 b	0.38	8.08 a	0.98	8.34 a	0.31	8.01 aA
平均 1 Mean 1		7.60		7.88		8.22		7.90 A
二次枝梗 Secondary branch								
上部	Upper	7.68 b	1.40	8.01 c	0.87	8.14 c	0.85	7.94 aA
中部	Middle	7.82 b	1.37	8.84 b	1.15	9.02 b	2.16	8.56 abA
下部	Basal	8.42 a	1.60	9.68 a	1.73	10.16 a	1.87	9.42 bA
平均 2 Mean 2		7.97		8.84		9.11		8.64 A
平均 ²⁾ Mean ²⁾		7.79 E	0.96	8.36 B	1.09	8.66 A	1.07	
变幅	Range	7.49–8.42		7.72–9.68		8.14–10.16		

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽粳 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同穗型间同一部位上在 5% 水平上的差异显著性, ²⁾ 数据后不同的大写字母表示不同品种间在 5% 水平上的差异显著性, ³⁾ 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。

¹⁾ Data followed by a different uppercase letter indicated significant difference at the 0.05 probability level for PC in the grains at the same panicle position between two panicle types. ²⁾ Data followed by a different uppercase letter indicated significant difference at the 0.05 probability level for PC in the grains between different cultivars. ³⁾ 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 the same cultivars.

穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。供试 6 个品种穗不同部位的粒位间蛋白质含量的分布特点及其粒位间的相对变化规律, 在很大程度上与品种的穗型特征存在着一定的联系。对 3 个直立穗型品种而言, 穗一次枝梗上不同粒位蛋白质含量分布特点为下部 1~6 粒位 > 中部 1~6 粒位 > 上部 1~6 粒位, 二次枝梗上则为下部 1~3 粒位 > 中部 1~3 粒位 > 上

部 1~3 粒位, 其他粒位相对于上部一次枝梗第 1 粒位的蛋白质含量的相对变化值是按照穗内粒位的排序从上向下逐渐升高的, 以下部二次枝梗第 2 粒位最高。对 3 个弯曲穗型品种来讲, 穗一次枝梗上不同粒位蛋白质含量分布特点为下部 1~6 粒位 > 上部 1~6 粒位 > 中部 1~6 粒位, 二次枝梗上则为下部 1~3 粒位 > 中部 1~3 粒位 > 上部 1~3 粒位; 其他粒位相

对于上部一次枝梗第 1 粒位的蛋白质含量的相对变化规律不如直立穗型品种明显，但是穗二次枝梗上的第 2、3 粒位的相对值较高，且按位置排序是从上向下逐渐升高的，以下部二次枝梗第 3 粒位最高。上述表明，同一稻穗不同籽粒的蛋白质含量变化与其相应的粒位有关，直立穗型品种下部二次枝梗 2、3 粒位蛋白质含量相对较高，上部一次枝梗 1~6 粒位相对较低；弯曲穗型品种下部二次枝梗 2、3 粒位蛋白质含量相对较高，而中部一次枝梗 1~6 粒位相对较低。

表 4 两种穗型粳稻穗上不同粒位蛋白质含量的差异
Table 4 Difference of protein content in the grains between different grain positions in two panicle types of japonica rice (%)

穗上部位		粒位	直立穗型			Erect panicle type (EP)			均值 ¹⁾	相对值 ^{a)}	弯曲穗型			Curved panicle type (CP)			均值 ¹⁾	相对值 ^{a)}
Part of the panicle		Position	QCL1	LG5	ZF13	Mean ¹⁾	RR ^{a)}	SN315	FJ	WF13	Mean ¹⁾	RR ^{a)}	SN315	FJ	WF13	Mean ¹⁾	RR ^{a)}	
上部 Upper																		
一次枝梗		1	7.47 a	6.40 d	6.30 c	6.72 aB	100.00	7.77 a	8.07 b	8.10 abc	7.98 abA	100.00						
Primary branch		2	7.53 a	6.63 cd	6.77 bc	6.98 aA	103.77	7.83 a	7.60 c	8.00 bc	7.81 abA	97.87						
		3	7.60 a	6.83 bc	6.70 bc	7.04 aA	104.76	7.70 ab	7.77 bc	8.13 abc	7.87 abA	98.58						
		4	7.60 a	7.03 ab	6.67 bc	7.10 aA	105.60	7.67 ab	7.90 b	8.30 ab	7.96 abA	99.71						
		5	7.63 a	7.13 ab	6.47 c	7.08 aA	105.26	7.60 ab	7.90 b	8.17 abc	7.89 abA	98.87						
		6	7.40 a	7.10 ab	6.37 c	6.96 aB	103.47	7.77 a	7.77 bc	8.23 ab	7.92 abA	99.29						
二次枝梗		1	7.60 a	6.93 abc	6.40 c	6.98 aA	103.77	7.37 b	7.57 c	7.87 c	7.60 bA	95.28						
Secondary branch		2	7.67 a	7.07 ab	7.17 ab	7.30 aB	108.63	7.77 a	8.47 a	8.37 a	8.20 aA	102.80						
		3	7.57 a	7.30 a	7.33 a	7.40 aA	110.06	7.90 a	8.00 b	8.20 abc	8.03 abA	100.67						
中部 Middle																		
一次枝梗		1	7.83 c	6.93 cd	6.83 c	7.20 cA	107.04	7.77 bc	7.70 c	8.10 c	7.86 bA	98.45						
Primary branch		2	7.83 c	6.87 d	7.17 bc	7.29 cA	108.43	7.67 bcd	7.57 c	8.20 c	7.81 bA	97.91						
		3	8.20 ab	7.00 cd	6.90 c	7.37 cA	109.57	7.50 cde	7.70 c	8.17 c	7.79 bA	97.62						
		4	8.23 ab	7.23 cd	7.37 b	7.61 bcA	113.19	7.33 e	7.73 c	8.13 c	7.73 bA	96.87						
		5	8.13 b	7.37 bc	7.37 b	7.62 cbA	113.39	7.37 de	7.80 c	8.27 c	7.81 bA	97.91						
		6	8.47 a	7.37 bc	7.20 bc	7.68 abcA	114.23	7.30 e	7.80 c	8.10 c	7.73 bA	96.91						
二次枝梗		1	8.07 bc	7.67 b	7.47 b	7.74 abcA	115.07	7.50 cde	7.77 c	8.23 c	7.83 bA	98.16						
Secondary branch		2	8.27 ab	9.37 a	8.37 a	8.67 aA	128.95	8.10 a	10.10 a	9.73 a	9.31 aA	116.67						
		3	8.23 ab	9.10 a	8.50 a	8.61 abA	128.06	7.87 ab	8.67 b	9.10 b	8.55 abA	107.10						
下部 Basal																		
一次枝梗		1	8.43 abc	7.53 c	7.27 c	7.74 bA	115.17	7.30 c	7.83 d	8.07 b	7.73 bA	96.91						
Primary branch		2	8.17 c	7.73 c	7.53 bc	7.81 bA	116.16	7.57 bc	8.70 d	8.37 b	8.21 bA	102.92						
		3	8.27 bc	7.67 c	7.83 b	7.92 bA	117.85	7.80 b	8.27 c	8.40 b	8.16 bA	102.21						
		4	8.33 abc	7.80 bc	7.63 bc	7.92 bA	117.80	7.57 bc	7.77 d	8.37 b	7.90 bA	99.04						
		5	8.37 abc	7.93 bc	7.90 b	8.07 bA	119.98	7.73 b	7.93 cd	8.43 b	8.03 bA	100.63						
		6	8.13 c	7.90 bc	7.83 b	7.95 bA	118.29	7.63 bc	7.97 cd	8.43 b	8.01 bA	100.38						
二次枝梗		1	8.60 ab	8.23 b	7.83 b	8.22 bA	122.26	7.70 b	7.97 cd	8.50 b	8.06 bA	100.96						
Secondary branch		2	8.63 ab	10.73 a	9.53 a	9.63 aA	143.23	8.80 a	10.53 a	10.87 a	10.07 aA	126.15						
		3	8.73 a	10.53 a	9.30 a	9.52 aA	141.60	8.77 a	10.53 a	11.10 a	10.13 aA	126.98						
变幅 Range			7.4–8.7	6.4–10.7	6.3–9.5	6.7–9.6		7.3–8.3	7.6–10.5	7.9–11.1	7.6–10.1							

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽粳 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

不同的小写字母表示同一品种在同一部位上不同粒位间 5% 水平的差异显著性，¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同穗型同一部位间在 5% 水平上的差异显著性，^{a)} 表示其他粒位相对一次枝梗上第 1 粒位的相对百分值。

Values followed by a different lowercase letter are significantly different at 0.05 probability level for PC between grain positions of the same parts in the same cultivars. ¹⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at 0.05 probability level for PC in the grains at the same parts between two panicle types. ^{a)} Relative ratio of protein content for other grains to the grain 1 on the primary branches at the upper part of panicle. RR: relative ratio.

2.3 直链淀粉含量在穗上不同部位的差异

由表 5 可见，供试 6 个品种的直链淀粉含量在 17.42%~18.37% 之间，其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系。同一品种不同枝梗间相比，着生在一次枝梗上的稻米直链淀粉含量相对较高，

而二次枝梗相对较低，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，穗不同部位间直链淀粉含量的差异幅度及其粒位顺序，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，二次和一次枝梗上的直链淀

粉含量表现为下部 中部 > 上部, 差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种来说, 二次和一次枝梗上的直链淀粉含量上、中、下 3 部分表现不太规律, 因品种而异。3 个直立穗型品种穗不同部位间直链淀粉含量的差异幅度较大(17.00%~18.49%), 变异系数也较大(0.45~0.87)。而 3 个弯曲穗型品种穗不同部位

间直链淀粉含量的差异幅度较小(17.80%~18.56%), 变异系数也较小(0.28~0.64)。可以看出, 直立穗型品种直链淀粉含量以下部一次枝梗较高, 上部和中部分二次枝梗较低; 弯曲穗型品种直链淀粉含量以中部一次枝梗较高, 下部二次枝梗较低; 直立穗型品种直链淀粉含量不同部位间差异大于弯曲穗型品种。

表 5 两种穗型粳稻穗上不同部位直链淀粉含量的差异

Table 5 Difference of amylose content in the grains at the different parts of panicle between two panicle types of japonica rice (%)

穗上部位 Part of the panicle		直立穗型 Erect panicle type						均值 ¹⁾ Mean ¹⁾
		QCL1		LG5		ZF13		
		平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	
一次枝梗 Primary branch								
上部 Upper		17.93 b	0.28	17.98 a	0.44	17.25 b	1.21	17.72 aA
中部 Middle		18.39 a	0.60	18.09 a	0.42	17.44 b	0.36	17.97 aA
下部 Basal		18.49 a	0.29	18.08 a	0.27	17.93 a	0.81	18.17 aA
平均 1 Mean 1		18.27		18.05		17.54		17.95 A
二次枝梗 Secondary branch								
上部 Upper		17.96 b	0.39	17.68 a	0.66	17.34 a	0.89	17.66 aA
中部 Middle		18.16 a	0.74	17.84 a	0.57	17.00 b	0.90	17.67 aA
下部 Basal		18.20 a	0.37	17.73 a	0.68	17.56 a	1.05	17.83 aA
平均 2 Mean 2		18.10		17.75		17.30		17.72 A
平均 ²⁾ Mean ²⁾		18.19 B	0.45	17.90 D	0.51	17.42 E	0.87	
变幅 Range		17.93–18.49		17.68–18.09		17.00–17.93		
穗上部位 Part of the panicle		弯曲穗型 Curved panicle type						均值 ¹⁾ Mean ¹⁾
		SN315		FJ		WF13		
		平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	
一次枝梗 Primary branch								
上部 Upper		17.80 b	0.28	18.33 a	0.33	18.56 a	0.23	18.23 aA
中部 Middle		18.07 a	0.09	18.33 a	0.16	18.48 ab	0.16	18.29 aA
下部 Basal		18.02 a	0.28	18.33 a	0.29	18.40 b	0.65	18.25 aA
平均 1 Mean 1		17.96		18.33		18.48		18.26 A
二次枝梗 Secondary branch								
上部 Upper		17.88 b	0.11	18.12 b	0.11	18.49 a	0.75	18.16 aA
中部 Middle		18.22 a	0.38	18.01 b	0.28	18.32 ab	0.56	18.19 aA
下部 Basal		18.10 a	0.55	18.29 a	0.69	17.96 b	1.51	18.11 aA
平均 2 Mean 2		18.07		18.14		18.26		18.15 A
平均 ²⁾ Mean ²⁾		18.01 C	0.28	18.24 B	0.31	18.37 A	0.64	
变幅 Range		17.80–18.22		18.01–18.33		17.96–18.56		

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽粳 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同穗型间同一部位上在 5% 水平上的差异显著性, ²⁾ 数据后不同的大写字母表示不同品种间在 5% 水平上的差异显著性, ³⁾ 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。

¹⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for AC in the grains at the same panicle position between two panicle types. ²⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for AC in the grains between different cultivars. ³⁾ Data followed by a different lowercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for AC in the grains between different parts in the same cultivars.

由表 6 可见, 同一品种枝梗上不同粒位间相比, 着生在一次枝梗上的 6 个粒位的直链淀粉含量基本上以第 6 粒位较高, 第 1 粒位较低, 其他粒位排列顺序没有规律性; 而二次枝梗上 3 个粒位直链淀粉含

量以第 3 粒位较高, 第 2 粒位较低, 两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。供试 6 个品种穗内不同部位的粒位间直链淀粉含量的分布特点及其粒位间的相对变化规律, 在很大程度上与品种的穗

型特征存在着一定的联系。对 3 个直立穗型品种而言，穗内一次枝梗上不同粒位直链淀粉含量分布特点为下部 1~6 粒位 > 中部 1~6 粒位 > 上部 1~6 粒位，二次枝梗上不同粒位直链淀粉含量分布特点为下部 1~2 粒位 > 上部和中部 1~2 粒位，其他粒位相对于上部一次枝梗第 1 粒位的直链淀粉含量的相对变化值，是按照穗内粒位位置的排序从上向下逐渐升高的，但上部和中部二次枝梗的第 2 粒位却是降低的。对 3 个弯曲穗型品种来讲，穗内一次枝梗上不同粒位直链淀粉含量分布特点以中部 1~6 粒位较高，上部和下部 1~6 粒位较低，二次枝梗上不同粒位直链淀粉含量分布特点以中部 1、3 粒位较高，上部和下部 1、3 粒位较低；其他粒位相对于上部一次枝梗第 1 粒位的直链淀粉含量的相对变化规律不如直立穗型品种明显，但是穗下部二次枝梗上的第 2、3 粒位的相对值较低。这也说明同一稻穗不同籽粒间的直链淀粉含量变化与其颖花在穗上的开花顺序有关，直立穗型品种下部一次枝梗 1~6 粒位直链淀粉含量相对较高，上部和中部二次枝梗 1~3 粒位相对较低；弯曲穗型品种以中部一次枝梗 1~6 粒位直链淀粉含量相对较高，上部和下部二次枝梗 1~3 粒位相对较低。

表 6 两种穗型粳稻穗上不同粒位直链淀粉含量的差异

Table 6 Difference of amylose content in the grains between different grain positions in two panicle types of japonica rice (%)											
穗上部位 Part of the panicle	粒位 Position	直立穗型 Erect panicle type			均值 ¹⁾ Mean ¹⁾	相对值 ^{a)} RR ^{a)}	弯曲穗型 Curved panicle type			均值 ¹⁾ Mean ¹⁾	相对值 ^{a)} RR ^{a)}
		QCL1	LG5	ZF13			SN315	FJ	WF13		
上部 Upper											
一次枝梗 Primary branch	1	17.77 c	17.63 c	17.20 b	17.53 aA	100.00	17.50 d	18.23 a	18.57 abc	18.10 aA	100.00
	2	17.83 bc	17.93 abc	17.37 ab	17.71 aA	101.01	18.07 a	18.20 ab	18.53 abc	18.27 aA	100.92
	3	17.93 abc	17.97 abc	17.37 ab	17.76 aA	101.27	17.97 abc	18.43 a	18.53 abc	18.31 aA	101.17
	4	18.07 ab	17.93 abc	17.20 b	17.73 aA	101.14	17.87 abc	18.30 a	18.57 abc	18.24 aA	100.80
	5	17.83 bc	18.17 ab	17.17 b	17.72 aA	101.08	17.70 bcd	18.40 a	18.37 c	18.16 aA	100.31
	6	18.13 a	18.23 a	17.20 b	17.86 aA	101.84	17.70 bcd	18.43 a	18.80 a	18.31 aA	101.17
二次枝梗 Secondary branch	1	17.87 abc	17.77 bc	17.23 ab	17.62 aA	100.51	17.67 cd	18.00 bc	18.30 c	17.99 aA	99.39
	2	18.00 abc	17.27 d	17.00 b	17.42 aA	99.37	18.00 ab	17.97 c	18.47 bc	18.14 aA	100.25
	3	18.00 abc	18.00 abc	17.80 a	17.93 aA	102.28	17.97 abc	18.40 a	18.70 ab	18.36 aA	101.41
中部 Middle											
一次枝梗 Primary branch	1	17.97 d	17.90 ab	17.10 bc	17.66 aA	100.70	17.87 d	18.20 a	18.43 a	18.17 aA	100.37
	2	18.43 abc	17.70 bc	17.73 a	17.96 aA	102.41	18.13 bc	18.33 a	18.57 a	18.34 aA	101.35
	3	18.40 abc	18.10 ab	17.30 ab	17.93 aA	102.28	18.23 ab	18.33 a	18.50 a	18.36 aA	101.41
	4	18.43 abc	18.30 a	17.40 ab	18.04 aA	102.92	18.13 bc	18.33 a	18.40 a	18.29 aA	101.04
	5	18.50 ab	18.20 ab	17.50 ab	18.07 aA	103.04	18.07 bcd	18.40 a	18.53 a	18.33 aA	101.29
	6	18.63 a	18.33 a	17.60 ab	18.19 aA	103.74	17.97 cd	18.40 a	18.47 a	18.28 aA	100.98
二次枝梗 Secondary branch	1	18.20 bcd	18.07 ab	17.37 ab	17.88 aA	101.96	18.03 bcd	18.37 a	18.43 a	18.28 aA	100.98
	2	18.07 cd	17.37 c	16.57 c	17.33 aA	98.86	18.40 a	17.27 b	18.00 b	17.89 aA	98.83
	3	18.20 bcd	18.10 ab	17.07 bc	17.79 aA	101.46	18.23 ab	18.40 a	18.53 a	18.39 aA	101.60
下部 Basal											
一次枝梗 Primary branch	1	18.57 a	17.80 bc	17.47 c	17.94 abA	102.34	17.67 b	18.13 b	18.33 ab	18.04 aA	99.69
	2	18.47 a	17.73 cd	17.77 bc	17.99 abA	102.60	18.03 a	18.33 ab	18.27 ab	18.21 aA	100.61
	3	18.50 a	17.97 abc	18.00 ab	18.16 abA	103.55	18.20 a	18.27 ab	18.40 a	18.29 aA	101.04
	4	18.57 a	18.17 abc	18.00 ab	18.24 aA	104.06	18.17 a	18.27 ab	18.33 ab	18.26 aA	100.86
	5	18.50 a	18.43 a	18.07 ab	18.33 aA	104.56	18.07 a	18.50 a	18.37 a	18.31 aA	101.17
	6	18.37 ab	18.37 ab	18.30 a	18.34 aA	104.63	18.00 a	18.47 a	18.70 a	18.39 aA	101.60
二次枝梗 Secondary branch	1	18.53 a	18.17 abc	17.80 abc	18.17 abA	103.61	18.13 a	18.30 ab	18.30 ab	18.24 aA	100.80
	2	17.97 c	17.23 d	17.47 c	17.56 bA	100.13	18.00 a	18.47 a	17.73 c	18.07 aA	99.82
	3	18.10 bc	17.80 bc	17.40 c	17.77 abA	101.33	18.17 a	18.10 b	17.83 bc	18.03 aA	99.63
变幅 Range		17.8–18.6	17.2–18.4	16.6–18.3	17.3–18.3		17.5–18.4	17.3–18.5	17.7–18.8	17.9–18.4	

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽梗 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

不同的小写字母表示同一品种在同一部位上不同粒位间 5%水平的差异显著性。¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同穗型同一部位间在 5%水平上的差异显著性。^{a)} 表示其他粒位相对一次枝梗上第 1 粒位的相对百分值。

Values followed by a different lowercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for AC between grain positions of the same parts in the same cultivars. ¹⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for AC in the grains at the same parts between the two panicle types. ^{a)} Relative ratio of amylose content for other grains to the grain 1 on the primary branches at the upper part of panicle. RR: relative ratio.

2.4 食味值在穗上不同部位的差异

由表 7 可见，供试 6 个品种的食味值在 73.83%~

85.64% 之间，其变化趋势与品种的穗型特征差异并无直接联系。同一品种不同枝梗间相比，着生在

二次枝梗上的稻米食味值相对较低, 而一次枝梗相对较高, 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, 穗不同部位间食味值的差异幅度及其粒位顺序, 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, 一次和二次枝梗上的食味值表现为上部 > 中部 > 下部, 差异达到显著水平。对 3 个弯曲穗型品种来说, 一次枝梗上的食味值表现中部和上部 > 下部, 二次枝梗上的食味值也表现上部 >

中部 > 下部, 差异达到显著水平。3 个直立穗型品种穗内不同部位间食味值的变异幅度较大, 变异系数在 1.64~4.59 之间。而 3 个弯曲穗型品种穗不同部位间食味值的变异幅度较小, 变异系数在 1.33~3.28 之间。由此可以看出, 直立穗型品种食味值以上部一次枝梗最高, 下部二次枝梗最低; 弯曲穗型品种食味值以中部一次枝梗最高, 下部二次枝梗最低; 直立穗型品种食味值不同部位间变异大于弯曲穗型品种。

表 7 两种穗型粳稻穗上不同部位食味值的差异

Table 7 Difference of taste quality in the grains at the different panicle parts between the two panicle types of japonica rice (%)

穗上部位 Part of the panicle		直立穗型 Erect panicle type						均值 ¹⁾ Mean ¹⁾
		QCL1		LG5		ZF13		
		平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	
一次枝梗	Primary branch							
上部	Upper	79.67 a	2.77	84.83 a	0.98	90.17 a	0.67	84.89 aA
中部	Middle	77.17 ab	0.57	83.11 a	1.61	82.61 b	1.04	80.96 abA
下部	Basal	74.94 b	1.12	80.67 b	0.41	77.50 c	2.25	77.70 bA
平均 1	Mean 1	77.26		82.87		83.43		81.19 A
二次枝梗	Secondary branch							
上部	Upper	75.56 a	1.55	82.78 a	7.09	83.78 a	2.26	80.70 aA
中部	Middle	69.78 b	3.03	69.89 b	4.43	69.33 b	1.44	69.67 bA
下部	Basal	65.89 c	0.77	59.00 b	13.03	57.89 c	6.05	60.93 bA
平均 2	Mean 2	70.41		70.56		70.33		70.43
平均 ²⁾	Mean ²⁾	73.83 C	1.64	76.71 B	4.59	76.88 B	2.28	
变幅	Range	65.89–79.67		59.00–84.83		57.89–90.17		

穗上部位 Part of the panicle		弯曲穗型 Curved panicle type						均值 ¹⁾ Mean ¹⁾
		SN315		FJ		WF13		
		平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	平均 ³⁾ Mean ³⁾	CV	
一次枝梗	Primary branch							
上部	Upper	88.83 ab	1.04	85.33 a	1.22	82.61 a	0.51	85.59 aA
中部	Middle	90.28 a	0.75	84.06 a	2.08	84.39 a	1.60	86.24 abA
下部	Basal	88.39 b	1.04	79.50 b	0.55	79.06 b	1.24	82.31 bA
平均 1	Mean 1	89.17		82.96		82.02		84.72 A
二次枝梗	Secondary branch							
上部	Upper	87.67 a	1.14	80.11 a	0.96	82.11 a	6.32	83.30 aA
中部	Middle	85.00 a	1.18	70.33 b	1.25	75.11 a	1.79	76.81 aA
下部	Basal	73.67 b	2.83	55.56 c	7.97	58.56 b	8.24	62.59 bA
平均 2	Mean 2	82.11		68.67		71.93		74.23
平均 ²⁾	Mean ²⁾	85.64 A	1.33	75.81 BC	2.34	76.97 B	3.28	
变幅	Range	73.67–90.28		55.56–85.33		58.56–84.39		

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽粳 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同穗型间同一部位上在 5% 水平上的差异显著性; ²⁾ 数据后不同的大写字母表示不同品种间在 5% 水平上的差异显著性; ³⁾ 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。

¹⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for TQ in the grains at the same panicle position between the two panicle types. ²⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for TQ in the grains between different cultivars. ³⁾ Data followed by a different lowercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for TQ in the grains between different parts in the same cultivars.

由表 8 可见, 同一品种同一枝梗上不同粒位间 相比, 着生在一次枝梗上的 6 个粒位的食味值以第 1

粒位较高，其他粒位排列顺序并无明显规律性，而二次枝梗上的 3 个粒位食味值均以第 1 粒位最高，第 2 粒位最低，两种穗型(直立和弯曲)品种的这一表现基本一致。同一品种的穗一次枝梗上不同粒位食味值分布特点是下部 1~6 粒位 < 中部 1~6 粒位 < 上部 1~6 粒位，二次枝梗上则为下部 1~3 粒位 < 中部 1~3 粒位 < 上部 1~3 粒位，两种穗型品种表现一致。供试 6 个品种穗内不同粒位间食味值的相对变化规律，与品种的穗型特征存在着一定关系。对 3 个直立穗型品种而言，其他粒位对上部一次枝梗第 1 粒位的食味值的相对变化值是按照穗内粒位的位置排序由上向下逐渐降低的，以下部二次枝梗第 2 粒位为最低。对 3 个弯曲穗型品种来讲，其他粒位对上部一次枝梗第 1 粒位的食味值的相对变化不太规律，但是穗内二次枝梗上的第 2、3 粒位的相对值较低，且按位置排序是从上向下逐渐降低的，以下部二次枝梗第 2 粒位最低。上述表明，同一稻穗内不同籽粒间的食味值变化与其颖花在穗上的开花顺序有密切联系，两种穗型品种都以下部二次枝梗 2、3 粒位食味值相对较低，上部一次枝梗 1~6 粒位相对较高。

表 8 两种穗型粳稻穗上不同粒位食味值的差异
Table 8 Difference of taste quality in the grains between different grain positions in the two panicle types of japonica rice (%)

穗上部位 Part of the panicle	粒位 Position	直立穗型 Erect panicle type			均值 ¹⁾ Mean ¹⁾	相对值 ^{a)} RR ^{a)}	弯曲穗型 Curved panicle type			均值 ¹⁾ Mean ¹⁾	相对值 ^{a)} RR ^{a)}
		QCL1	LG5	ZF13			SN315	FJ	WF13		
上部 Upper											
一次枝梗 Primary branch	1	84.67 a	88.00 a	93.67 a	88.78 aA	100.00	89.33 a	86.33 ab	81.67 a	85.78 aA	100.00
	2	79.00 ab	85.00 a	89.67 ab	84.56 aA	95.24	88.67 a	85.33 ab	83.67 a	85.89 aA	100.13
	3	79.33 ab	86.33 a	88.00 abc	84.56 aA	95.24	88.67 a	86.33 ab	84.00 a	86.33 aA	100.65
	4	79.33 ab	82.00 a	89.67 ab	83.67 aA	94.24	89.67 a	87.00 a	82.67 a	86.44 aA	100.78
	5	80.00 ab	84.67 a	89.00 ab	84.56 aA	95.24	88.33 a	84.67 ab	81.00 a	84.67 aA	98.70
	6	75.67 b	83.00 a	91.00 ab	83.22 aA	93.74	88.33 a	82.33 bc	82.67 a	84.44 aA	98.45
二次枝梗 Secondary branch	1	78.00 ab	82.33 a	87.00 bcd	82.44 aA	92.87	89.67 a	84.67 ab	84.67 a	86.33 aA	100.65
	2	75.33 b	82.33 a	81.33 d	79.67 aA	89.74	85.67 a	77.00 d	80.67 a	81.11 aA	94.56
	3	73.33 b	83.67 a	83.00 cd	80.00 aA	90.11	87.67 a	78.67 cd	81.00 a	82.44 aA	96.11
中部 Middle											
一次枝梗 Primary branch	1	78.33 ab	83.33 a	82.67 a	81.44 aA	91.74	89.33 b	83.67 a	86.00 a	86.33 aA	100.65
	2	80.00 a	82.67 a	83.67 a	82.11 aA	92.49	89.00 b	83.67 a	85.00 a	85.89 aA	100.13
	3	75.33 b	82.67 a	80.33 a	79.44 aA	89.49	92.67 ab	86.67 a	84.67 a	88.00 aA	102.59
	4	77.33 ab	83.00 a	83.00 a	81.11 aA	91.36	89.00 b	84.67 a	84.00 a	85.89 aA	100.13
	5	77.33 ab	82.00 a	82.67 a	80.67 aA	90.86	92.00 ab	84.67 a	83.67 a	86.78 aA	101.17
	6	74.67 b	85.00 a	83.33 a	81.00 aA	91.24	89.67 b	81.00 a	83.00 a	84.56 aA	98.58
二次枝梗 Secondary branch	1	76.33 ab	82.67 a	79.33 a	79.44 aA	89.49	93.67 a	83.33 a	84.67 a	87.22 aA	101.68
	2	63.33 d	60.67 b	62.33 b	62.11 bA	69.96	82.00 c	63.67 b	67.33 c	71.00 bA	82.77
	3	69.67 c	66.33 b	66.33 b	67.44 bA	75.97	79.33 c	64.00 b	73.33 b	72.22 bA	84.20
下部 Basal											
一次枝梗 Primary branch	1	77.67 a	87.67 a	81.33 a	82.22 aA	92.62	88.67 ab	83.67 a	82.33 a	84.89 aA	98.96
	2	74.00 ab	77.00 a	75.00 a	75.33 aA	84.86	85.33 b	74.33 b	75.00 a	78.22 aA	91.19
	3	76.33 ab	76.67 a	76.33 a	76.44 aA	86.11	88.33 ab	76.00 ab	77.67 a	80.67 aA	94.04
	4	73.33 b	79.67 a	77.33 a	76.78 aA	86.48	90.00 a	80.67 ab	79.33 a	83.33 aA	97.15
	5	74.67 ab	82.00 a	78.33 a	78.33 aA	88.24	89.67 ab	81.33 ab	79.33 a	83.44 aA	97.28
	6	73.67 b	81.00 a	76.67 a	77.11 aA	86.86	88.33 ab	81.00 ab	80.67 a	83.33 aA	97.15
二次枝梗 Secondary branch	1	73.00 b	77.33 a	74.00 a	74.78 aA	84.23	85.33 b	80.00 ab	78.00 a	81.11 aA	94.56
	2	62.33 c	49.67 b	49.67 b	53.89 bA	60.70	67.33 c	41.00 c	48.33 b	52.22 bA	60.88
	3	62.33 c	50.00 b	50.00 b	54.11 bA	60.95	68.33 c	45.67 c	49.33 b	54.44 bA	63.47
变幅 Range		62.3–84.7	49.7–88.0	49.7–93.7	53.9–88.8		67.3–93.7	41.0–87.0	48.3–86.0	52.2–88.0	

QCL1: 千重浪 1 号; LG5: 辽粳 5 号; ZF13: 直立穗品系; SN315: 沈农 315; FJ: 丰锦; WF13: 弯曲穗品系。

不同的小写字母表示同一品种在同一部位上不同粒位间 5% 水平的差异显著性; ¹⁾ 数据后不同的大写字母表示不同穗型同一部位间在 5% 水平上的差异显著性; ^{a)} 表示其他粒位相对一次枝梗上第 1 粒位的相对百分值。

Values followed by a different lowercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for TQ between grain positions of the same parts in the same cultivars. ¹⁾ Data followed by a different uppercase letter are significantly different at the 0.05 probability level for TQ in the grains at the same parts between two panicle types. ^{a)} Relative ratio of taste quality for other grains to the grain 1 on the primary branches at the upper part of panicle. RR: relative ratio.

3 讨论

关于不同穗型品种稻米营养与蒸煮品质的问题,国内学者的研究结论尚不完全一致,吕文彦等^[4]认为辽宁省直立穗型品种蒸煮食味品质相对较差。徐大勇等^[13]研究表明江淮稻区直立穗型品种较半直立和弯曲穗型品种胶稠度相对较硬、蛋白质含量较高,而直链淀粉含量在3种类型间没有明显差异。左晓旭等^[14]认为直立穗型品种(EA6)食味品质显著优于弯曲穗型品种(秀水11),表明直立穗型品种经改良其米质有可能达到甚至超过弯曲穗型品种。徐正进等^[15]认为直立穗型性状本身与米质性状并无直接的联系,完全有可能育成优质高产的直立穗型品种。本研究结果表明,品种间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值差异显著,而水稻品种的穗型特征与品种间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值高低并无直接必然联系,这与徐正进和左晓旭等人的研究结论一致。以上研究结果不相一致的原因除供试材料不同外,与试验环境不同有关,应该利用代表性品种系统地进行研究。

Wang等^[16]研究表明,紧穗型品种优势粒与劣势粒之间在垩白粒率和直链淀粉含量上的差异比散穗型品种要大。Kato^[17]认为通常大穗型或直立穗型品种同一穗内在粒重和品质上的差异比小穗型或弯曲穗型品种大。Liu等^[11]研究发现,同一穗内不同粒位籽粒在粒重、4种可溶性蛋白质和总蛋白质含量上有较大差异。本研究也表明,粳稻穗型特征虽然与品种间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值高低无直接联系,但是对其穗不同部位间籽粒的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值有较大影响,直立穗型品种单一稻穗内不同部位间的差异要大于弯曲穗型品种。已有研究报道,由于直立穗型品种(或紧穗型品种)的着粒密度较大,导致穗内优、劣势粒间淀粉合成关键酶(腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶、可溶性淀粉分支酶、淀粉分支酶和颗粒结合型淀粉合成酶)活性和5种激素(吲哚乙酸、赤霉素、玉米素核苷、脱落酸和乙烯)含量差异较大,致使优、劣势粒间的库强度产生较大差异,最终造成劣势粒在胚乳细胞增殖速率和细胞数目、灌浆速率、籽粒充实度、粒重和品质等方面均明显不及优势粒^[16,18-19]。本试验中所用的直立穗型品种着粒密度显著大于弯曲穗型品种,这可能是导致其与弯曲穗型品种在不同部位间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值产生差异的主要原因之一。Wang等^[16]认为通过调节源库关

系减小直立穗型(或紧穗型)品种穗内不同部位间品质的差异可能是提高其品质的一种有效途径。

关于不同粒位籽粒的营养与蒸煮品质,现有的认识也不完全一致。通常一次枝梗或上部枝梗上的籽粒比二次枝梗或下部枝梗上的籽粒有较高的粒重和较好的蒸煮品质^[20-23]。张小明等^[8]、朱海江等^[5]和刘立军等^[7]研究表明,水稻穗顶部籽粒、一次枝梗籽粒和先开花籽粒的直链淀粉含量相对较高、穗基部籽粒、二次枝梗籽粒和后开花的第2粒的直链淀粉含量相对较低。而董明辉等^[6]认为穗下部一、二次枝梗籽粒的直链淀粉含量较高,上部一、二次枝梗的直链淀粉含量较低;在同一个枝梗上,穗子中、上部一次枝梗迟开花的第2粒的直链淀粉含量较高。本研究表明,两种穗型品种直链淀粉含量是一次枝梗上籽粒高于二次枝梗上籽粒,但在部位和粒位间规律不太明显;而蛋白质含量和食味值变化与其穗内相应的粒位有密切关系,两种穗型蛋白质含量都是下部二次枝梗2、3粒位相对较高,上中部一次枝梗1~6粒位相对较低;食味值则正相反。上述结果说明稻米粒位间的营养与蒸煮品质与开花顺序有一定关系。

一些学者发现,早开花的强势粒,一般灌浆启动早,灌浆速率和胚乳细胞增殖速率较大,胚乳细胞多,籽粒充实好,粒重较高^[24-26]。稻穗内籽粒间的发育和品质形成的差异主要是由于穗内籽粒光合产物分配不同造成的,而光合产物的分配是与籽粒的库容量大小相关的^[27-28]。植物激素不仅调节籽粒库的大小,也调节胚乳细胞分裂和增大,控制同化物向籽粒的输入^[29-30]。Yang等研究表明,在籽粒灌浆早期,早开花的优势粒中吲哚乙酸、赤霉素、玉米素核苷、脱落酸含量和脱落酸与1-氨基环丙烷-1-羧酸的浓度比例比晚开花的劣势粒高,而乙烯和1-氨基环丙烷-1-羧酸含量水平较低,胚乳细胞分裂速度和灌浆速率与吲哚乙酸、赤霉素、玉米素核苷、脱落酸含量和脱落酸与乙烯浓度比呈显著正相关^[19,31-32]。早开花的强势粒和晚开花的弱势粒中与淀粉合成相关酶(腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶、可溶性淀粉分支酶、淀粉分支酶和颗粒结合型淀粉合成酶)的活性也不同^[17,28,33]。杨建昌等^[33]和Wang等^[16]发现,早开花的强势粒,灌浆期籽粒中腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶、可溶性淀粉分支酶、淀粉分支酶和颗粒结合型淀粉合成酶的活性均显著高于迟开花的弱势粒。赵步洪等^[34]报道,上述几个酶的活性与稻米的蒸煮

食味品质有密切关系。Umemoto 等^[35]也认为劣势粒的充实和品质较差主要是由于低酶活性造成的。Tsutomu 等^[36]研究发现, 花后前 5 d 内, 劣势粒比优势粒中的已糖/蔗糖浓度比率较低, 酸性转化酶活性较高, 编码碳水化合物代谢酶的基因没有充分表达。上述研究结果说明, 同一稻穗内不同籽粒间营养和蒸煮品质的差异可能与其不同粒位的同化物供应、胚乳细胞增殖速率、激素含量、淀粉合成相关酶活性以及编码碳水化合物代谢酶基因的表达有关。

营养与蒸煮品质在穗上分布的差异主要是由于强弱势粒间的品质差异造成的, 所以增加穗上强势粒的比例, 可以减小这种差异。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^[37-39]。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、促进编码碳水化合物代谢酶基因的表达, 使水稻活秆成熟, 有可能减少直立穗型品种营养和蒸煮品质在同一稻穗内不同籽粒间的差异, 并有望改善直立穗型品种籽粒的充实度和稻米品质。

通常直链淀粉和蛋白质含量较低有利于改善食味^[40-41]。本试验结果也显示(表 9), 粒位间食味值与蛋白质含量呈极显著负相关(-0.824^{**}), 与直链淀粉含量相关不显著(0.075), 这可能是食味值与蛋白质含量在粒位间相对应的主要原因。本研究中弯曲穗

型品种虽然蛋白质含量都高于直立穗型品种, 但是食味值也高于直立穗型品种, 这说明食味品质不只由蛋白质含量决定, 而是蛋白质含量、直链淀粉含量和其他食味指标共同作用的结果。随着施氮量的增加, 水稻籽粒中的蛋白质含量有不同程度增加^[6]。因此, 在辽宁省当前普遍水稻施氮肥较高水平的情况下, 在水稻生长后期通过确定合理的氮肥用量, 以降低蛋白质含量对食味品质负面影响, 应该是改善食味品质的有效途径。

4 结论

辽宁省粳稻的穗型特征与品种间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值高低并无直接必然的联系, 但对其穗内不同部位间这些指标及其粒位顺序影响较大, 直立穗型品种单一稻穗内不同粒位间的差异大于弯曲穗型品种, 直立穗型品种着粒密度过大可能是其主要原因之一。同一稻穗内不同籽粒间的蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值高低与其颖花在穗上的开花顺序有密切联系, 两种穗型(直立和弯曲)品种都是下部二次枝梗第 2、3 粒位品质相对较差, 上中部一次枝梗 1~6 粒位品质相对较好。

References

[1] Chen W-F(陈温福), Pan W-B(潘文博), Xu Z-J(徐正进). Current situation and trends in production of japonica rice in China. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 2006, 37(6): 801-805 (in Chinese with English abstract)

[2] Kong X-D(孔祥斗), Zhang H-X(张洪熙), Liu X-J(刘晓静). Development of economical characters of japonica variety and prospects of high yield breeding. *J Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 1997, (3): 2-16 (in Chinese)

[3] Jin J-S(金建松), Xia Y-L(夏有龙). Develop principles of japonica rice in Jiangsu province and its techniques. *J Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 1998, (1): 6-10 (in Chinese)

[4] Lü W-Y(吕文彦), Cao P(曹萍), Shao G-J(邵国军). Study on quality characters of main rice varieties in Liaoning province. *J Liaoning Agric Sci* (辽宁农业科学), 1997, (5): 7-11 (in Chinese)

[5] Zhu H-J(朱海江), Cheng F-M(程方民), Wang F(王丰), Zhong L-J(钟连进), Zhao N-C(赵宁春), Liu Z-H(刘正辉). Difference in amylose content variation of rice grains and its position distribution within a panicle between two panicle types of japonica cultivars. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2004, 18(4): 321-325 (in Chinese with English abstract)

[6] Dong M-H(董明辉), Sang D-Z(桑大志), Wang P(王朋), Wang X-M(王学明), Yang J-C(杨建昌). Changes in cooking and nutritional qualities of grains at different positions within a rice panicle under different nitrogen levels. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2006, 20(4): 389-395 (in Chinese with English abstract)

[7] Liu L-J(刘立军), Xie G-H(谢光辉). Effect of flowering sequence of spikelets on endosperm cells and grain quality of rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2001, 15 (2): 119-124 (in Chinese with English abstract)

[8] Zhang X-M(张小明), Shi C-H(石春海), Horiuchi H, Tomita K, Bao G-L(鲍根良), Feng S-Y(冯水英), Ye S-H(叶胜海). The differences of grain amylose contents in different panicle parts of

表 9 同一稻穗内不同粒位间蛋白质含量、直链淀粉含量和食味值的相关性

Table 9 Correlations of protein content, amylose content, and taste quality at the different positions within a panicle in rice			
品质性状 Quality character	蛋白质含量 Protein content	直链淀粉含量 Amylose content	食味值 Taste quality
蛋白质含量 Protein content	1		
直链淀粉含量 Amylose content	0.218**	1	
食味值 Taste quality	- 0.824**	0.075	1

- japonica* rice variety. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2002, 28 (1): 99–103 (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhang P-L(张佩莲), Zhong X-H(钟旭华), Zeng X-J(曾宪江), Xu Y-Q(徐益群). A study on the difference in the chalk degree of the grains in a panicle. *Acta Agric Univ Jiangxiensis* (江西农业大学学报), 1995, 17(4): 396–399 (in Chinese with English abstract)
 - [10] Zhong X-H(钟旭华), Zhang P-L(张佩莲), Zeng X-J(曾宪江), Xu Y-Q(徐益群). The difference in chalkiness between superior and inferior grains and the relation between chalkiness and grain weight. *Acta Agric Univ Jiangxiensis* (江西农业大学学报), 1996, 18(2): 154–159 (in Chinese with English abstract)
 - [11] Liu Z H, Cheng F M, Cheng W D, Zhang G P. Positional variations in phytic acid and protein content within a panicle of *japonica* rice. *J Cereal Sci*, 2005, 41: 297–303
 - [12] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Ma D-R(马殿荣), Wu X-D(吴晓冬), Zheng Y-Y(郑煜焱), Wang J-Y(王嘉宇). Relationship between eating quality and other quality characters of rice in Liaoning. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(8): 1092–1094 (in Chinese with English abstract)
 - [13] Xu D-Y(徐大勇), Du Y(杜永), Fang Z-W(方兆伟), Pan Q-M(潘启民), Yang J-C(杨建昌), Zhu Q-S(朱庆森). Comparison on main agronomical and quality characters between *japonica* cultivars with different panicle types in Jiang-Huai area. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(3): 379–384 (in Chinese with English abstract)
 - [14] Zuo X-X(左晓旭), Bao G-L(鲍根良), Wang J-M(王俊敏), Luo R-T(骆荣挺), Tomita K. Comparison of grain quality between compact and loose panicle type of *japonica* rice. *J Plant Genet Resour* (植物遗传资源学报), 2005, 6(2): 216–220 (in Chinese with English abstract)
 - [15] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Zhang L-B(张龙步), Yang S-R(杨守仁). Advance in estimation and utilization of rice erect panicle. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 1995, 26(4): 335–341 (in Chinese with English abstract)
 - [16] Wang F, Chen S, Cheng F, Liu Y, Zhang G. The differences in grain weight and quality within a rice (*Oryza sativa* L.) panicle as affected by panicle type and source-sink relation. *J Agron Crop Sci*, 2007, 193: 63–73
 - [17] Kato T. Effect of spikelet removal on the grain filling of Akenohoshi, a rice cultivar with numerous spikelets in a panicle. *J Agric Sci*, 2004, 142: 177–181
 - [18] Wang F, Cheng F M, Zhang G P. The relationship between grain filling and hormone content as affected by genotype and source-sink relation. *Plant Growth Regul*, 2006, 49: 1–8
 - [19] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, Liu K, Wang P. Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene. *J Exp Bot*, 2006, 57: 149–160
 - [20] Chaudhry F M, Nagato K. Role of vascular bundles in ripening of rice kernel in relation to the locations on panicle. *Proc Crop Sci Jpn*, 1970, 39: 301–309
 - [21] Iwasaki Y, Mae T, Makino A, Ohira K, Ojima K. Nitrogen accumulation in the inferior spikelet of rice ear during ripening. *Soil Sci Plant Nutr*, 1992, 38: 517–525
 - [22] Jongkaewwattana S, Geng S, Hill J E, Miller B C. Within-panicle variability of grain filling in rice cultivars with different maturities. *J Agron Crop Sci*, 1993, 171: 236–242
 - [23] Cheng W D, Zhang G P, Zhao G P, Yao H G, Xu H M. Variation in rice quality of different cultivars and grain positions as affected by water management. *Field Crops Res*, 2003, 80: 245–252
 - [24] Zhu Q-S(朱庆森), Cao X-Z(曹显祖), Luo Y-Q(骆亦奇). Growth analysis in the process of grain filling in rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1988, 14(3): 182–192 (in Chinese with English abstract)
 - [25] Zhang Z-J(张祖建), Wang Z-Q(王志琴), Zhu Q-S(朱庆森). Proliferation of endosperm cell and its relation to the growth of grain in rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1998, 24 (3): 257–264 (in Chinese with English abstract)
 - [26] Yang J-C(杨建昌), Liu L-J(刘立军), Wang Z-Q(王志琴), Lang Y-Z(郎有忠), Zhu Q-S(朱庆森). Effects of flowering time of spikelets on endosperm development in rice and its physiological mechanism. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1999, 32 (3): 44–51 (in Chinese with English abstract)
 - [27] Patrick J W. Phloem unloading: sieve element unloading and post-sieve element transport. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1997, 48: 191–222
 - [28] Yang J C, Peng S B, Zhang Z J, Wang Z Q, Visperas R M, Zhu Q S. Grain and dry matter yields and partitioning of assimilates in *japonica/indica* hybrid rice. *Crop Sci*, 2002, 42: 766–772
 - [29] Kende H, Zeevaert J A D. The five “classical” plant hormones. *Plant Cell*, 1997, 9: 1197–1210
 - [30] Hansen H, Grossmann K. Auxin-induced ethylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. *Plant Physiol*, 2000, 124: 1437–1448
 - [31] Yang J C, Peng S B, Visperas R M, Sanico A L, Zhu Q S, Gu S L. Grain filling pattern and cytokinin content in the grains and roots of rice plants. *Plant Growth Regul*, 2000, 30: 261–270
 - [32] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, Zhu Q S. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. *Plant Growth Regul*, 2003, 41: 185–195
 - [33] Yang J-C(杨建昌), Peng S-B(彭少兵), Gu S-L(顾世梁), Visperas R M, Zhu Q-S(朱庆森). Changes in activities of three enzymes associated with starch synthesis in rice grains during grain filling. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2001, 27(2): 157–164 (in Chinese with English abstract)
 - [34] Zhao B-H(赵步洪), Zhang W-J(张文杰), Chang E-H(常二华), Wang Z-Q(王志琴), Yang J-C(杨建昌). Changes in activities of the key enzymes related to starch synthesis in rice grains during grain filling and their relationships with the filling rate and cooking quality. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(8): 1123–1129 (in Chinese with English abstract)
 - [35] Umemoto T, Nakamura Y, Ishikura N. Effect of grain location on the panicle on activities involved in starch synthesis in rice endosperm. *Phytochemistry*, 1994, 36: 843–847
 - [36] Tsutomu I, Tatsuro H, Toshiaki M, Akitoshi G, Kazunari T, Haruto S, Tomio T, Ryu-ichi I, Ryu O, Tohru Y. Expression patterns of genes encoding carbohydrate-metabolizing enzymes and their relationship to grain filling in rice (*Oryza sativa* L.): Comparison of caryopses located at different positions in a panicle. *Plant Cell Physiol*, 2005, 46: 620–628
 - [37] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Sun Z-H(孙占惠), Zhang S-L(张树林), Liu L-X(刘丽霞), Zhou S-Q(周淑清). Distribution of rice grains on panicle axis and its relationships with seed-setting ability in Liaoning. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(7): 963–967 (in Chinese with English abstract)
 - [38] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Zhang S-L(张树林), Zhang W-Z(张文忠), Ma D-R(马殿荣), Liu L-X(刘丽霞), Zhou S-Q(周淑清). Differences of panicle trait index among varieties and its relationship with yield and quality of rice in Liaoning. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2005, 38(9): 1926–1930 (in Chinese with English abstract)
 - [39] Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福), Han Y(韩勇), Shao G-J(邵国军), Zhang W-Z(张文忠), Ma D-R(马殿荣). Classification of panicle type and its relationship with grain yield and quality of rice in Liaoning province. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(9): 1411–1418 (in Chinese with English abstract)
 - [40] Hushibuchi K Y. Rice Breeding of Japan. Tokyo: Society of Agricultural Technology, 1992. pp 182–184 (in Japanese)
 - [41] Chen N(陈能), Luo Y-K(罗玉坤), Zhu Z-W(朱智伟). Correlation between eating quality and physical-chemical properties of high quality rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 1997, 11 (2): 70–76 (in Chinese with English abstract)