

粳稻直立穗型基因对稻米品质的影响

陈书强

(1. 黑龙江省农业科学院博士后科研工作站,东北林业大学博士后科研流动站,黑龙江 哈尔滨 150086;

2. 黑龙江省农业科学院 佳木斯水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154026)

摘要: 选用直立穗型近等基因系作为材料,研究了粳稻直立穗型基因对米质性状的影响。结果表明,直立穗型基因对碾米品质和外观品质有负面影响,它使整精米率明显下降,垩白粒率和垩白度明显增加,外观品质变劣;但直立穗型基因对蒸煮食味品质有正面影响,虽然一定程度上降低了直链淀粉含量和胶稠度,但却显著增加了食味值;对营养品质的影响主要表现在显著降低了总蛋白和谷蛋白含量,增加了清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白含量;对淀粉 RVA 谱特征值的影响不大,只是使冷胶黏度和消减值有所增加,峰值黏度、热浆黏度和崩解值变化不大。整精米率、直链淀粉含量、谷蛋白含量、总蛋白含量和淀粉冷胶黏度等米质指标在直立穗型内不同粒位间变异较大,而垩白粒率、垩白度、食味值、胶稠度和淀粉消减值等米质指标在弯曲穗型内不同粒位间变异较大。直立穗型品种着粒密度大和二次粒率高可能是近等系间某些米质指标相差较大的主要原因。

关键词: 粳稻;直立穗型基因;近等基因系;稻米品质

中图分类号:S511.01 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2015)01-0194-08

doi:10.7668/hbnxb.2015.01.033

Effects of Erect Panicle Type Gene of *Japonica* Rice on Rice Quality

CHEN Shu-qiang

(1. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Postdoctoral Programme, Northeast Forestry University

Postdoctoral Programme, Harbin 150086, China; 2. Jiamusi Rice Research Institute, Heilongjiang

Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154026, China)

Abstract: The near isogenic lines (NILs) with erect panicle type gene were used to study effects of the *japonica* erect panicle type gene on rice quality traits. Results showed that erect panicle type gene had negative effect on milling quality and appearance quality, it made the head rice percentage decrease obviously, chalky grain percentage, chalkiness degree increase significantly, appearance quality worse. But erect panicle type gene had a positive effect on cooking and eating quality. It made amylose content and gel consistence decrease to a certain extent, taste quality increase significantly. Effects of erect panicle type gene on the nutritional quality were mainly manifested in reducing significantly the content of total protein and glutelin, increasing the content of albumin, globulin and prolamin. Effects of erect panicle type gene on RVA profile characteristics values were not big, it only made cool paste viscosity and setback increase. Variations of quality indexes such as head rice percentage, amylose content, glutelin content, total protein content and cool paste viscosity was larger among different grain position within erect panicle cultivars. Variations of quality indexes such as chalky grain percentage, chalkiness degree, taste quality and gel consistence was larger among different grains within curved panicle cultivars. The main reason of the large difference in some rice qualitative indexes among NILs may be higher grain density and higher ratio of secondary branch grains and total grains.

Key words: *Japonica* rice; Erect panicle type gene; Near-isogenic lines; Rice quality

近年来,直立和半直立穗型品种的推广应用对提高水稻单产起到了重要作用^[1],直立穗型具有改善水稻灌浆结实期群体结构、受光态势和其他微气

象环境,降低群体冠层反射辐射损失,增强抗倒伏性,提高群体生长率等生理生态特性,直立穗型是继矮秆和理想株型后粳稻适应高产要求的重要形态改

收稿日期:2014-12-27

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD16B11-02YJ01;2012BAD04B01-02);黑龙江省科技攻关重大项目(GA13B101);黑龙江省政府博士后经费项目(LBH-Z10038)

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。

良^[2-5]。许多研究发现,直立穗型基因可能对茎秆、叶片和穗部等性状具有多效性^[6-9]。众多学者对直立穗型基因进行了定位,并对基因功能进行了研究,发现直立穗基因(*EP*)能使稻穗变短、向上直立、着粒密度增加,使水稻产量提高,认为它的发现和利用将对东北粳稻高产育种具有重要的意义^[10-12]。

前人研究都发现,直立穗型与产量等性状有密切关系,对品质性状影响研究相对较少。有研究认为,直立穗型品种的米质普遍稍差于弯曲穗型品种,但这种结论也只限于2种类型品种间比较^[13]。究竟直立穗型基因对粳米品质的影响有多大,具体影响哪些米质指标的研究很少。本研究采用构建的直立穗型近等基因系作为试验材料,研究了直立穗型基因对粳稻米质性状的影响,期望进一步探明直立穗型基因的作用,为东北直立穗型粳稻优质高产育种提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 供试材料 以直立穗型品种辽粳5号(LG5)和弯曲穗型品种丰锦(*Toyo nishiki*)杂交构建的一对直立穗型近等基因系EP-TN(直立穗型)和TN(弯曲穗型)。

1.1.2 仪器设备 RVA-4快速黏度仪,澳大利亚Newport Scientific仪器公司;FC-2K实验室砬谷机,日本株式会社大竹制作所;VP-32实验室精米机,日本株式会社山本制作所;311A型稻米透明度测评仪,杭州瓶窑科研仪器厂;PS-500近红外透过式食味分析仪,日本静冈机械制造有限公司。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,3次重复,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,井水灌溉。试验施底肥尿素150 kg/hm²、磷酸二铵150 kg/hm²、硫酸钾112.5 kg/hm²。5月24日施返青肥尿素60 kg/hm²,6月1日施分蘖肥尿素75 kg/hm²,7月26日施穗肥尿素60 kg/hm²。

采用营养土保温早育苗,4月10日播种,播种量为0.2 kg/m²。5月20日插秧,株行距为13.3 cm × 30 cm,每穴插植1苗。其他栽培管理同一般生产田。

1.3 取样

抽穗期在各小区选取同一天抽穗的稻穗800个左右,挂牌标记。成熟期将标记的稻穗收取,按照穗上枝梗分布划分采样。穗部枝梗的部位划分标准参照Liu等^[14]的方法(表1)。稻穗上同一枝梗部位的籽粒合并作为一个样本,除去空瘪后测定稻米品质。

表1 供试近等基因系的穗部枝梗的部位划分

Tab. 1 Parts division of rachis within a panicle for NILs

| 穗型 Panicle type | 品种 Cultivar | 一次枝梗数 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 | EP-TN | 13 | 4 | 5 | 4 |
| 弯曲 Curved panicle | TN | 12 | 4 | 4 | 4 |

1.4 品质测定

1.4.1 碾米品质的测定 碾米品质性状测定前各样本统一用风选机等风量风选,然后按照中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》执行^[15]。

1.4.2 外观品质的测定 参照中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》测定稻米的长宽比、长厚比、垩白粒率、垩白度大小。垩白度为垩白粒率与垩白大小的乘积。

1.4.3 种子储藏蛋白的测定 参照中国科学院上海植物生理研究所主编的现代植物生理学实验指南^[16]和Luthe^[17]的方法测定种子储藏蛋白。

样品处理:将整精米粒切去胚,收集只有胚乳的整精米粒7.0 g左右,用FW-80型高速万能粉碎机粉碎1.5 min,过0.25 mm的筛,称过筛样品约0.500 g于离心管中。

种子储藏蛋白组分的依次分离:①清蛋白:用10 mmol/L Tris-HCl, pH 7.5 缓冲液在室温条件

下提取2 h,然后离心,取上清液。②球蛋白:用1 mol/L NaCl,10 mmol/L Tris-HCl, pH 7.5 缓冲液在室温条件下提取2 h,然后离心,取上清液。③醇溶蛋白:用含70% (V/V) 酒精的10 mmol/L Tris-HCl, pH 7.5 缓冲液提取2 h,然后离心,取上清液。④谷蛋白:用含0.5% (m/V) SDS和1% (V/V) 巯基乙醇的10 mmol/L Tris-HCl, pH 7.5 缓冲液提取2 h,然后离心,取上清液。

测定:清蛋白含量、球蛋白含量和醇溶蛋白含量的测定采用Bradford法^[18],以牛血清蛋白为对照;谷蛋白含量的测定采用双缩脲法^[17],并用凯氏法加以标定^[19]。

1.4.4 蒸煮食味品质的测定 不同粒位精米的直链淀粉含量、蛋白质和食味值及不同粒位糙米的脂肪酸含量采用近红外透过式PS-500食味分析仪测定。仪器的测定范围为:食味值40~100分(精米)、蛋白质4.0%~11.0% (干基)、直链淀粉15.0%~

30.0% (总淀粉比)。

按中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》测定胶稠度。

1.4.5 稻米淀粉黏滞性的测定 淀粉谱黏滞特性采用 RVA-4 型快速黏度仪进行测定。按 AACCC 美国谷物化学协会操作规程(1995-61-02)的标准方法。

RVA 谱特征值主要用最高黏度、热浆黏度、冷胶黏度、崩解值(最高黏度 - 热浆黏度)和消减值(冷胶黏度 - 最高黏度)等参数表示。

1.5 产量因素及穗部性状考查

各小区的水稻材料在成熟期按照平均有效穗数取 5 穴,考种时调查 5 穴所有穗的 1 次枝梗的数目,取其中的 10 穗考察穗部性状。主要包括每穴穗数、稻穗长、1,2 次枝梗数及其饱满粒数、瘪粒数、空粒数和粒重。并计算整穗上的颖花数、受精颖花数、受精颖花率、千粒质量、着粒密度、二次粒率、经济系数和每平方米穗数、每平方米颖花数、库容量和产量。

表 2 近等基因系间产量性状的比较

Tab.2 Comparison of yield characters between near isogenic lines

| 近等系 NILs | 穗数/m ² Panicles | 颖花数/穗 TS | 颖花数/m ² TS | 库容量/(g/m ²) Sink size | 受精颖花 率/% FS | 千粒质量/g TGW | 产量/(kg/hm ²) Yield | 经济系 数 HI |
|-------------|-------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------|-----------------------------------|-------------|
| 直穗品系 EP-TN | 291.4a | 137.15a | 39 949a | 971.38a | 91.85a | 22.92b | 8 359.4a | 0.52a |
| 弯穗品种 TN | 283.0a | 113.24b | 32 046b | 840.00b | 93.90a | 25.32a | 7 620.9b | 0.46b |

注:数据后不同的小写字母表示近等基因系间在 5% 水平上的差异显著性,表 3 同;NILs. 近等系;TS. 颖花数;FS. 受精颖花率;TGW. 千粒质量;HI. 经济系数;Sink size. 库容量为饱满粒单粒重 × 颖花数/m²。

Note: Data followed by a different lowercase letter indicated significant difference at the 0.05 probability level between near isogenic lines (NILs). The same as Tab. 3; NILs. Near isogenic lines; TS. Total spikelets; FS. Fertilized spikelets; TGW. 1000-grain weight; HI. Harvest index; Sink size. Single grain weight × spikelets/m².

表 3 近等基因系间穗部性状的比较

Tab.3 Comparison of panicle characters between near isogenic lines

| 近等系 NILs | 穗长 /cm PL | 一次枝梗 数/穗 PBN | 二次枝梗 数/穗 SBN | 一次枝梗粒 数/穗 PBSN | 二次枝梗粒 数/穗 SBSN | 受精颖花 数/穗 FSN | 着粒密度 (粒/cm)GD | 二次粒率/% SRBGR |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 直穗品系 EP-TN | 16.27b | 11.50a | 23.85a | 66.35a | 70.80a | 126.01a | 8.44a | 0.51a |
| 弯穗品种 TN | 21.03a | 11.25a | 17.24b | 64.08a | 49.16b | 106.28b | 5.40b | 0.43b |

注:二次粒率是二次枝梗上的总粒数占整穗总粒数的百分比。PL. 穗长;PBN. 一次枝梗数;SBN. 二次枝梗数;PBSN. 一次枝梗粒数;SBSN. 二次枝梗粒数;FSN. 受精颖花数;GD. 着粒密度;SRBGR. 二次粒率。

Note: Secondary rachis branches grains rate. Secondary rachis branches grains/total grains per panicle. PL. Panicle length; PBN. Primary branch number; SBN. Secondary branch number; PBSN. Primary branch spikelets number; SBSN. Secondary branch spikelets number; FSN. Fertilized spikelet number; GD. Grain density; SRBGR. Secondary rachis branch grains.

2.2 对粒重和碾米品质的影响

由表 4 看出,直立穗型基因对碾米品质有一定影响,主要表现在对整精米率的影响较大。直穗型品系 EP-TN 的糙米率、精米率和弯穗型品种 TN 相差不多,差异不显著,但两者间的整精米率差异却达到了显著水平,直穗型品系 EP-TN 的整精米率为 56.20%,显著低于弯穗型品种 TN 的 66.89%。直立穗型品系 EP-TN 的 1,2 次枝梗的整精米率在上中下部粒位上都较低,其中在上部 1 次枝梗粒位上两者间相差最多。直立穗型品系 EP-TN 的精米率和整精米

1.6 数据分析

数据分析采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 近等基因系间产量性状和穗部性状的比较

通过 2 个近等基因系间的产量性状的比较分析,发现直立穗型品系 EP-TN 的产量显著高于弯曲穗型品种 TN,原因是它的每穗颖花数、每平方米颖花数和库容量及经济系数较大,而每平方米穗数和受精颖花率相差不多,相反它的千粒质量却显著低于弯曲穗型品种 TN(表 2)。对两者的穗部性状特征进行仔细比较发现,直立穗型品系 EP-TN 的穗长较短,两者的每穗一次枝梗数及其粒数相差不多,但直立穗型品系 EP-TN 的每穗二次枝梗数及其粒数、每穗受精颖花数、着粒密度和二次粒率显著高于弯曲穗型品种 TN(表 3)。

率穗内粒位间变异大于弯曲穗型品种 TN。

2.3 对外观品质的影响

2 个近等基因系间的长宽比差别不大,但是长厚比有显著差别,直立穗型品系 EP-TN 的长厚比低于弯曲穗型品种 TN,主要表现在直立穗型品系 EP-TN 的中部 1 次枝梗和上中部 2 次枝梗粒位上的长厚比较低(表 5)。2 个近等基因系间的垩白粒率和垩白度差别较大,直立穗型品系 EP-TN 的垩白粒率和垩白度明显高于弯曲穗型品种 TN,差异达到了显著水平,尤其是垩白粒率相差悬殊。直立穗型品系

EP-TN 的中下部 1 次枝梗和上部 2 次枝梗粒位上的
垩白粒率高于弯曲穗型品种 TN, 而垩白度只体现在
上部 2 次枝梗粒位的明显高于弯曲穗型品种 TN。

弯曲穗型品种 TN 的垩白粒率和垩白度穗内粒位间
变异系数大于直立穗型品系 EP-TN, 而长宽比穗内
粒位间变异系数小于直立穗型品系 EP-TN。

表 4 两个近等基因系间碾米品质和粒重的差别

Tab. 4 Difference of milling quality and grain weight between near isogenic lines

| 近等基因系 NILs | 穗上部位 Part of the panicle | 千粒质量/g 1000-grain weight | 糙米率/% Blown rice percentage | 精米率/% Milled rice percentage | 整精米率/% Head rice percentage | |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 直穗品系 EP-TN | 一次枝梗 | 上部 | 24.96a | 81.91b | 75.96a | 49.73c |
| | | 中部 | 24.25b | 82.38a | 75.76a | 58.03b |
| | | 下部 | 24.06c | 82.17ab | 74.82b | 66.85a |
| | | 平均 1 | 24.42 | 82.15 | 75.51 | 58.20 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 24.19a | 82.09a | 74.52a | 53.82ab |
| | | 中部 | 20.66b | 82.05a | 74.45a | 57.17a |
| | | 下部 | 19.46c | 81.20b | 73.14b | 51.63b |
| | | 平均 2 | 21.44 | 81.78 | 74.04 | 54.20 |
| | | 平均 | 22.93 _b | 81.97 _a | 74.77 _a | 56.20 _b |
| | | 变异系数/% | 9.93 | 0.50 | 1.37 | 10.86 |
| 弯穗品种 TN | 一次枝梗 | 上部 | 26.04a | 82.20a | 73.42b | 67.61c |
| | | 中部 | 25.87ab | 82.10a | 73.95b | 69.90b |
| | | 下部 | 25.66b | 82.22a | 74.99a | 73.39a |
| | | 平均 1 | 25.86 | 82.17 | 74.12 | 70.30 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 24.28a | 82.92a | 74.40a | 67.21a |
| | | 中部 | 22.21b | 82.19a | 74.08a | 60.79b |
| | | 下部 | 20.59c | 81.40a | 73.75a | 62.45b |
| | | 平均 2 | 22.36 | 82.17 | 74.07 | 63.48 |
| | | 平均 | 24.11 _a | 82.17 _a | 74.10 _a | 66.89 _a |
| | | 变异系数/% | 9.32 | 0.59 | 0.74 | 6.98 |

注: 数据后不同的带下划线的斜体小写字母表示近等基因系间在 5% 水平上的差异显著性; 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, 表 5~8 同。

Note: Data followed by a different italic lowercase letter with underline indicated significant difference at the 0.05 probability level between near isogenic lines (NILs); Data followed by a different lowercase letter indicated significant difference at the 0.05 probability level between different parts of same cultivars; The same as Tab. 5-8.

表 5 两个近等基因系间外观品质的差别

Tab. 5 Difference of appearance quality between near isogenic lines

| 近等基因系 NILs | 穗上部位 Part of the panicle | 长宽比 Length- width ratio | 长厚比 Length- thickness ratio | 垩白粒率/% Chalky grain percentage | 垩白度/% Chalkiness degree | |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 直穗品系 EP-TN | 一次枝梗 | 上部 | 1.65a | 2.30ab | 7.75c | 0.67c |
| | | 中部 | 1.66a | 2.27b | 14.58b | 2.03b |
| | | 下部 | 1.67a | 2.33a | 21.25a | 3.80a |
| | | 平均 1 | 1.66 | 2.30 | 14.53 | 2.17 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 1.64b | 2.25a | 37.83c | 16.52c |
| | | 中部 | 1.66b | 2.25a | 55.00b | 25.35b |
| | | 下部 | 1.92a | 2.32a | 67.33a | 31.72a |
| | | 平均 2 | 1.74 | 2.28 | 53.39 | 24.53 |
| | | 平均 | 1.70 _a | 2.29 _b | 33.96 _a | 13.35 _a |
| | | 变异系数/% | 6.37 | 1.53 | 69.63 | 98.91 |
| 弯穗品种 TN | 一次枝梗 | 上部 | 1.74a | 2.37a | 5.92c | 0.46c |
| | | 中部 | 1.71a | 2.37a | 8.92b | 0.78b |
| | | 下部 | 1.74a | 2.40a | 14.92a | 3.40a |
| | | 平均 1 | 1.73 | 2.38 | 9.92 | 1.55 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 1.70a | 2.35a | 17.67c | 2.73b |
| | | 中部 | 1.69a | 2.34a | 60.50b | 34.04a |
| | | 下部 | 1.77a | 2.25b | 64.00a | 31.68a |
| | | 平均 2 | 1.72 | 2.31 | 47.39 | 22.82 |
| | | 平均 | 1.72 _a | 2.35 _a | 28.65 _b | 12.18 _b |
| | | 变异系数/% | 1.75 | 2.20 | 92.05 | 131.95 |

2.4 对蒸煮食味品质的影响

从表6可知,2个近等基因系间的食味值有差异,直立穗型品系 EP-TN 的食味值显著高于弯曲穗型品种 TN,在上中下的1,2次枝梗粒位上直立穗型品系 EP-TN 的食味值都高于弯曲穗型品种 TN,尤其以上部1次枝梗和下部2次枝梗明显。两者之间的直链淀粉含量和胶稠度差异也达到了显著水平,

直立穗型品系 EP-TN 的直链淀粉含量和胶稠度显著低于弯曲穗型品种 TN,主要是直立穗型品系 EP-TN 在上中部的1,2次枝梗粒位上的直链淀粉含量和胶稠度都明显低于弯曲穗型品种 TN 造成的。弯曲穗型品种 TN 的食味值和胶稠度穗内粒位间变异系数大于直立穗型品系 EP-TN,而直链淀粉含量穗内粒位间变异系数小于直立穗型品系 EP-TN。

表6 两个近等基因系间蒸煮食味品质的差别

Tab.6 Difference of cooking edible quality between near isogenic lines

| 穗上部位 Part of the panicle | 直穗品系 EP-TN | | | 弯穗品种 TN | | |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | 直链淀粉/% Amylose content | 胶稠度/mm Gel consistence | 食味值/% Taste quality | 直链淀粉/% Amylose content | 胶稠度/mm Gel consistence | 食味值/% Taste quality |
| | 一次枝梗 Primary rachis | 上部 Top 17.25b | 46.5c | 69.33a | 18.56a | 55.9c |
| | 中部 Middle 17.44b | 55.7b | 66.78b | 18.48ab | 66.8b | 61.83a |
| | 下部 Bottom 17.93a | 65.8a | 61.72c | 18.40b | 69.8a | 58.39b |
| | 平均1 Mean 1 17.54 | 56.0 | 65.94 | 18.48 | 64.2 | 60.17 |
| 二次枝梗 Secondary rachis | 上部 Top 17.34a | 46.5b | 62.00a | 18.49a | 56.7a | 56.56a |
| | 中部 Middle 17.00b | 47.7b | 41.22b | 18.32ab | 44.2b | 37.00b |
| | 下部 Bottom 17.56a | 52.0a | 23.67c | 17.96b | 45.8b | 15.00c |
| | 平均2 Mean 2 17.30 | 48.7 | 42.16 | 18.26 | 48.9 | 36.19 |
| | 平均 Mean 17.42b | 52.3b | 54.10a | 18.37a | 56.5a | 48.18b |
| | 变异系数/% CV 1.80 | 14.35 | 33.15 | 1.18 | 18.54 | 38.64 |

2.5 对营养品质的影响

2个近等基因系间的总蛋白含量有差异,直立穗型品系 EP-TN 的总蛋白含量显著低于弯曲穗型品种 TN,在上中下的1,2次枝梗粒位上直立穗型品系 EP-TN 的总蛋白含量都低于弯曲穗型品种 TN,

尤其以上部1次枝梗和下部2次枝梗明显(表7)。两者之间的清蛋白含量、球蛋白含量、醇溶蛋白含量和谷蛋白含量差异也达到了显著水平,直立穗型品系 EP-TN 的谷蛋白含量显著低于弯曲穗型品种 TN,而清蛋白含量、球蛋白含量和醇溶蛋白含量显

表7 两个近等基因系间营养品质的差别

Tab.7 Difference of nutrition quality between near isogenic lines

| 近等基因系 NILs | 穗上部位 Part of the panicle | 清蛋白 | 球蛋白 | 醇溶蛋白 | 谷蛋白 | 总蛋白 | |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------|
| | | Albumin content | Globulin content | Prolamin content | Glutelin content | Protein content | |
| 直穗品系 EP-TN | 一次枝梗 | 上部 | 0.426a | 0.415c | 0.229c | 7.08a | 6.54c |
| | | 中部 | 0.406b | 0.448a | 0.263b | 6.70b | 7.14b |
| | | 下部 | 0.340c | 0.435b | 0.284a | 7.13a | 7.67a |
| | | 平均1 | 0.391 | 0.433 | 0.259 | 6.97 | 7.12 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 0.397b | 0.408b | 0.267b | 6.57b | 6.97c |
| | | 中部 | 0.421a | 0.397c | 0.240c | 7.68a | 8.11b |
| | | 下部 | 0.420a | 0.424a | 0.297a | 7.89a | 8.89a |
| | | 平均2 | 0.413 | 0.410 | 0.268 | 7.38 | 7.99 |
| | | 平均 | 0.402a | 0.421a | 0.264a | 7.18b | 7.55b |
| | | 变异系数 | 7.990 | 4.400 | 9.750 | 7.29 | 1.83 |
| 弯穗品种 TN | 一次枝梗 | 上部 | 0.368a | 0.410b | 0.197b | 6.83b | 8.16b |
| | | 中部 | 0.287b | 0.406c | 0.228a | 7.16ab | 8.16b |
| | | 下部 | 0.281b | 0.426a | 0.227a | 7.57a | 8.34a |
| | | 平均1 | 0.312 | 0.414 | 0.217 | 7.19 | 8.22 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 0.296b | 0.418a | 0.224b | 7.50b | 8.14c |
| | | 中部 | 0.359a | 0.377b | 0.246a | 7.63b | 9.02b |
| | | 下部 | 0.301b | 0.424a | 0.257a | 8.10a | 10.16a |
| | | 平均2 | 0.319 | 0.406 | 0.242 | 7.74 | 9.11 |
| | | 平均 | 0.315b | 0.410b | 0.230b | 7.47a | 8.66a |
| | | 变异系数 | 12.07 | 4.39 | 8.97 | 5.81 | 1.07 |

著高于弯曲穗型品种 TN。直立穗型品系 EP-TN 在中下部 1 次枝梗和上部 2 次枝梗粒位上的谷蛋白含量都低于弯曲穗型品种 TN, 尤其以上部 2 次枝梗粒位上的明显。两近等系间的其他 3 种可溶性蛋白质含量在不同粒位上的差异因蛋白种类而异, 清蛋白含量差异主要在中部 1 次枝梗和下部 2 次枝梗上, 球蛋白含量差异主要在中部 1 次枝梗上, 而醇溶蛋白含量差异主要在下部 1 次枝梗和上部 2 次枝梗上。直立穗型品系 EP-TN 的清蛋白含量穗内粒位间变异系数小于弯曲穗型品种 TN, 而醇溶蛋白含量、谷蛋白含量和总蛋白含量的穗内粒位间变异系数大于弯曲穗型品种 TN, 球蛋白含量两者间相差不多。

表 8 两个近等基因系间淀粉 RVA 谱特征的差别

Tab. 8 Difference of RVA profile characteristics between near isogenic lines

| 近等基因系 NILs | 穗上部位 Part of the panicle | | 峰值黏度 Peak viscosity | 热浆黏度 Hot paste viscosity | 崩解值 Breakdown | 冷胶黏度 Cool paste viscosity | 消减值 Setback |
|---------------|-----------------------------|--------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|
| 直穗品系 EP-TN | 一次枝梗 | 上部 | 2 782ab | 1 497a | 1 285b | 3 293a | 511a |
| | | 中部 | 2 809a | 1 430b | 1 379a | 3 098b | 288b |
| | | 下部 | 2 724b | 1 382c | 1 343ab | 2 847c | 123c |
| | | 平均 1 | 2 769 | 1 434 | 1 335 | 3 078 | 310 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 2 687a | 1 424a | 1 262a | 3 016a | 329b |
| | | 中部 | 2 414b | 1 334b | 1 080b | 2 831b | 418a |
| | | 下部 | 2 203c | 1 248c | 955c | 2 675c | 472a |
| | | 平均 2 | 2 434 | 1 335 | 1 099 | 2 841 | 406 |
| | | 平均 | 2 602 _a | 1 385 _a | 1 217 _a | 2 960 _a | 358 _a |
| | | 变异系数/% | 9.23 | 6.17 | 13.56 | 7.45 | 40.3 |
| 弯穗品种 TN | 一次枝梗 | 上部 | 2 825a | 1 427a | 1 399a | 2 834a | 9b |
| | | 中部 | 2 822a | 1 431a | 1 391a | 2 841a | 19b |
| | | 下部 | 2 688b | 1 424a | 1 264b | 2 820a | 133a |
| | | 平均 1 | 2 778 | 1 427 | 1 351 | 2 832 | 54 |
| | 二次枝梗 | 上部 | 2 696a | 1 391a | 1 304a | 2 783a | 87b |
| | | 中部 | 2 410b | 1 347b | 1 063b | 2 779a | 369a |
| | | 下部 | 2 216c | 1 289c | 927c | 2 657b | 441a |
| | | 平均 2 | 2 440 | 1 342 | 1 098 | 2 739 | 299 |
| | | 平均 | 2 609 _a | 1 385 _a | 1 225 _a | 2 786 _b | 176 _b |
| | | 变异系数/% | 9.38 | 4.10 | 15.52 | 2.44 | 104.5 |

3 讨论

关于直立穗型品种与弯曲穗型品种间品质性状比较的研究较多, 不同学者从不同角度对碾米品质、外观品质、蒸煮食味品质和营养品质等方面进行了分析研究。大家对 2 种穗型品种间的碾米品质研究结论比较一致, 普遍认为直立穗型品种碾磨品质明显低于弯曲穗型品种, 主要表现在整精米率较低^[20-21]; 吕文彦等^[13]发现, 辽宁省的弯曲穗型水稻品种在糙米率、整精米率、垩白粒率和垩白面积上明显优于直立穗型水稻品种。徐大勇等^[22]指出, 江苏

2.6 对淀粉 RVA 谱特征的影响

2 个近等基因系间的峰值黏度、热浆黏度和崩解值相差不大, 没有达到显著水平。而冷胶黏度和消减值差异达到显著水平, 直立穗型品系 EP-TN 的冷胶黏度和消减值显著高于弯曲穗型品种 TN。直立穗型品系 EP-TN 在上中部 1 次枝梗和上部 2 次枝梗粒位上的冷胶黏度和消减值都高于弯曲穗型品种 TN, 尤其以上部 1 次枝梗粒位上的明显。直立穗型品系 EP-TN 的热浆黏度和冷胶黏度穗内粒位间变异系数大于弯曲穗型品种 TN, 而峰值黏度、崩解值和消减值的穗内粒位间变异系数小于弯曲穗型品种 TN(表 8)。

省前期育成的直立穗型品种的加工品质比半直立穗型品种低、垩白率高和垩白度比半直立穗型品种大。左晓旭等^[23]研究认为, 密穗型品种的平均垩白特性不及散穗型品种, 密穗型品种穗基部籽粒的垩白对总垩白的影响程度要比散穗型品种大。本研究进一步佐证了上述学者的研究结论, 发现直立穗型基因对碾米品质和外观品质有负面影响, 它使整精米率明显下降, 垩白粒率和垩白度明显增加, 外观品质变劣。

关于 2 种穗型品种稻米营养与蒸煮食味品质的问题, 众多学者的研究结论目前不完全一致, 但是直

立穗型品种与弯曲穗型品种之间确有明显的差异。有学者认为辽宁省直立穗型水稻品种蒸煮食味品质相对较差^[13];江淮稻区直立穗型水稻品种与半直立和弯曲穗型品种相比,胶稠度相对较硬,蛋白质含量较高,直链淀粉含量在3种类型间差异不明显^[24]。而于洪兰等^[25]研究发现,密穗型品种的食味值高于散穗型品种,蛋白质含量低于散穗型品种。左晓旭等^[23]认为,浙江省密穗型品种的食味品质显著优于散穗型品种,表明密穗型品种经改良其米质有可能达到甚至超过散穗型品种。党妹等^[26]利用42个水稻品种为试材,全面分析了2种穗型间各项米质指标的差异,认为弯穗型品种垩白粒率较低,垩白度较小,胶稠度较长,直链淀粉含量较低,外观品质和蒸煮食味品质较优;而半直立穗型品种糙米率、精米率和整精米率较大,蛋白质含量较多,加工品质和营养品质较优。徐正进等^[27]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。本研究使用近等基因系为材料,发现直立穗型基因对蒸煮食味品质有正面影响,它显著增加了食味值,同时降低了总蛋白含量和直链淀粉含量,并使胶稠度长度变短。这与徐正进和左晓旭等的研究结论趋于一致,也为直立穗型基因对稻米品质产生影响提供了有力旁证。以上学者研究结果不相一致的原因除供试材料不同外,可能与试验环境不同有关。关于2种穗型品种间的稻米淀粉RVA谱特征与种子可溶性蛋白含量的研究较少,利用近等基因系为材料的研究就更少,本研究发现,直立穗型基因对营养品质的影响主要体现在显著降低了谷蛋白含量,增加了清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白含量;对淀粉RVA谱特征值的影响表现在冷胶黏度和消减值2个参数有所增加,峰值黏度、热浆黏度和崩解值等参数变化不大。

由于直立穗型(或紧穗型)水稻品种的着粒密度较大,不同粒位间籽粒的成熟度差异较大,尤其是穗下部弱势粒的灌浆过程受到强势粒的抑制,导致穗内强、弱势粒间淀粉合成关键酶活性和5种激素含量的差异较大,致使强、弱势粒间的库强度产生较大差异,最终造成弱势粒的灌浆速率、结实性、粒重和米质等方面均明显不及强势粒^[28-30]。本研究中所用的直立穗型近等基因系着粒密度和二次粒率显著大于弯曲穗型近等基因系,这可能是导致两者之间的碾米品质、垩白特征、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。有学者研究认为,通过调节源库关系来减小直立穗型(或紧穗型)品种穗内不同粒位间米质的差异,可能是其提

高品质的一种有效途径^[28];也可通过适当增加密穗型品种的穗长,降低穗部着粒密度,有利于改善籽粒的灌浆质量和垩白特性^[31-33]。也有学者指出选育1次枝梗籽粒比率高、2次枝梗籽粒分布偏穗轴上部的直穗型品种,将有助于提高其结实性,并改善其品质^[6,34]。这些研究结论都为在育种手段上更好地协调直立穗型水稻品种高产与优质的矛盾提供了较好的解决方法,也是今后东北粳稻高产优质育种值得借鉴和实践的有效途径。

参考文献:

- [1] 孔祥斗,张洪熙,刘晓静,等.江苏省粳稻品种经济性状演变及高产育种的设想[J].江苏农业科学,1997(3):2-3,16.
- [2] 徐正进,陈温福,张龙步,等.水稻不同穗型群体冠层光分布的比较研究[J].中国农业科学,1990,23(4):10-16.
- [3] 徐正进,陈温福,周洪飞,等.直立穗型水稻群体生理生态特性及其利用前景[J].科学通报,1996,41(12):1122-1126.
- [4] 徐正进,张树林,周淑清,等.水稻穗型与抗倒伏性关系的初步分析[J].植物生理学通讯,2004,40(5):561-563.
- [5] 陈温福,徐正进,张龙步.水稻超高产育种生理基础[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1995:120-158.
- [6] 徐正进,陈温福,张龙步,等.水稻直立穗性状的遗传与其它性状的关系[J].沈阳农业大学学报,1995,26(1):1-7.
- [7] 张文忠.水稻直立穗型遗传及生理生态特性的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2001.
- [8] Yan C J, Zhou J H, Yan S, et al. Identification and characterization of a major QTL responsible for erect panicle trait in japonica rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Theor Appl Genet, 2007, 115(8):1093-1100.
- [9] 陈书强,王嘉宇,薛菁芳,等.粳稻直立穗型基因效应的研究[J].华北农学报,2010,25(6):74-80.
- [10] Wang J Y, Tetsuya N, Chen S G, et al. Identification and characterization of the erect-panicle gene *EP* conferring high grain yield in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Theor Appl Genet, 2009, 119:85-91.
- [11] Huang X Z, Qian Q, Liu Z B, et al. Natural variation at the *DEP1* locus enhances grain yield in rice [J]. Nature Genetics, 2009, 41(4):494-497.
- [12] Zhou Y, Zhu J Y, Li Z Y, et al. Deletion in a quantitative trait gene *qPE9-1* associated with panicle erectness improves plant architecture during rice domestication [J]. Genetics, 2009, 183(1):315-324.
- [13] 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.

- [14] 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]. *Journal of Cereal Science*, 2005, 41 (3): 297 - 303.
- [15] 国家质量技术监督局中华人民共和国国家标准优质稻谷[S]. GB/T17891 - 1999.
- [16] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 261 - 262.
- [17] Luthe D S. Storage protein accumulation in developing rice (*Oryza sativa* L.) seeds [J]. *Plant Science Letters*, 1983, 32(1/2): 147 - 158.
- [18] Padhye V W, Salunkhe D K. Extraction and characterization of rice proteins [J]. *Cereal Chem*, 1979, 56: 389 - 393.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 289 - 290.
- [20] 金 峰, 陈书强, 徐正进, 等. 直立与弯曲穗型水稻穗上不同部位籽粒碾磨品质的比较 [J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(2): 167 - 174.
- [21] 王嘉宇, 徐正进, 张世春, 等. 水稻穗不同部位籽粒品质性状差异的比较 [J]. *华北农学报*, 2008, 23(1): 96 - 100.
- [22] 徐大勇, 方兆伟, 胡曙鋈, 等. 江苏省直立穗型粳稻品种主要农艺性状和品质性状分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(1): 47 - 51.
- [23] 左晓旭, 鲍根良, 王俊敏, 等. 密穗型和散穗型粳稻品种品质特性比较 [J]. *植物遗传资源学报*, 2005, 6(2): 216 - 220.
- [24] 徐大勇, 方兆伟, 王学红, 等. 不同穗型粳稻品种产量和品质性状的比较分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(3): 276 - 280.
- [25] 于洪兰, 王伯伦, 王 术, 等. 不同类型水稻品种的产量与食味品质的关系比较 [J]. *作物杂志*, 2009(1): 46 - 49.
- [26] 党 姝, 王伯伦, 张振宇, 等. 农艺性状及生理特性对不同株穗型水稻品种品质的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2010, 29(2): 125 - 130.
- [27] 徐正进, 陈温福, 张龙步, 等. 水稻直立穗性状评价与利用研究进展 [J]. *沈阳农业大学学报*, 1995, 26(4): 335 - 341.
- [28] Wang F, Chen S, Cheng F, *et al.* The differences in grain weight and quality within a rice (*Oryza sativa* L.) panicle as affected by panicle type and source-sink relation [J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2007, 193(1): 63 - 73.
- [29] Wang F, Cheng F M, Zhang G P. The relationship between grain filling and hormone content as affected by genotype and source-sink relation [J]. *Plant Growth Regul*, 2006, 49: 1 - 8.
- [30] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, *et al.* Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene [J]. *J Exp Bot*, 2006, 57: 149 - 160.
- [31] 姚海根, 姚 坚, 汤美玲, 等. 近 20 年来浙江省晚粳稻和晚糯稻品种推广应用概况及今后育种方向 [J]. *浙江农业科学*, 2000(4): 3 - 7.
- [32] 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.
- [33] 徐兴伟, 尹长斌, 吕文彦, 等. 不同穗型粳稻胚乳发育过程研究 [J]. *河南农业科学*, 2008(5): 33 - 37.
- [34] 张文忠, 徐正进, 张龙步, 等. 水稻直立穗型遗传特性及其综合评价利用 [J]. *辽宁农业科学*, 2002(5): 24 - 27.