

胡庆峰, 赵春芳, 张善磊, 等. 2种不同 Wx 等位基因型水稻粒质量和蒸煮食味品质的差异[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 961-967.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.001

2种不同 Wx 等位基因型水稻粒质量和蒸煮食味品质的差异

胡庆峰^{1,2}, 赵春芳², 张善磊^{1,2}, 周丽慧², 赵凌², 梁文化², 赵庆勇², 陈涛², 张亚东², 朱镇², 姚姝², 王才林^{1,2}

(1.南京农业大学农学院/江苏省现代作物生产协同创新中心, 江苏 南京 210095; 2.江苏省农业科学院粮食作物研究所/江苏省优质水稻工程技术研究中心/国家水稻改良中心南京分中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 以携带 Wx^{mq} 基因的宁0145为母本, 携带 Wx^b 基因的武运粳21为父本构建的 F_3 和 F_4 群体为材料, 利用分子标记对群体进行基因型分类, 测定籽粒千粒质量、直链淀粉含量、胶稠度及 RVA 谱特征值等性状, 分析不同 Wx 等位基因型各性状值的差异。结果表明: $Wx^{mq}Wx^{mq}$ 与 Wx^bWx^b 基因型间千粒质量和稻米蒸煮食味品质性状的差异均达到显著水平, 其中 Wx^bWx^b 基因型的稻米千粒质量、直链淀粉含量、胶稠度、热浆粘度和冷胶粘度均大于 $Wx^{mq}Wx^{mq}$ 基因型, 而崩解值小于 $Wx^{mq}Wx^{mq}$ 基因型; 相关性分析结果表明, 籽粒质量与直链淀粉含量呈极显著正相关。对不同基因型的淀粉粒精细结构和淀粉密度的测定结果表明, 淀粉密度差异可能是导致千粒质量不同的主要原因。携带 $Wx^{mq}Wx^{mq}$ 基因型的稻米因具有较低直链淀粉含量、胶稠度、热浆粘度、冷胶粘度、消减值、起浆温度和峰值时间, 较高崩解值, 而使米饭呈现柔软性和弹性等较好食味品质的特点。

关键词: 水稻; Wx 等位基因; 千粒质量; 直链淀粉含量; 蒸煮食味品质

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)05-0961-07

Differences of grain weight and eating and cooking quality between two different Wx alleles in rice

HU Qing-feng^{1,2}, ZHAO Chun-fang², ZHANG Shan-lei^{1,2}, ZHOU Li-hui², ZHAO Ling², LIANG Wen-hua², ZHAO Qing-yong², CHEN Tao², ZHANG Ya-dong², ZHU Zhen², YAO Shu², WANG Cai-lin^{1,2}

(1. College of Agriculture, Nanjing Agricultural University/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu High Quality Rice R&D Center/Nanjing Branch of China National Center for Rice Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: Rice Ning 0145 carrying Wx^{mq} allele and Wuyunjing 21 carrying Wx^b allele were used as parents to construct the F_3 and F_4 generations. Through detecting the genotype, measuring the thousand-grain weight (TGW), the value of amylose content (AC), gel consistency (GC) and RVA profile of the F_3 and F_4 generations, the effects of different Wx alleles on grain weight and eating and cooking quality (ECQ) were studied. The results show that there were significant differences in TGW and ECQ between different Wx alleles. The thousand-grain weight and

收稿日期: 2017-04-15

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)5107]; 江苏省科技支撑计划项目(BE2015355); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-47)

作者简介: 胡庆峰(1991-), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 主要从事水稻遗传育种研究。(Tel) 025-84390317; (E-mail) 446899328@qq.com

通讯作者: 王才林, (Tel) 025-84390307; (E-mail) clwang@jaas.ac.cn

construct the F_3 and F_4 generations. Through detecting the genotype, measuring the thousand-grain weight (TGW), the value of amylose content (AC), gel consistency (GC) and RVA profile of the F_3 and F_4 generations, the effects of different Wx alleles on grain weight and eating and cooking quality (ECQ) were studied. The results show that there were significant differences in TGW and ECQ between different Wx alleles. The thousand-grain weight and

the value of amylose content, gel consistency, hot paste viscosity (HPV) and cool paste viscosity (CPV) of the rice with Wx^bWx^b genotype were greater than those with $Wx^{mq}Wx^{mq}$, but the value of breakdown value (BDV) was smaller. A significant positive correlation was shown between grain weight and amylose content value. The differences in starch density might be responsible for the differences in TGW. Rice with $Wx^{mq}Wx^{mq}$ genotype had a lower value of amylose content, gel consistency, hot paste viscosity, cool paste viscosity, setback value, peak time and pasting temperature and a higher breakdown value, which have contributed to the good taste quality represented by softness and elasticity.

Key words: rice; Wx allele; thousand-grain weight; amylose content; cooking and eating quality

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是世界上最主要的粮食作物之一,也是中国第一大粮食作物。优质高产一直是水稻育种的主攻方向。随着生活水平的提高和消费观念的转变,人们对稻米食味品质越加重视^[1-2]。蒸煮食味品质 (Cooking and eating quality) 是指稻米在蒸煮食用过程中表现的各种理化及感官特性,一般通过淀粉的理化参数即直链淀粉含量 (AC)、糊化温度 (GT)、胶稠度 (GC) 及稻米淀粉粘滞性 RVA 等进行综合评价^[3-4],其中 AC 是影响蒸煮食味品质的最主要因素。

水稻蜡质基因 Wx 是调控直链淀粉合成的主要基因,对稻米蒸煮食味品质起决定作用,自然界中 Wx 基因存在多种等位变异型,造成了水稻亚种间和亚种内的直链淀粉含量 (AC) 变异,从而影响米饭食味品质。一般来说,籼稻为 Wx^a , AC 在 20% 以上,米饭硬而干燥、食味差;粳稻为 Wx^b , AC 介于 15%~20%,米饭软而粘、食味较好;糯稻为 wx 型, AC < 2%,米饭粘性大。除了以上 Wx 等位基因以外,还发现了至少 5 种等位变异基因,如 Wx^{op} 、 Wx^{bp} 、 Wx^{mq} 、 Wx^{mp} 及 Wx^{in} ^[5-7],它们均造成对应材料中 AC 不同程度的降低。 Wx^{mq} 是日本科学家在粳稻品种 Koshihikari 突变体库中筛选到的一种 Wx^b 突变基因,其稻米的 AC 介于 8%~15%,米饭具有软而不烂、富有弹性、甜润爽口、冷不回生等特点。目前关于 Wx^{mq} 对稻米蒸煮食味品质影响的研究仅限于少数的不同品种或品系^[8],利用遗传群体或育种群体进行系统研究尚少。因此利用遗传群体系统研究 $Wx^{mq}Wx^{mq}$ 和 Wx^bWx^b 不同基因型稻米蒸煮食味品质性状的差异,对改良稻米食味品质具有指导意义。

Wx 基因对稻米蒸煮食味品质起决定作用,但对粒质量有一定的负效应。携带 wx 基因的糯稻往往比非糯稻的千粒质量低^[9-10]。但是其他 Wx 等位基因是否影响千粒质量尚无报道。本研究以

$Wx^{mq}Wx^{mq}$ 基因型的宁 0145 为母本、 Wx^bWx^b 基因型的武运粳 21 为父本进行杂交并自交获得的 F_3 和 F_4 世代群体为材料,利用能区分 Wx^{mq} 和 Wx^b 基因的分子标记对群体进行基因型分组,在 F_3 和 F_4 群体中分别比较分析不同基因型间的农艺性状及蒸煮食味品质相关性状的差异,并探讨了 Wx 不同等位基因型粒质量差异的原因,以期以优质、高产水稻新品种选育提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以宁 0145 为母本,武运粳 21 为父本杂交并自交获得的 437 个 F_3 株系和 184 个 F_4 株系为试验材料。 F_3 和 F_4 分别于 2015 年和 2016 年正季种植在江苏省农业科学院粮食作物研究所试验田,每个株系 1 个小区,种植 3 行,每行 10 株,行株距 20 cm×17 cm。5 月 10 日播种,6 月 9 日移栽。移栽后采用常规栽培管理。

1.2 DNA 提取

分蘖盛期在各小区中间行第 2 株开始,连续采取 5 个单株的新鲜幼嫩叶片,用 CTAB 法^[11] 提取 DNA,备用。

1.3 水稻 Wx 基因型的检测

根据低直链淀粉含量基因 Wx^{mq} 由 Wx 位点第 497 位核苷酸发生 G 到 A 的等位变异,利用四引物扩增受阻突变体系设计同时检测 Wx^b 和 Wx^{mq} 的共显性标记^[12],正向外引物序列 $Wx-mq-O-F$ 为 5'-ATGTTTGTTCTGTGTTCTTTGCAGGC-3',反向外引物序列 $Wx-mq-O-R$ 为 5'-GTAGATCTTCTCACCG-GTCTTTCCCAA-3',正向内引物序列 $Wx-mq-I-F$ 为 5'-GGGTGAGGTTTTTCCATTGCTACAATCG-3',反向内引物序列 $Wx-mq-I-R$ 为 5'-GTCGATGAACACACG-GTCGACTCAAT-3',由上海英俊生物科技有限公司合成。PCR 反应体系参照 Chen 等^[13] 的方法,略作

修改。10 μ l PCR 反应体系包括 1 μ l DNA (50 ng/ μ l), 0.4 μ l Primer (4 pmol/ μ l), 1 μ l 10 \times Buffer (含 $MgCl_2$), 0.2 μ l dNTP (2.5 mmol/L), 0.2 μ l *Taq* 酶 (5 U/ μ l) 和 7.2 μ l ddH₂O。PCR 反应在 MJ Research PTC-200 热循环仪上进行, 反应程序如下: 94 $^{\circ}C$ 下预变性 5 min; 94 $^{\circ}C$ 下变性 30 s, 63 $^{\circ}C$ 下退火 30 s, 72 $^{\circ}C$ 下延伸 1 min, 共 35 个循环; 最后 72 $^{\circ}C$ 下延伸 10 min, 4 $^{\circ}C$ 下保存待用。PCR 扩增产物用琼脂糖凝胶电泳分离, 通过凝胶成像系统检测条带。

1.4 粒质量及其他农艺性状测定

水稻成熟前, 在田间调查经基因型检测的 5 个单株的株高和有效穗数, 成熟后收获 5 个单株, 风干后考察各单株的平均穗长、一次枝梗数、二次枝梗数、每穗实粒数、空粒数和千粒质量等性状, 每个单株取 10 粒饱满稻谷用游标卡尺测量粒长、粒宽和粒厚等粒型性状, 以 10 粒种子的平均值作为单株统计值。

1.5 蒸煮食味品质的测定

将稻谷出糙后碾成精米, 利用 FOSS 旋风式磨粉机 (CT 193 CyclotecTM) 制成米粉, 过 100 目网筛备用。依据农业部颁布的标准《NY147-88 米质测定方法》^[14] 对稻米直链淀粉含量 (AC) 及胶稠度进行测定, 其中以直链淀粉含量已知的 4 个标样测得的吸光值及对应的 AC (分别为 1.50%、10.40%、16.20%、26.50%) 制作标准曲线, 根据标准曲线计算各样本 AC。采用澳大利亚 Perten 公司的 TecMASTER 型黏度速测仪及 TCW (Thermal cycle for windows) 配套软件, 依据美国谷物化学家协会操作规程 (1995 61-02) 对稻米 RVA 谱进行测定。

1.6 稻米密度测定

称取 3 g 精米记录质量为 m_1 , 同时记录 25 ml 容量瓶质量为 m_2 , 将精米加入到的容量瓶中, 用无水乙醇定容, 记录总质量 M , 按计算公式: $v_1 = 25 - (M - m_1 - m_2) / \rho_{酒精}$ 计算稻米体积, 按 $\rho_1 = m_1 / v_1$ 计算出稻米密度。

1.7 统计分析

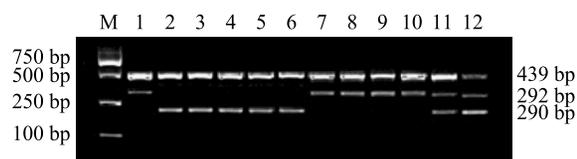
采用 SPSS 20 对数据进行统计分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 群体 Wx^{mq} 和 Wx^b 基因型的检测

利用 Wx 四引物扩增受阻突变体系对 F_3 和 F_4 群

体进行 Wx^b 和 Wx^{mq} 基因型分型。PCR 扩增产物琼脂糖凝胶电泳检测结果显示, 群体各单株总共包含 3 种类型的条带, 条带大小分别为 439 bp、292 bp 和 200 bp (图 1)。各单株除了都能扩增出 439 bp 的条带外, 武运梗 21 与携带 Wx^b 基因的单株还能扩增出 1 条 200 bp 的条带。宁 0145 与携带 Wx^{mq} 基因的材料能扩增出 1 条 292 bp 的条带, 杂合基因型的材料可以检测出 3 条带。对检测结果进行统计, 结果见表 1。



M: DL 2000 bp Marker; 1: 宁 0145; 2: 武运梗 21; 3~6: 部分 $Wx^b Wx^b$ 株系; 7~10: 部分 $Wx^{mq} Wx^{mq}$ 株系; 11~12: 部分杂合 $Wx^b Wx^{mq}$ 株系。

图 1 利用四引物对 Wx 不同等位基因型的检测

Fig.1 Detections of Wx genotypes with Tetra-primer ARMS-PCR in different rice varieties

表 1 F_3 和 $F_4 Wx$ 基因型统计

Table 1 Statistics of Wx genotypes in F_3 and F_4 of rice

基因型	份数	
	F_3	F_4
$Wx^{mq} Wx^{mq}$	162	79
$Wx^b Wx^b$	190	83
$Wx^b Wx^{mq}$	85	22

2.2 不同基因型间产量相关性状的差异

按照基因型分类结果, 对 F_3 和 F_4 纯合株系粒型及产量性状的测定结果见表 2。差异显著性分析结果表明, $Wx^{mq} Wx^{mq}$ 与 $Wx^b Wx^b$ 基因型间除了千粒质量和单株质量的差异达到显著水平 ($P < 0.05$) 外, 其余性状均未达到显著水平 ($P > 0.05$), 说明 Wx^{mq} 基因对粒质量有显著影响。值得注意的是, 不同基因型间虽然千粒质量存在显著差异, 但粒长、粒宽及粒厚的差异均不显著。不同世代相同基因型间, 一次枝梗数、千粒质量和粒型性状的差异不显著, 而有效穗数、二次枝梗数、每穗总粒数、每穗实粒数及单株质量均存在显著差异 ($P < 0.05$), 说明后者受环境影响较大。

表2 F₃和F₄不同基因型主要农艺性状比较Table 2 Comparison of main agronomic traits in different genotypes of F₃ and F₄ generation

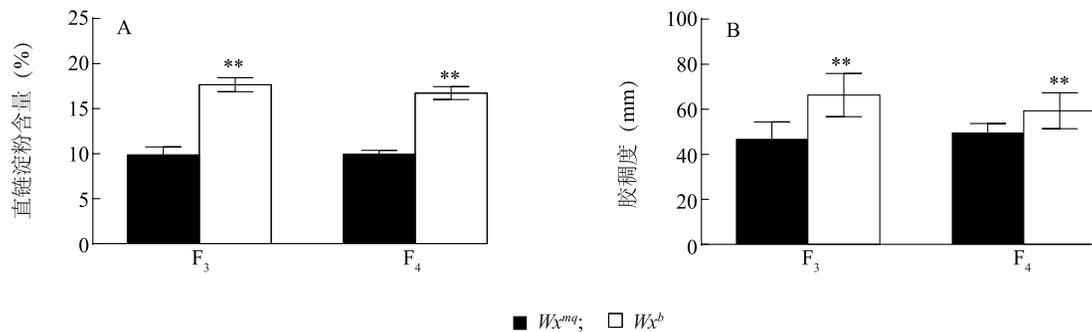
农艺性状	F ₃		F ₄	
	W _x ^{mq} W _x ^{mq}	W _x ^b W _x ^b	W _x ^{mq} W _x ^{mq}	W _x ^b W _x ^b
有效穗数	8.7±2.7a	8.7±2.3a	5.7±1.1b	6.1±1.2b
一次枝梗数	11.3±1.9a	11.3±1.0a	11.2±1.2a	11.3±1.4a
二次枝梗数	26.9±7.4a	28.2±5.4a	21.3±6.2b	21.3±5.8b
每穗总粒数	147.3±37.2a	141.7±25.8a	125.3±14.8b	122.9±15.3b
每穗实粒数	131.0±34.4a	126.6±26.0a	114.4±10.3b	112.9±11.2b
结实率(%)	88.9±5.1a	89.0±5.9a	91.3±4.3a	91.8±3.2a
单株质量(g)	31.7±9.9b	33.8±10.3a	19.3±3.4d	20.3±3.7c
千粒质量(g)	27.3±2.1b	29.7±2.7a	28.2±1.4b	29.7±1.8a
粒长(mm)	7.4±0.1a	7.4±0.1a	7.5±0.2a	7.4±0.2a
粒宽(mm)	3.3±0.1a	3.3±0.2a	3.3±0.2a	3.3±0.1a
粒厚(mm)	2.4±0.1a	2.4±0.2a	2.4±0.1a	2.4±0.2a

同一行数据后不同字母分别表示差异0.05显著水平。

2.3 不同 W_x 基因型蒸煮食味品质性状的比较

F₃和F₄株系不同基因型稻米直链淀粉含量(AC)的测定结果(图2A)表明,F₃和F₄群体W_x^{mq}W_x^{mq}基因型稻米的AC分别为10.45%和10.68%,而W_x^bW_x^b基因型稻米的AC分别为16.98%和16.42%,两世代的AC W_x^bW_x^b基因型均大于W_x^{mq}W_x^{mq}基因型,且达到极显著水平(P<

0.01),而不同世代相同基因型间差异不显著。对胶稠度来说,F₃和F₄群体中W_x^{mq}W_x^{mq}基因型的分别为49 mm和52 mm,而W_x^bW_x^b基因型稻米的胶稠度分别为63 mm和59 mm,两世代中W_x^bW_x^b基因型均大于W_x^{mq}W_x^{mq}基因型,且达到极显著水平(P<0.01),而不同世代相同基因型间差异不显著(图2B)。



A: F₃和F₄不同W_x等位基因型直链淀粉含量; B: F₃和F₄不同W_x等位基因型胶稠度; **表示同一世代不同等位基因型间差异达0.01显著水平。

图2 F₃和F₄不同W_x基因型稻米直链淀粉含量和胶稠度的差异

Fig.2 Differences of amylose content and gel consistency in different W_x genotypes of F₃ and F₄ generation

对稻米的RVA谱特征值进行多重比较分析,结果表明,W_x^{mq}W_x^{mq}基因型稻米的热浆黏度、冷胶黏度、峰值时间、起浆温度和消减值均小于W_x^bW_x^b基因型,而崩解值大于W_x^bW_x^b基因型,其差异达到显著水平(P<0.05),而最高粘度基因型间的差异不显著。同一基因型在不同世代群体间亦存在显著差异

(P<0.05),F₄群体的RVA特征值较F₃群体偏低(表3)。

2.4 粒质量与蒸煮食味品质性状的相关性

不同W_x基因型显著影响了粒质量和蒸煮食味品质,说明粒质量与蒸煮食味品质性状间可能存在某些联系。因此对F₃和F₄群体粒质量与蒸煮食味品质

性状间的相关性进行了分析。结果表明,两世代群体中粒质量与直链淀粉含量、消减值间均存在显著或极显著正相关,而仅在 F_3 群体中检测到粒质量与胶稠

度、热浆黏度、崩解值、冷胶黏度之间存在显著或极显著相关性(表4)。说明稻米蒸煮食味品质特别是直链淀粉含量可能是粒质量的主要影响因素。

表3 F_3 和 F_4 不同基因型稻米RVA谱特征值的差异

Table 3 Differences in RVA profile of different genotypes of F_3 and F_4 generations

RVA 谱特征值	F_3		F_4	
	$W_x^{mq}W_x^{mq}$	$W_x^bW_x^b$	$W_x^{mq}W_x^{mq}$	$W_x^bW_x^b$
最高黏度	3 345.9±311.3a	3 205.9±218.5a	2 352.3±546.9b	2 404.9±442.7b
热浆黏度	1 823.3±230.8b	2 008.2±264.1a	1 133.4±302.4d	1 438.4±405.5c
崩解值	1 522.5±221.7a	1 197.7±213.8b	1 218.8±343.9b	966.8±232.1c
冷胶黏度	2 817.9±288.2b	3 380.3±370.5a	1 710.8±388.9d	2 332.5±480.1c
消减值	-528.1±302.9c	174.4±294.9a	-641.5±343.0c	-72.4±291.4b
峰值时间	6.17±0.21b	6.39±0.23a	5.73±0.36c	6.11±0.31b
起浆温度	72.77±1.14b	74.04±0.77a	73.00±1.66b	74.38±1.66a

不同小写字母分别表示在 0.05 水平上差异显著。

表4 粒质量与蒸煮食味品质性状相关性

Table 4 Correlations between grain weight and ECQ

性状	与粒质量的相关系数	
	F_3	F_4
直链淀粉含量(%)	0.443 **	0.249 **
胶稠度(mm)	0.156 *	0.131
最高黏度(cP)	0.023	-0.059
热浆黏度(cP)	0.209 **	0.035
崩解值(cP)	-0.174 *	-0.137
冷胶黏度(cP)	0.372 **	0.097
消减值(cP)	0.322 **	0.193 *

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

2.5 不同 W_x 基因型稻米的精细结构和密度分析

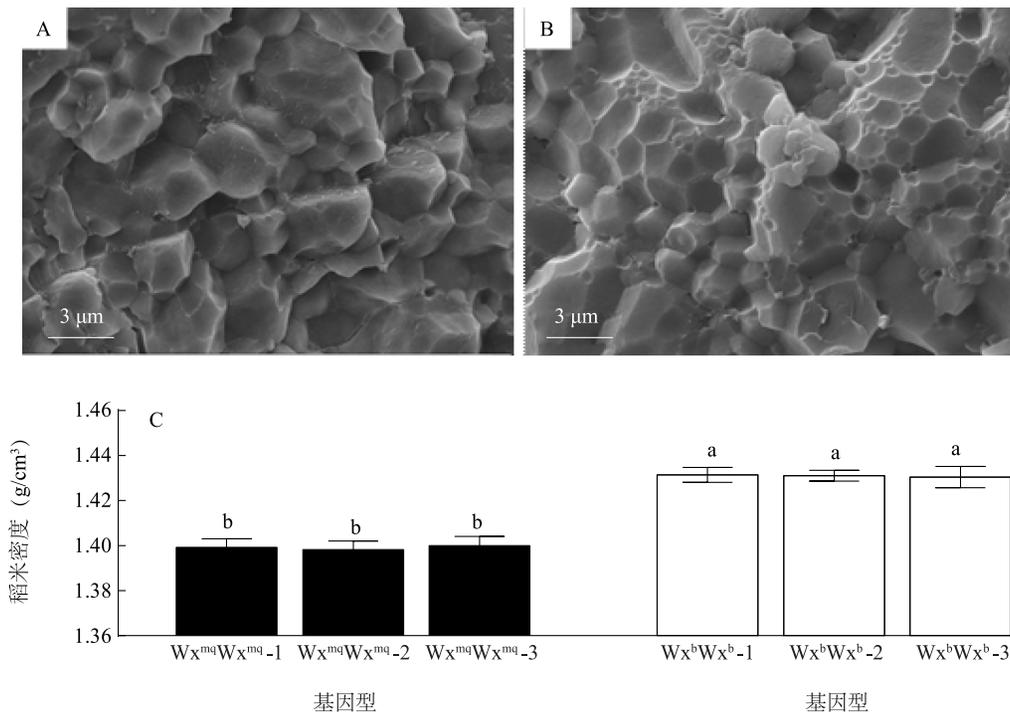
在含水量、粒型一致的情况下, $W_x^bW_x^b$ 基因型稻米的粒质量显著大于 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型,说明 2 种基因型稻米米粉密度或者精细结构存在差异,相关性分析结果亦表明米粉 AC 值与粒质量相关性较高。首先,对不同 W_x 等位基因稻米的胚乳淀粉结构进行观察, $W_x^bW_x^b$ 基因型稻米的淀粉粒相互镶嵌,排列致密(图 3A), $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型稻米的淀粉粒偏小,淀粉粒间有很多小孔状结构,排列较为疏松,切割处易脱落(图 3B)。从 F_4 群体中分别取 3 份 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 和 $W_x^bW_x^b$ 基因型的材料,以无水乙醇为介质,测定了米粉密度。结果表明, $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 型稻米的平均密度为 1.403 g/cm^3 , $W_x^bW_x^b$ 基因型稻米的平均密度为

1.432 g/cm^3 ,两者之间差异达到显著水平(图 3C)。

3 讨论

W_x 基因对稻米蒸煮食味品质起决定性作用^[15],是直链淀粉合成的控制基因,同时是胶稠度的主效基因^[16],并对 RVA 谱特征值有一定影响^[17-18]。本研究利用不同世代群体(F_3 和 F_4)研究了不同 W_x 基因型($W_x^{mq}W_x^{mq}$ 和 $W_x^bW_x^b$)材料中的稻米蒸煮食味品质各性状的差异,发现相比 $W_x^bW_x^b$ 基因型, $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型稻米具有较低的 AC、较低的热浆粘度、冷胶粘度、消减值、较短的峰值时间、较低的起浆温度以及较高的崩解值,这些指标印证了 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型稻米具有柔软性和弹性等较好食味品质的特点,与前人研究结果^[18]一致,另外水稻育种实践亦已证明 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型稻米如南粳 46^[19]、南粳 9108^[20]、南粳 5055^[21]等均具有较好的食味品质。

早在上世纪,研究者们发现 W_x 基因不仅影响稻米品质,还对水稻产量产生影响。徐云碧^[22]利用 3 对糯性与非糯性的近等基因系研究了糯质基因(wx)对千粒质量的影响,发现糯稻的千粒质量比非糯稻低了 7.3%~9.7%。刘巧泉等^[23]在转反义 W_x 基因的试验材料中发现,当直链淀粉含量从 17% (非糯性) 下调到 2% 左右(糯性)时,粒质量亦下降了 6%~8%,粒质量与直链淀粉含量呈显著正相关。



A: $W_x^bW_x^b$ 基因型稻米的显微结构; B: $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型稻米的显微结构; C: 不同 W_x 基因型稻米密度。不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图3 不同 W_x 基因型稻米淀粉结构及密度差异

Fig.3 The difference in starch structure and density of different W_x genotypes of rice

本研究通过分析 2 个世代群体的千粒质量,发现 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型和 $W_x^bW_x^b$ 基因型水稻籽粒千粒质量存在显著差异, $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型千粒质量比 $W_x^bW_x^b$ 基因型低 1.46~2.46 g,下降了 5%~8%,但是粒型性状间不存在差异。相关性分析结果显示粒质量与米粉 AC 具有较高的相关系数,在 F_3 和 F_4 群体中分别为 0.443 和 0.249,因此推测千粒质量差异的原因可能是稻米的精细结构和密度发生变化。淀粉粒超微结构分析结果表明,相比 $W_x^bW_x^b$ 基因型稻米, $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型稻米淀粉粒结合较为松散,淀粉粒易脱落,稻米密度亦较低,从而解释了不同 W_x 基因型通过影响稻米的精细结构和密度而影响千粒质量的原因。已有研究结果表明,不同 W_x 基因型稻米间的淀粉精细结构存在差异,严菊强等^[24]通过对糯稻和非糯稻近等基因系的淀粉结构观察,发现糯质胚乳稻米淀粉以单粒淀粉为主,排列疏松,空隙较大,且单粒淀粉表面有微孔,复合淀粉粒间有空隙。本研究所用的 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型材料是介于糯米和粳米之间的半糯米,因此淀粉粒结构

比糯米更紧密,但是与 $W_x^bW_x^b$ 基因型稻米在淀粉粒排列上的差异明显,这些精细结构的差异可能是造成稻米密度差异的直接原因,最终影响千粒质量。

尽管 $W_x^{mq}W_x^{mq}$ 基因型水稻籽粒千粒质量较低,但是这种差异可以在育种中通过选择穗粒数、单株穗数等产量性状高的株系来弥补,也可以通过粒型基因的选择来弥补。所以在育种利用上可以通过 W_x^{mq} 基因的标记辅助选择来筛选食味品质优良的软米品种,同时通过水稻产量性状控制基因如穗粒数基因 $Gn1a$ ^[25] 和 $Ghd7$ ^[26]、分蘖基因 $MOC1$ ^[27]、粒质量基因 $GS3$ ^[28] 等进行标记辅助选择,从而获得优质兼高产的水稻品种。

参考文献:

- [1] 陈 楚.水稻直链淀粉的遗传及其应用研究[D].合肥:安徽农业大学,2003.
- [2] 陈 静.江苏省水稻食味改良育种研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(12):77-80.
- [3] 张益彬,杜永林,苏祖芳,等.无公害优质稻米生产[M].上海:上海科学技术出版社,2003.

- [4] 乔中英,陈培峰,黄 萌,等.密度、氮肥水平对粳稻苏香粳3号淀粉黏滞性的影响[J].江苏农业科学,2015,43(7):69-70.
- [5] SATO H,SUZUKI Y,SAKAI M,et al.Molecular characterization of $Wx-mq$, a novel mutant gene for low amylose content in endosperm of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Breeding Sci,2002,52(2):131-135.
- [6] LIU L,MA X,LIU S,et al. Identification and characterization of a novel Waxy allele from a Yunnan rice landrace[J]. Plant Mol Biol,2009,71(6):609-626.
- [7] 朱霁晖,张昌泉,顾铭洪,等.水稻 Wx 基因的等位变异及育种利用研究进展[J]. 中国水稻科学,2015,29(4):431-438.
- [8] 于 新,张亚东,朱 镇,等.携带 $Wx-mq$ 基因水稻新品种(系) 稻米 RVA 谱特征及与直链淀粉含量的相关性[J].华北农学报,2013,28(5):53-58.
- [9] TAKEDA K. Influence of waxy character on grain size[J].Japan J Breed,1975,25(2):87-92.
- [10] TAKEDA K. Difference between the size of waxy and non-waxy demal in the F1 rice plant[J]. Japan J Breed,1978,28(3):225-233.
- [11] MURRAY M G,THOMPSON W F.Rapid isolation of high-molecular weight plant DNA[J].Nucleic Acids Research,1980,8(19):4321-4325.
- [12] 陈 涛,骆名瑞,张亚东,等.利用四引物扩增受阻突变体系 PCR 技术检测水稻低直链淀粉含量基因 $Wx-mq$ [J].中国水稻科学,2013,27(5):529-534.
- [13] CHEN X,TEMNYKH S,XU Y,et al. Development of a microsatellite framework map providing genome-wide coverage in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Theor Appl Genet,1997,95(4):553-567.
- [14] 中华人民共和国农业部.标准米质测定方法 NY147-88[S].北京:中国标准出版社,1988:4-6.
- [15] TIAN Z X,QIAN Q,LIU Q Q,et al. Allelic diversity in rice starch biosynthesis pathway leads to a diverse array of rice eating and cooking qualities [J]. Proc Natl Acad Sci,2009,106:21760-21765.
- [16] 莫惠栋.我国稻米品质的改良[J].中国农业科学,1993,26(4):8-14.
- [17] BAO J S,HE P,LI S G,et al. Comparative mapping quantitative trait loci controlling the cooking and eating quality of rice[J]. Sci Agric Sin,2000,33(8):8-13.
- [18] 隋炯明,李 欣,严 松,等.稻米淀粉 RVA 特征谱与品质性状相关性研究[J].中国农业科学,2005,38(4):657-663.
- [19] 王才林,陈 涛,张亚东,等.通过分子标记辅助选择培育优良食味水稻新品种[J].中国水稻科学,2009,23(1):25-30.
- [20] 王才林,张亚东,朱 镇,等.优良食味粳稻新品种南粳 5055 的选育及利用[J].农业科技通讯,2012,45(2):84-87.
- [21] 王才林,张亚东,朱 镇,等.优良食味粳稻新品种南粳 9108 的选育及利用[J].江苏农业科学,2013,41(9):86-88.
- [22] 徐云碧.水稻蜡质基因对产量构成性状的影响[J].作物学报,1989,15(3):237-241.
- [23] 刘巧泉,王兴稳,陈秀花,等.转反义 Wx 基因糯稻的显性遗传及对稻米粒重的效应分析[J].中国农业科学,2002,35(2):117-122.
- [24] 严菊强,徐均焕,薛庆中.水稻糯质基因对胚乳淀粉性状的影响[J].作物学报,1996,22(5):638-640.
- [25] ASHIKARI M,SAKAKIBARA H,LIN S,et al. Cytokinin oxidase regulates rice grain production [J]. Science,2005,309(5735):741-745.
- [26] XUE W,XING Y,WENG X,et al. Natural variation in Ghd7 is an important regulator of heading date and yield potential in rice [J]. Nature Genetics,2008,40(6):761.
- [27] LI X,QIAN Q,FU Z,et al. Control of tillering in rice. [J]. Nature,2003,422(6932):618.
- [28] FAN C,XING Y,MAO H,et al. GS3, a major QTL for grain length and weight and minor QTL for grain width and thickness in rice, encodes a putative transmembrane protein [J]. Theoretical and Applied Genetics,2006,112(6):1164-1171.

(责任编辑:陈海霞)