

多倍体水稻优良回复二倍体品系的米质分析

李丽冰¹, 周晓玲², 王 杰¹, 梅 潇¹, 张献华¹, 宋兆建^{1*}, 蔡得田^{1,3*}

¹湖北大学生命科学学院, 湖北 武汉

²四子王旗农牧和科技局, 内蒙古 乌兰察布

³武汉多倍体生物科技有限公司, 湖北 武汉

Email: *zjsong99@126.com, *dtcai8866@163.com

收稿日期: 2021年2月14日; 录用日期: 2021年3月9日; 发布日期: 2021年3月16日

摘 要

水稻是我国第一大粮食作物, 在粮食安全中发挥着重要作用, 优质高产水稻新品种的选育对社会稳定 and 经济发展具有重要意义。前期通过多倍体水稻品系的花药培养, 获得了多个农艺性状优良的回复二倍体品系。为详细掌握回复二倍体的米质状况, 分析其应用前景, 并为其遗传改良提供参考, 本研究以15份回复二倍体品系为材料, 对其加工品质、外观品质、蒸煮和食味品质等相关指标进行测定并分析。加工品质方面, 15份材料的糙米率和精米率差异不大, 其中糙米率均接近80%, 精米率均在70%左右; 但整精米率有较大差异, 最高可达68.2%, 而最低只有42.2%。外观品质方面, 15份材料的粒长除WH20ST218外, 均超过6 mm, 最长可达6.8 mm; 长宽比除WH20ST218外均超过3.0, 最大为3.3; 垩白粒率和垩白度上不同材料变化较大, 但表现均较好, 其中垩白粒率最小9%, 最大25%, 垩白度最小2.5%, 最大8.1%; 由于垩白粒率和垩白度较小, 透明度均表现为1级或2级。蒸煮和食味品质方面, 15份材料均属于低直链淀粉稻米, 直链淀粉含量在14%左右, 最小13.5%, 最大15.4%; 15份材料均属于软胶稠度稻米, 且多在75 mm左右, 最小65 mm, 最大89 mm; 碱消值方面, 9份材料为3~4级, 6份材料为6~7级。综合全部指标, 依据NY/T593-2013优质米评判标准, 15份材料中有2份为二级优质米, 1份为三级优质米, 其余为普通米。

关键词

多倍体, 水稻, 回复二倍体, 米质分析

Analysis of the Grain Quality of Elite Diploid Rice Lines Reverted from Polyploid Rice

Libing Li¹, Xiaoling Zhou², Jie Wang¹, Xiao Mei¹, Xianhua Zhang¹, Zhaojian Song^{1*}, Detian Cai^{1,3*}

¹School of Life Sciences, Hubei University, Wuhan Hubei

²Agriculture, Animal Husbandry and Science and Technology Bureau of Siziwang Banner, Ulanqab Inner Mongolia

*通讯作者。

文章引用: 李丽冰, 周晓玲, 王杰, 梅潇, 张献华, 宋兆建, 蔡得田. 多倍体水稻优良回复二倍体品系的米质分析[J]. 农业科学, 2021, 11(3): 184-190. DOI: 10.12677/hjas.2021.113027

³Wuhan Polyploid Biotechnology Co., Ltd., Wuhan Hubei
Email: *zjsong99@126.com, *dtcai8866@163.com

Received: Feb. 14th, 2021; accepted: Mar. 9th, 2021; published: Mar. 16th, 2021

Abstract

Rice is the main food crop in China and plays an important role in food security. The breeding of new rice varieties with high-quality and high-yield is of great significance to social stability and economic development. In the previous study, several elite diploid rice lines with excellent agronomic traits were obtained by anther culture from polyploid rice lines. In order to master the grain quality of the reverted diploid in detail, analyze its application prospects, and provide references for its genetic improvement, the indexes of processing quality, exterior quality, cooking and eating quality of fifteen elite reverted diploid rice lines were measured and analyzed in this study. For processing quality, there was little difference on brown rice rate and milled rice rate of the 15 materials. The brown rice rate was close to 80%, and the milled rice rate was about 70%. However, the head rice rate had great difference among the 15 materials, the highest was 68.2%, and the lowest was only 42.2%. For exterior quality, the grain length of the 15 materials was more than 6 mm except for WH20ST218, and the longest grain could reach 6.8 mm; length-width ratios were more than 3.0 except for WH20ST218, and the maximum was 3.3; the chalkiness rate and chalkiness degree of different materials varied greatly, but they all performed well. Among them, the minimum and maximum chalkiness rates were 9% and 25%, respectively. The minimum and maximum chalkiness degrees were 2.5% and 8.1%, respectively. Because both the chalkiness rate and chalkiness degree were low, the transparency was grade 1 or 2. For cooking and eating quality, all the 15 materials were low amylose content rice (about 14%). The minimum and maximum of amylose contents were 13.5% and 15.4%, respectively. The 15 materials were all of the soft gel consistency rice, and the gel consistency was about 75 mm. The minimum and maximum gel consistencies were 65 mm and 89 mm, respectively. For alkali digestion value, 9 materials were grade 3 to 4, and 6 materials were grade 6 to 7. Base on all the indicators as well as the high-quality rice evaluation standard (NY/T 593-2013), among the 15 materials, 2 were grade 2, 1 was grade 3, and other materials were common rice.

Keywords

Polyploid, Rice (*Oryza sativa* L.), Diploid Rice Reverted from Polyploid, Grain Quality Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水稻(*Oryza sativa* L.)是世界重要粮食作物之一,全世界半数以上的人口以其为主食,提供了超过 25% 的人类热量需求[1],而大多数东南亚人高达 76%的每日热量需要靠大米提供[2] [3]。世界上约五分之一的人口以种植水稻为生,在 2016 年世界水稻产量达到了 7.41 亿吨[4]。在过去的半个世纪里,水稻产量的大幅提高主要归功于两个方面,其一是使用了半矮秆品种,其二是三系杂交水稻的广泛应用[5]。近年来,随着社会生活水平的提高,人们不但要求提高水稻的产量,还对水稻的品质提出了更高的要求,因此,水稻品质育种成为近年来的研究热点。

多倍化在高等植物中是普遍存在的[6]。多倍体被普遍认为是一种常见的物种形成模式,对植物进化和生态学产生了深远的影响[7]。在二倍体向多倍体演化的过程当中,其产量和品质等相关性状也会显著提高。我国于1951年开始多倍体水稻育种研究,但一直进展缓慢,主要问题在于多倍体水稻的低诱导率和低结实率,尤其低结实率问题是制约多倍体水稻发展的瓶颈[8][9]。为解决低结实率瓶颈问题,蔡得田等于2001年提出“利用远缘杂交和多倍体双重优势选育超级稻”的育种新策略[10]。在该策略的指导下,成功选育出2个多倍体减数分裂稳定性(Polyploid meiosis stability, PMeS)品系,突破了多倍体水稻低结实率瓶颈问题。PMeS品系不仅自身结实率可达70%,而且它们与低结实多倍体籼稻或粳稻品种的杂种也具有75%以上的高结实率[9]。实践证明远缘杂交和多倍体化相结合的异源多倍体化是获得高产优质水稻新品种的一条新途径。

本实验室以PMeS品系这一核心材料为基础,近20年来已创制培育出5000余份多倍体水稻材料。其中将PMeS品系(高结实)与9311-4x(低结实)杂交后,利用隔代回交技术构建获得了具有高结实性状的9311-4x近等基因系(简称PMeS近等基因系)[11]。为探索以多倍体水稻为途径选育二倍体水稻新品种的育种新方法,前期通过花药培养获得了农艺性状优良的PMeS近等基因系的回复二倍体品系多个。为详细掌握回复二倍体的米质状况,分析其应用前景,并为其遗传改良提供参考,本研究以其中15个优良回复二倍体品系为材料,对其加工品质(糙米率、精米率、整精米率),外观品质(粒长、长宽比、垩白粒率、垩白度、透明度),蒸煮和食味品质(直链淀粉含量、胶稠度、碱消值)等指标进行测定,进而分析其米质状况。

2. 材料与方法

2.1. 植物材料

通过多倍体减数分裂稳定性(Polyploid Meiosis Stability, PMeS)品系与9311-4x杂交后,利用隔代回交技术构建获得PMeS近等基因系,对PMeS近等基因系通过花药培养获得15个农艺性状优良的回复二倍体品系。

2.2. 材料种植与样品准备

2020年将15个回复二倍体品系种植于武汉科研基地。稻谷成熟后收获,风干后放置三个月以上使其理化性质稳定,去除稻草、瘪粒、泥巴、砂石、铁屑等混杂物,稻谷品种纯度不低于99.0%。为保证检测结果的准确性,检测前待测样品需要在干燥通风处或有空调的实验室内放置一周左右,使待测样品的水分含量为 $13\% \pm 1\%$,含水量的测定根据GB 3523。

2.3. 样品检测

以15份多倍体水稻优良回复二倍体品系为材料,对其加工品质(糙米率、精米率、整精米率),外观品质(粒长、长宽比、垩白粒率、垩白度、透明度),蒸煮和食味品质(直链淀粉含量、胶稠度、碱消值)等指标进行测定。

加工品质、蒸煮和食味品质及外观品质的垩白粒率、垩白度、透明度指标的测定方法参考NY/T 83-2017。外观品质的粒长和长宽比的测定方法如下:取100粒整精米,用游标卡尺测量每一粒米的长度和宽度,单位为mm,读数精度为0.1mm,依次记录所得测量值。精米的长度应取整精米两端间的最大距离;宽度应取整精米最宽处的距离。然后求取精米长度和宽度的平均值,用下列公式来求长宽比:长宽比 = 长度平均值(mm)/宽度平均值(mm)。最后综合检测结果,依据NY/T 593-2013标准[12]进行稻米品质等级判定。

3. 结果与分析

3.1. 加工品质

糙米率、精米率和整精米率是衡量稻米加工品质好坏的主要指标，糙米率、精米率和整精米率越高，则表明稻米的加工品质越优良，尤其是整精米率是米厂选择稻谷品种的主要考虑因素。由表 1 可知，15 个回复二倍体品系稻米的加工品质整体表现都较好，其中糙米率都达到了优质米标准(三级或以上)，除 WH20ST212、WH20ST213 外其余材料的整精米率也都达到了优质米标准(三级或以上)(图 1)。

Table 1. Processing quality of the materials

表 1. 15 份材料的加工品质

材料编号	糙米率/%	精米率/%	整精米率/%
WH20ST212	77.27	69.46	42.23
WH20ST213	77.04	70.15	47.99
WH20ST216	79.04	70.85	67.23
WH20ST218	78.04	69.65	65.75
WH20ST222	79.00	69.46	65.36
WH20ST223	78.96	70.42	63.17
WH20ST224	78.58	70.35	63.80
WH20ST229	78.31	69.96	63.04
WH20ST235	79.19	70.42	68.24
WH20ST236	79.38	70.92	67.66
WH20ST239	78.58	69.85	62.09
WH20ST240	79.12	71.50	57.92
WH20ST254	77.73	69.65	58.58
WH20ST255	78.58	70.81	66.35
WH20ST258	78.42	70.42	65.99



Figure 1. Brown rice of three lines (From left to right are WH20ST216, 222, 235)

图 1. 三个品系的糙米(从左至右依次为 WH20ST216、222、235)

3.2. 外观品质

15 个多倍体水稻优良回复二倍体品系稻米的外观品质数据列于表 2，整体来看所有材料的外观品质均表现较好。粒长均较长，都属于长粒形(粒长 > 6.5 mm)或中粒形(粒长 5.6 mm~6.5 mm)籼米，长宽比都

超过 2.8。透明度也都达到 1 级或 2 级。

垩白会使稻米透明度、硬度降低且容易破碎,从而导致整精米率低,蒸煮后饭粒裂纹多、饭粒蓬松中空,严重影响稻米的加工、蒸煮和食味品质[13] [14],所以垩白粒率和垩白度越低越好。由表 2 可见,本研究中的 15 个品系材料垩白粒率均低于 30%,达到优质米标准,特别是 WH20ST216、WH20ST218 垩白粒率分别只有 9%和 10%,达到一级优质米标准。15 个品系中除 5 个品系(WH20ST212、WH20ST223、WH20ST240、WH20ST254 和 WH20ST258)外,其余材料的垩白度均达到了二级($\leq 3.0\%$)或三级($\leq 5.0\%$)优质米的标准[12]。

Table 2. Exterior quality of the materials

表 2. 15 份材料的外观品质

材料编号	粒长/mm	长宽比	垩白粒率/%	垩白度/%	透明度/级
WH20ST212	6.6	3.3	23	6.1	2
WH20ST213	6.8	3.3	13	2.9	2
WH20ST216	6.2	3.2	9	2.5	1
WH20ST218	5.9	2.8	10	4.3	2
WH20ST222	6.2	3.3	13	3.0	2
WH20ST223	6.3	3.1	19	5.1	1
WH20ST224	6.3	3.1	15	3.6	1
WH20ST229	6.3	3.2	15	3.5	2
WH20ST235	6.0	3.0	17	4.8	1
WH20ST236	6.0	3.1	14	4.5	1
WH20ST239	6.4	3.2	18	4.8	2
WH20ST240	6.6	3.1	25	8.1	2
WH20ST254	6.2	3.1	23	6.9	1
WH20ST255	6.4	3.2	13	4.6	1
WH20ST258	6.7	3.1	22	5.9	1

3.3. 蒸煮和食味品质

直链淀粉含量、胶稠度和碱消值是衡量稻米蒸煮品质的重要指标。稻米中的淀粉可分为直链淀粉和支链淀粉两类。直链淀粉含量的高低与胶稠度的大小、糊化温度的高低都显示出直接的关联性[13]。因此,精米中直链淀粉的含量对蒸煮品质的影响最大。由表 3 可见,15 份材料均属于低直链淀粉稻米,直链淀粉含量在 14%左右,最小 13.48%,最大 15.43%;均达到一级优质米标准。

胶稠度的大小体现为稻米在做成可食用的米饭后的柔软程度。依据稻米胶体在刻度试管中流动后静止的长度,可将胶稠度划分为三个等级,即硬胶稠度:类胶长度小于 40 mm;中胶稠度:类胶长度 41~60 mm;软胶稠度:类胶长度大于 61 mm。软胶稠度稻米,煮成米饭饭后柔软爽口。由表 3 可见,15 份材料均属于软胶稠度稻米,且多在 75 mm 左右,最小 65 mm,最大可达 89 mm;均达到一级优质米标准。

糊化温度是指稻米淀粉颗粒在水中受热产生不可逆膨胀(糊化),双折射现象消失时的温度。一般通过检测稻米碱消值间接反映糊化温度,碱消值越大,糊化温度越低[15]。糊化温度分为三级:高糊化温度(大于 74℃)、中糊化温度(70℃~74℃)、低糊化温度(小于 70℃),分别对应碱消值 1~3 级、4~5 级、6~7 级。由表 3 可见,15 份材料中 6 份材料为 6~7 级,达到优质米标准,另外 9 份材料为 3~4 级。

Table 3. Cooking quality of the materials
表 3. 15 份材料的蒸煮和食味品质

材料编号	直链淀粉含量/%	胶稠度/mm	碱消值/级
WH20ST212	13.48	75	6.2
WH20ST213	14.21	77	6.3
WH20ST216	15.43	65	6.0
WH20ST218	14.69	75	3.3
WH20ST222	14.73	75	6.2
WH20ST223	14.04	77	3.3
WH20ST224	14.63	77	3.3
WH20ST229	13.76	89	3.3
WH20ST235	14.83	65	6.6
WH20ST236	14.68	65	3.5
WH20ST239	14.85	68	3.3
WH20ST240	14.48	73	3.3
WH20ST254	13.72	75	3.3
WH20ST255	14.89	75	3.3
WH20ST258	14.57	75	6.6

3.4. 米质等级评判

综合所有检测指标, 根据 NY/T 593-2013《食用稻品种品质》的优质米评判标准[12], 15 份材料中有 2 份材料(WH20ST216 和 WH20ST222)达到了二级优质米的标准, 1 份材料(WH20ST235)达到了三级优质米的标准, 其他 12 份材料为普通米。

4. 小结与讨论

水稻是禾本科稻属的谷类作物, 自袁隆平院士的杂交水稻研究取得重大突破, 成功解决我国当时水稻产量低的问题, 解决温饱问题后, 我国现代农业生产开始追求更好的品质, 以满足人们对优质稻米的需求。多倍体水稻育种作为水稻育种的新途径, 因其具有高于普通水稻的基因容量, 更丰富的遗传特性, 更宽的遗传变异范围, 更高的优良基因组合几率, 因而产量和适应性都能得到显著提高[10]。另外, 研究还发现多倍体水稻的回复二倍体往往具有优良的农艺性状, 这是由于本实验室的 PMeS 品系是通过广泛的籼粳杂交而产生, 同时具有籼稻和粳稻的遗传成分。加之四倍体水稻的减数分裂情况远比二倍体水稻复杂, 促进了籼、粳染色体之间的交换和重组, 使染色体的结构和组成发生改变, 优良基因位点有更大几率组合在一起。这时, 将四倍体水稻再通过花药培养或自然回复得到的二倍体水稻同样兼有籼稻和粳稻遗传成分, 遗传多样性更加丰富, 因此往往更容易获得兼具多种优良农艺性状的新品种。

本研究以多倍体水稻 PMeS 近等基因系通过花药培养获得的 15 份优良回复二倍体品系为材料测定其米质。在加工品质方面, 15 个品系整体表现都较好, 其中糙米率都达到了优质米标准(三级或以上), 除 WH20ST212、WH20ST213 外其余材料的整精米率也都达到了优质米标准(三级或以上)。在外观品质方面, 整体来看所有材料的外观品质均表现较好。粒长均较长, 都属于长粒形(粒长 > 6.5 mm)或中粒形(粒长 5.6 mm~6.5 mm)籼米, 长宽比都超过 2.8; 透明度也都达到 1 级或 2 级; 15 个品系材料垩白粒率均低于 30%, 达到优质米标准; 除 5 个品系外, 其余材料的垩白度均达到了二级($\leq 3.0\%$)或三级($\leq 5.0\%$)优质米的标准。

在蒸煮品质方面, 15 份材料均属于低直链淀粉稻米和软胶稠度稻米, 这两个方面所有材料都达到一级优质米标准; 碱消值方面, 6 份材料为 6~7 级, 达到优质米标准, 而另外 9 份材料为 3~4 级, 说明较多材料的米质等级受到了碱消值的影响而降低, 这为今后相关材料的遗传改良指明了方向。整体来看, 2 份材料达到了二级优质米标准, 1 份材料达到了三级优质米标准, 其他 12 份材料为普通米。但其他普通稻米在某些指标上表现也非常优秀, 如 WH20ST229 的胶稠度为 89 mm, WH20ST213 的垩白粒率和垩白度分别为 13% 和 2.9%, 这些材料可以作为亲本材料和其他材料杂交, 改良相关品质。研究结果说明, 本实验中多倍体水稻优良回复二倍体的米质整体较好, 而且达到优质米标准的品系所占比例较高, 具有良好的应用前景; 同时根据不同材料的具体指标情况, 可有针对性地进行改良或利用; 另外, 研究结果也在一定程度上证实了以多倍体水稻为途径选育二倍体水稻新品种的育种技术是有效和可行的。

基金项目

本研究由: 1) 湖北省重点研发计划项目(2020BBA032); 2) 武汉市品牌农业发展计划项目; 3) 国家自然科学基金项目(31571639)资助。

参考文献

- [1] Kusano, M., Yang, Z., Okazaki, Y., *et al.* (2015) Using Metabolomic Approaches to Explore Chemical Diversity in Rice. *Molecular Plant*, **8**, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.010>
- [2] Fitzgerald, M.A., Mccouch, S.R. and Hall, R.D. (2009) Not Just a Grain of Rice: The Quest for Quality. *Trends in Plant Science*, **14**, 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.12.004>
- [3] Miura, K., Ashikari, M. and Matsuoka, M. (2011) The Role of QTLs in the Breeding of High-Yielding Rice. *Trends in Plant Science*, **16**, 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.02.009>
- [4] FAO (2018) World Food and Agriculture: Statistical Pocketbook. <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/459389/world-food-and-agriculture-statistical-pocketbook-2018/?page>
- [5] Khush, G.S. (2001) Green Revolution: The Way Forward. *Nature Reviews Genetics*, **2**, 815. <https://doi.org/10.1038/35093585>
- [6] Roulin, A., Auer, P.L., Libault, M., *et al.* (2013) The Fate of Duplicated Genes in a Polyploid Plant Genome. *Plant Journal*, **73**, 143-153. <https://doi.org/10.1111/tpl.12026>
- [7] Peer, Y.V.D., Mizrahi, E. and Marchal, K. (2017) The Evolutionary Significance of Polyploidy. *Nature Reviews Genetics*, **18**, 411-424. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.26>
- [8] 宋文昌, 张玉华. 水稻四倍化及其对农艺性状和营养成分的影响[J]. 作物学报, 1992, 18(2): 137-144.
- [9] 蔡得田, 陈建国, 陈冬玲, 等. 两个具多倍体减数分裂稳定性的多倍体水稻品系的选育[J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2007, 37(2): 217-226.
- [10] 蔡得田, 袁隆平, 卢兴桂. 二十一世纪水稻育种新战略 II. 利用远缘杂交和多倍体双重优势进行超级稻育种[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 110-116.
- [11] 宋兆建, 蔡得田, 王维. 利用隔代回交构建多倍体水稻 P_{MeS} 近等基因系的方法[P]. 中国专利, ZL201510015646.1. 2017-12-08.
- [12] 农业部稻米及制品质量监督检验测试中心, 中国水稻研究所. NY/T 593-2013. 食用稻品种品质[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [13] 章显光, 黄永楷. 稻米直链淀粉含量、糊化温度和胶稠度的初步研究[J]. 湖北农学院学报, 1992, 12(1): 10-15.
- [14] 江良荣, 李义珍, 王侯聪, 等. 稻米外观品质的研究进展与分子改良策略[J]. 分子植物育种, 2003, 1(2): 243-255.
- [15] 张大鹏, 吴建国, 石春海. 稻米糊化温度 DSC 试验条件的优化及相关分析[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(11): 1-4.