

马中涛, 马会珍, 崔文培, 等. 成熟度对优良食味水稻南粳 9108 产量、品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1353-1360.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.06.002

成熟度对优良食味水稻南粳 9108 产量、品质的影响

马中涛, 马会珍, 崔文培, 付正豪, 蒋伟勤, 朱 盈, 魏海燕, 张洪程, 刘国栋
(扬州大学/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心/扬州大学水稻产业工程技术研究院/扬州大学农业农村部长江流域稻作技术创新中心, 江苏 扬州 225009)

摘要: 为了研究水稻收获的最佳成熟度, 探明不同成熟度稻米之间的产量、品质差异及其变化的原因, 以南粳 9108 为材料, 设置 5 个收获期, 考察相应的水稻成熟度, 并对可能影响水稻产量、品质的因素进行系统性研究。结果表明, 在产量方面, 成熟度主要改变了水稻的结实率和千粒质量, 当成熟度为 95.56% 时, 水稻产量最高; 在品质方面, 随着成熟度的提高, 稻米加工品质、外观品质和食味值均得到了有效提升, 部分加工品质、外观品质在成熟度为 93.28% 时最佳, 但与成熟度为 95.56% 时相比差异不显著; 稻米的食味值整体在成熟度为 95.56% 时最佳, 但与成熟度为 93.28% 时相比差异不显著; 不同成熟度稻米之间的淀粉、蛋白质含量差异相对较小, 而淀粉糊化特性、蛋白质组分的差异较大, 可能由于成熟度主要改变了稻米的蛋白质组分、淀粉结构, 从而影响了稻米品质。综合水稻产量与品质可知, 当水稻成熟度为 93.28%~95.56% 时, 为江苏稻区南粳 9108 的最佳收获期。

关键词: 南粳 9108; 水稻; 成熟度; 产量; 品质

中图分类号: S511.2⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2020)06-1353-08

Effects of maturity on yield and quality of highly palatable rice Nanjing 9108

MA Zhong-tao, MA Hui-zhen, CUI Wen-pei, FU Zheng-hao, JIANG Wei-qin, ZHU Ying, WEI Hai-yan, ZHANG Hong-cheng, LIU Guo-dong

(Yangzhou University/Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops/Research Institute of Engineering Technology for Crop Industry, Yangzhou University/Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In order to study the optimum maturity of rice during harvest, explore the differences of yield and quality among rice with different maturities and reasons for their changes, Nanjing 9108 was used as material, five harvest periods were set up to investigate corresponding maturity of rice and systematically study factors that may affect the yield and quality of rice. The results showed that maturity mainly changed seed setting rate and thousand-seed weight of rice, and the yield was the highest when the maturity was 95.56%. On the aspect of quality, processing quality, appearance and eating quality

收稿日期: 2020-07-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300503); 国家自然科学基金项目(31971841); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-27); 江苏省重点研发计划项目(BE2018355); 江苏省农业产业技术体系专项[JATS(2018)298]; 扬州大学拔尖人才计划项目

作者简介: 马中涛(1997-), 男, 河南新乡人, 硕士, 主要从事稻米品质研究。(E-mail) 2426240737@qq.com

通讯作者: 魏海燕, (E-mail) wei_haiyan@163.com

of rice were effectively improved with the increase of maturity. Some processing quality and appearance quality were the best when the maturity was 93.28%, but the difference was not significant compared with those when the maturity was 95.56%. The eating quality of rice was the best when the maturity was 95.56%, but the difference was not significant compared with that when the maturity was 93.28%. The differences of starch contents and protein contents were relatively less among rice with different

maturities, while the differences of starch gelatinization properties and protein components were relatively larger. The reason maybe that the maturity mainly affected the rice quality by changing the protein components and starch structure. According to the yield and quality of rice, when the maturity was 93.28%–95.56%, it was the best harvest time of Nanjing 9108.

Key words: Nanjing 9108; rice; maturity; yield; quality

产量是衡量水稻生产的重要指标,但是随着人们生活质量的提高,人们对优质稻米的消费需求与日俱增,优质高产已经成为当前及今后水稻生产的主攻方向。近年来,随着优质稻育种科技的进步,一批以南粳 9108 为代表的优良食味粳稻相继被培育并在生产上得到大面积应用。2019 年,南粳 9108 仅在江苏省的种植面积就达到了近 $4.6667 \times 10^5 \text{ hm}^2$,成为江苏省种植面积最大的一种优良食味粳稻品种^[1]。成熟度是指正常黄熟的籽粒数占总籽粒数的比例,收获时期是影响水稻成熟度的关键因素,不同收获时期的水稻成熟度不一,并且水稻产量及稻米品质也均存在较大差异^[2-3]。由此可见,研究优良食味水稻在不同成熟度下水稻产量、稻米品质的差异,从中寻求能够满足产量与品质协同的成熟度及其对应的收获期,对于促进水稻优质高产具有十分重要的意义。水稻的成熟度与籽粒灌浆的持续时间密切相关。已有研究发现,水稻籽粒灌浆受到多因素的影响,由于水稻基因型存在差异,其生育特性、灌浆方式不同^[4],灌浆进程、适宜收获期也有差异。邵小龙等^[5-6]研究发现,籼稻与粳稻间的适宜收获期不同,相对于粳稻,籼稻在抽穗期的干物质积累速度较快,灌浆持续时间较短。籼稻在抽穗后 30 d 左右甜度高、口感较好,食味品质最佳,而粳稻在抽穗后 54 d 的稻米硬度、胶黏性较低,弹性、黏附性较高,食味品质最佳。刘兵等^[7]研究发现,不同穗型粳稻品种的适宜收获期存在差异,大穗型品种普遍存在异步灌浆现象,其弱势粒灌浆速度较慢,粒质量差异较大,所需灌浆时间相对较长^[8-9],因而其收获期相对延长。此外,由于环境存在差异,灌浆期温度较高,光照度较强,可以加快籽粒的灌浆速率、缩短灌浆时间^[10-11],使收获期相对缩短。杜志敏等^[12]研究发现,寒地粳稻在穗后 68 d 左右的糙米率、精米率、整精米率较高。成臣等^[13]研究则发现,南方粳稻抽穗后 50~55 d 的加工品质较好。综合前人的研究结果可知,在不同水稻基因型和不同环境条件下,其适宜的收获期不同。目前,关于江苏稻区应用面积最广的优质食味粳稻品种南粳 9108 适宜生态环境下

不同成熟度稻米的产量、品质差异及其变化原因尚不明确。为此,本研究以江苏省主栽优质食味水稻南粳 9108 为材料,根据抽穗至收获的时间设置不同的收获时期,考察其成熟度,研究不同成熟度对稻米产量、品质及淀粉、蛋白质组分等方面的影响规律,以期明确优质食味水稻南粳 9108 产量与品质协同提升的适宜成熟度,为江苏省优质高产粳稻生产确定最佳收获时期提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试品种

试验在扬州大学兴化基地进行,以南粳 9108 为材料,栽培方式为钵苗机插。

1.2 试验设计

于 2019 年 5 月 27 日播种,2019 年 6 月 10 日移栽,行距×株距为 30 cm×12 cm,每穴 4 株苗。小区面积为 100 m²,试验重复 3 次。氮肥施用量为 270 kg/hm²,基肥、穗肥的施用比例为 7:3,基肥、分蘖肥的施用比例为 1:1,分蘖肥、穗肥分别在移栽后 7 d、倒四叶期施用。氮(纯 N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)的比例为 2:1:2,其中磷肥一次性施用,钾肥在耕翻前、拔节期等量施入。田间用水和防护(防病、防虫、防草害)措施等参照高产栽培方式进行处理。试验以水稻抽穗至收获的时间为基准设置 5 个处理,分别为处理 I(35 d)、处理 II(40 d)、处理 III(45 d)、处理 IV(50 d)、处理 V(55 d),详见表 1。

表 1 水稻不同收获时间对应的成熟度与籽粒含水量

Table 1 Maturity and grain water content of rice at different harvest time

处理	抽穗后时间 (d)	成熟度 (%)	籽粒含水量 (%)
I	35	82.30dD	42.32aA
II	40	89.30cC	39.19bB
III	45	91.73bB	36.05cC
IV	50	93.28bAB	35.38cC
V	55	95.56aA	28.30dD

同一列数据后标有不同小写、大写字母分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

1.3 测定内容及方法

1.3.1 成熟度及籽粒含水量的测定 分别于水稻抽穗后 35 d、40 d、45 d、50 d、55 d 测定并记录水稻成熟度和籽粒含水量,取代表田间正常生长状态的植株 3~5 穴(每穴 12 个分蘖),重复测定 3 次。

成熟度即正常黄熟的籽粒数占总粒数的比例,计算公式为成熟度=黄熟籽粒数/总籽粒数。

籽粒含水量的测定采用烘干称质量法。取若干水稻籽粒,分别称取鲜质量后装入牛皮纸袋中,在烘箱中于 105 ℃ 杀青 15~20 min,然后调温至 80 ℃ 并烘至恒质量,之后称量干质量。计算公式如下:

籽粒含水量 = $[(\text{鲜质量} - \text{干质量}) / \text{鲜质量}] \times 100\%$ 。

1.3.2 产量及产量构成因素的测定 分别于水稻抽穗后 35 d、40 d、45 d、50 d、55 d 取代表田间正常生长状态的植株 3~5 穴(每穴 12 个分蘖),测定每穗粒数、结实率,重复 3 次。分别在水稻抽穗后 35 d、40 d、45 d、50 d、55 d 实割 100~150 穴,手工剪穗脱粒,在自然条件下晒干至含水率为 14%。之后测定稻谷实际产量、平均千粒质量等指标。

1.3.3 收获后稻米品质及其理化性状的测定

1.3.3.1 稻米品质的测定 水稻脱粒、晒干(含水量为 14%)后,参照 GB/T 17891-2017《优质稻谷》测定稻米的加工品质(糙米率、精米率、整精米率)、外观品质(垩白度、垩白粒率、透明度、精米长、精米宽及精米长宽比)、表观直链淀粉含量、蛋白质含量、胶稠度等。采用 Super3 型 RVA(快速黏度分析仪,产自澳大利亚 NewportScientific 公司)测定淀粉谱的黏滞特性,用 TWC 软件进行分析。用差式温度扫描仪(DSC)(METZSCH, 200-F3)测定淀粉的糊化特性,并用配套软件进行分析。

1.3.3.2 稻米食味品质的测定 用食味仪(STA/A, 产自日本佐竹公司)测定米饭的食味值、平衡性、黏度、硬度等指标。取 30 g 精米,加入 40 g 水,静置 30 min 后上锅蒸煮,30 min 后关闭电源焖 10 min,然后在风箱中风干 20 min,取出后静置 1.5 h,用米饭食味计测定相关指标。

1.3.3.3 稻米质构特性的测定 用质构仪(产自英国 Stable Micro Systems 公司)测定蒸煮后稻米的质构特性(硬度、弹性、黏性、平衡性等)。

1.4 数据处理

用 Excel 统计数据,用 SPSS 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度水稻产量及其构成因素的差异

由表 2 可以看出,不同成熟度水稻之间的产量及其构成因素表现出明显差异。随着水稻成熟度的增大,稻米产量表现出逐渐增加的趋势,处理 V 的产量最高,分别较处理 I、处理 II、处理 III、处理 IV 增加了 24.23%、16.04%、12.12%、4.99%。在产量构成因素上,不同成熟度水稻之间的 1 hm² 水稻穗数、每穗粒数无显著差异。结实率随着水稻成熟度的增大而提高,在前期变化较大,处理 I、处理 II、处理 III 之间均存在极显著差异($P < 0.01$),随后水稻结实率稳步提高,在处理 IV 和处理 V 之间无显著差异,与处理 I、处理 II、处理 III、处理 IV 相比,处理 V 的结实率分别提高了 13.67%、7.43%、3.79%、0.88%。千粒质量随着水稻成熟度的增大而逐渐升高,且不同处理之间均存在极显著差异($P < 0.01$),与处理 I、处理 II、处理 III、处理 IV 相比,处理 V 的千粒质量分别提高了 7.33%、6.28%、5.39%、2.67%。

表 2 不同成熟度水稻产量及其构成因素

Table 2 Yield and component factors of rice with different maturities

处理	1 hm ² 水稻穗数 ($\times 10^4$ 穗)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	产量 (t/hm ²)
I	336.57aA	137.29aA	74.41dD	23.32eE	8.01eD
II	336.42aA	137.65aA	78.73cC	23.55dD	8.58dC
III	336.27aA	136.52aA	81.49bB	23.75cC	8.86cC
IV	336.42aA	139.64aA	83.84aA	24.38bB	9.49bB
V	336.12aA	139.97aA	84.58aA	25.03aA	9.96aA

处理 I~处理 V 见表 1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

2.2 不同成熟度稻米加工品质的差异

由表 3 可以看出,随着水稻成熟度的提升,稻米糙米率、精米率、整精米率等加工品质整体上得到了明显改善,处理 I~处理 IV 的糙米率、精米率、整精米率均逐渐提高,处理 V 的精米率、整精米率略有下降,但是与处理 IV 之间的差异不显著。

2.3 不同成熟度稻米粒型与外观品质的差异

由表 4 可以看出,随着水稻成熟度上升,稻米粒长、粒宽、长宽比均表现出先逐渐增大而后稳定的趋势,其中粒长达到稳定的时间较粒宽早,在成熟度相对较低的处理 I、处理 II 间,粒长、粒宽、长宽比均呈显著差异($P < 0.05$)。稻米垩白粒率随水稻成熟度

的提高先下降后略有上升,处理Ⅳ最低,但处理Ⅳ与处理Ⅴ之间的差异不显著,处理Ⅳ分别较处理Ⅰ、处理Ⅱ、处理Ⅲ降低了 58.16%、38.26%、19.76%。稻米垩白度随着水稻成熟度的上升而逐渐下降,处理Ⅴ最低,分别较处理Ⅰ、处理Ⅱ、处理Ⅲ、处理Ⅳ降低了 72.67%、56.06%、23.55%、2.26%。

表 3 不同成熟度稻米的加工品质

Table 3 Processing qualities of rice with different maturities

处理	糙米率 (%)	精米率 (%)	整精米率 (%)
I	82.05cC	63.19cB	31.46cB
II	82.35cC	66.35bAB	62.54bA
III	83.03bB	67.58abA	65.01abA
IV	83.78aA	69.04aA	65.79aA
V	83.88aA	68.11abA	64.99abA

处理Ⅰ~处理Ⅴ见表1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

表 4 不同成熟度稻米的粒型与外观品质指标

Table 4 Grain type and appearance qualities of rice with different maturities

处理	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	长宽比	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)
I	3.55bB	2.38cB	1.49bB	65.03aA	28.50aA
II	4.35aA	2.67bA	1.63aA	44.07bB	17.73bB
III	4.42aA	2.71aA	1.63aA	33.91cC	10.19cC
IV	4.33aA	2.69abA	1.61aA	27.21dD	7.97dD
V	4.38aA	2.70abA	1.62aA	28.12dD	7.79dD

处理Ⅰ~处理Ⅴ见表1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

2.4 不同成熟度稻米蛋白质及其组分含量的差异

由表 5 可以看出,稻米的总蛋白质含量随着成熟度的上升而逐渐降低,与处理Ⅰ相比,处理Ⅱ、处理Ⅲ、处理Ⅳ、处理Ⅴ的总蛋白质含量分别降低了 2.66%、7.16%、8.78%、11.09%。处理Ⅰ~处理Ⅲ的稻米清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白等 4 种蛋白质含量均随着水稻成熟度的上升而下降,球蛋白、谷蛋白含量在部分处理间有显著差异 ($P<0.05$),处理Ⅳ的 4 种蛋白质含量的变化趋势发生变化,其中清蛋白含量继续下降,处理Ⅳ与处理Ⅴ间差异显著,谷蛋白含量的变化趋势与清蛋白含量的变化趋势相反,这 2 种蛋白质含量在处理Ⅲ与处理Ⅳ间的差异均不显著,球蛋白、醇溶蛋白含量的变化趋势相同,均随着水稻成熟度的提高先下降后上升再下降,在部分处理间存在极显著或显著差异。

表 5 不同成熟度稻米蛋白质及其组分含量

Table 5 Contents of protein and its components in rice with different maturities

处理	总蛋白质含量 (%)	清蛋白含量 (%)	球蛋白含量 (%)	醇溶蛋白含量 (%)	谷蛋白含量 (%)
I	8.66aA	0.87aA	1.21aAB	1.84aAB	3.74aA
II	8.43aA	0.85aA	1.17bBC	1.79bB	3.63bB
III	8.04bB	0.75bB	1.13cC	1.78bB	3.58cB
IV	7.90bcBC	0.71bBC	1.24aA	1.86aA	3.59cB
V	7.70cC	0.66cC	1.18bBC	1.37cC	3.60bcB

处理Ⅰ~处理Ⅴ见表1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

2.5 不同成熟度稻米淀粉组成及其糊化特性的差异

由表 6 可以看出,随着水稻成熟度的提升,稻米的总淀粉含量略有升高,但在大部分处理间无显著差异;表观直链淀粉含量随着水稻成熟度的提升而逐渐升高,在处理Ⅰ与处理Ⅴ之间存在极显著差异 ($P<0.01$)。

表 6 不同成熟度稻米总淀粉及表观直链淀粉含量

Table 6 Contents of total starch and apparent amylose in rice with different maturities

处理	总淀粉含量 (%)	表观直链淀粉含量 (%)
I	77.32bA	9.27bB
II	77.51abA	9.30bB
III	77.87abA	9.49abAB
IV	78.24abA	9.63aAB
V	78.29aA	9.69aA

处理Ⅰ~处理Ⅴ见表1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

由表 7 可以看出,稻米粉的峰值黏度、热浆黏度、最终黏度均随着水稻成熟度的提升而增加,处理Ⅴ达到最大值,稻米粉的峰值黏度、热浆黏度、最终黏度分别比处理Ⅳ、处理Ⅲ、处理Ⅱ和处理Ⅰ高 5.27%、8.53%、15.75%、19.44%、4.74%、8.44%、14.29%、16.96%和 3.67%、6.67%、11.52%、13.61%。崩解值和消减值的绝对值均随着水稻成熟度的提升而逐渐升高,且不同处理间均存在显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$) 差异,处理Ⅴ的崩解值和消减值的绝对值最大,分别较处理Ⅳ、处理Ⅲ、处理Ⅱ、处理Ⅰ提高了 5.94%、8.64%、17.62%、22.69% 和 12.83%、17.36%、38.45%、53.47%。不同成熟度稻米之间回复值的变异程度相对较小,同样处理Ⅴ达到最大值。

表 7 不同成熟度稻米的淀粉谱黏滞特性

Table 7 Starch riscosity characteristics of rice with different maturities

处理	峰值黏度 (mPa·s)	热浆黏度 (mPa·s)	最终黏度 (mPa·s)	崩解值 (mPa·s)	消减值 (mPa·s)	回复值 (mPa·s)
I	2 039.00eE	1 157.67eD	1 741.00eE	881.33eD	-298.00eD	583.33dB
II	2 104.00dD	1 184.67dD	1 773.67dD	919.33dC	-330.33dC	589.00cdB
III	2 244.00cC	1 248.67cC	1 854.33cC	995.33cB	-389.67cC	605.67bcAB
IV	2 313.33bB	1 292.67bB	1 908.00bB	1 020.67bB	-405.33bB	615.33abA
V	2 435.33aA	1 354.00aA	1 978.00aA	1 081.33aA	-457.33aA	624.00aA

处理 I ~ 处理 V 见表 1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

由表 8 可以看出, 稻米淀粉的峰值温度随着稻米成熟度的升高呈“V”形变化趋势, 在处理 IV 处降至最低值, 在多个处理之间存在极显著差异 ($P<0.01$)。稻米淀粉的起始糊化温度同峰值温度的变化趋势一致, 在处理 I 与处理 V 之间存在极显著差异 ($P<0.01$)。稻米淀粉的最终糊化温度随稻米成熟度的提升表现出“升→降→升”的趋势, 处理 IV 较处理 III 极显著下降, 处理 V 较处理 IV 极显著上升, 且处理 III、处理 IV 和处理 V 之间均存在极显著差异 ($P<0.01$)。稻米淀粉的焓值先随着稻米成熟度的提升而逐渐上升, 处理 IV 的成熟度达最大值, 而后下降。

表 8 不同成熟度稻米的淀粉糊化特性

Table 8 Starch gelatinization characteristics of rice with different maturities

处理	峰值温度 (℃)	起始糊化温度 (℃)	最终糊化温度 (℃)	焓值 (J/g)
I	66.67aA	59.57aA	74.27bBC	10.16eD
II	66.00bB	59.07bAB	74.30bBC	11.18dC
III	65.60cBC	58.80bcB	74.57bB	11.50bB
IV	64.80dD	58.00dC	73.70cC	11.62aA
V	65.30cC	58.40cdBC	75.23aA	11.39cB

处理 I ~ 处理 V 见表 1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

2.6 不同成熟度稻米食味品质的差异

由表 9 可以看出, 随着稻米成熟度的提升, 稻米的食味得到明显改善, 由于食味计与质构仪的测定原理不同, 因此所测值的变化趋势可能产生差异。从食味计所测数据来看, 随着稻米成熟度的上升, 稻米硬度先升高后降低, 在处理 II 时达最大值, 但在不同处理间差异不显著; 稻米的外观值、黏度和平衡度均随稻米成熟度的提升而逐渐上升; 随着稻米成熟度的提升, 稻米的食味值逐渐提高, 可见稻米的食味品质得到了明显改善。

从表 10 的质构仪测定的数据可以看出, 随着稻米成熟度的提升, 稻米硬度表现出先上升后下降的趋势, 在处理 IV 时达最大值, 处理 IV 和处理 V 之间的差异不显著, 但处理 IV、处理 V 与处理 I、处理 II、处理 III 之间呈极显著差异 ($P<0.01$)。随着稻米成熟度的提升, 稻米的黏度先逐渐增大, 在处理 V 时下降, 处理 IV 和处理 V 之间差异不显著。随着稻米成熟度的提升, 稻米弹性整体表现出上升的趋势, 但不同处理间的差异不显著。结合食味仪测定的数据和质构仪测定的数据可知, 随着稻米成熟度的上升, 米饭硬度虽略有上升, 但黏度、外观值、黏性及弹性均得到提升, 其平衡度较高, 从而综合改善了稻米的食味品质。

表 9 不同成熟度稻米的食味品质 (用食味仪测定)

Table 9 Eating quality of rice with different maturities

处理	食味值	外观值	硬度	黏度	平衡度
I	64bC	5.68dC	6.82aA	5.92dC	5.65bB
II	65bC	5.72dC	6.87aA	6.03cdC	5.73bB
III	66abBC	5.93cC	6.68aA	6.10cC	5.92bAB
IV	68abAB	6.35bB	6.58aA	6.55bB	6.37bAB
V	71aA	6.73aA	6.56aA	7.00aA	6.73aA

处理 I ~ 处理 V 见表 1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

表 10 不同成熟度稻米的质构特性 (用质构仪测定)

Table 10 Texture characteristics of rice with different maturities

处理	硬度 (g)	黏度 (g)	弹性 (%)	平衡度
I	121.83cC	-1 427.20aA	0.49aA	-0.29aA
II	128.75bB	-1 472.39bB	0.50aA	-0.30aAB
III	130.37bB	-1 479.96bBC	0.49aA	-0.32abABC
IV	137.23aA	-1 516.61cC	0.50aA	-0.32bBC
V	134.78aA	-1 495.96bcBC	0.51aA	-0.33bC

处理 I ~ 处理 V 见表 1。同一列数据后标有不同小写、大写字母的分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。

3 讨论

3.1 不同成熟度水稻之间的产量差异

水稻收获时的成熟度与产量密切相关,前人研究发现,当水稻成熟度较低时,水稻产量明显下降,主要原因是籽粒充实度较差,以致产量构成要素中的结实率、千粒质量偏低^[2],而随着水稻成熟度的提高,水稻结实率、千粒质量稳步提高,产量逐渐增加并趋于稳定^[3]。本研究结果与上述结果相近,发现随着水稻成熟度的提高,结实率、千粒质量、产量均逐步提高,在抽穗后 55 d,上述各项指标值最高,即水稻成熟度为 95.56% (抽穗后 55 d) 时为最佳收获期。结实率、千粒质量与强、弱势粒灌浆程度具有较大关系,强势粒灌浆早、速度快,充实度较好,粒质量相对较高,而弱势粒灌浆迟、速度慢,充实度较差,粒质量较低,严重限制了水稻产量、稻米品质的提升^[8]。本试验自水稻抽穗后 35 d 开始测定稻米的成熟度,此时部分强势粒已经完成充实,而弱势粒仍处于快速灌浆期,籽粒充实度不足,从而制约了结实率、千粒质量的提高,导致水稻产量下降。随着灌浆时间的延长,水稻弱势粒的充实度逐步提高,水稻产量得以提升,但若不及时收获,会使水稻成熟度过高,容易造成籽粒脱落,或者由于稻谷营养物质的倒流而降低籽粒千粒质量,使水稻产量下降^[13]。此外,当水稻成熟度较高时,籽粒含水量较低,其透水性较好,遇连续高温阴雨天气容易快速吸水膨胀,引起水稻穗部发芽^[14],从而影响水稻产量^[15]。

3.2 不同成熟度稻米之间的品质差异

稻米品质的优劣一般从加工、外观、蒸煮与食味、营养及卫生品质等方面进行评定。本研究结果表明,随着稻米成熟度的上升,稻米的糙米率、精米率、整精米率整体上逐渐提高,垩白粒率、垩白度整体表现为降低趋势,垩白度在成熟度为 93.28% (穗后 50 d) 时最佳。前人研究发现,籽粒形成和灌浆过程中同化物的输入要横向经过背部突起的珠心组织进入胚乳,然后由胚乳传递到各处^[16],此外粒长先于粒宽稳定,粒型最后确定^[17]。本研究结果表明,随着稻米成熟度的上升,粒长、粒宽和长宽比整体上均逐渐提高并趋于稳定,当粒长稳定时,粒宽还在显著提高。而已有研究表明,粒长与稻米加工品质呈负相关^[18]。长宽比较大时,有利于籽粒中同化物的输入,可以减少垩白的发生^[19],这就在一

定程度上改善了稻米的加工品质和外观品质。同时随着灌浆的进行,胚乳细胞内的淀粉粒不断膨大,淀粉粒和淀粉体之间相互挤压,最终使整个胚乳结构变得致密,籽粒的充实度提高,减少了垩白的发生,提高了糙米率、精米率和整精米率^[5,20]。但是如果水稻的成熟度过高,一方面昼夜温差相对较大时,籽粒易反复吸水、失水(晚上吸水,白天迅速失水),从而增加了胚乳中单个小淀粉颗粒的数量,使淀粉颗粒之间排列疏松,整精米率降低,而垩白度、垩白粒率提高,稻米的加工品质、外观品质下降^[12]。另一方面,籽粒含水量较低时会增大淀粉粒的空腔,从而降低稻米的透明度^[21],并且加工时容易造成籽粒断裂,使得稻米的加工品质、外观品质下降。

食味品质指标包括米饭的外观、气味、硬度、黏度等,其受淀粉与蛋白质综合效应的影响^[22-24]。一般认为,直链淀粉、蛋白质会阻碍淀粉粒吸水、膨胀及糊化,与食味呈负相关,而支链淀粉与其相反^[25-26]。但近年来的研究发现,长直链淀粉是直链淀粉限制淀粉膨胀的主要因素,其能够参与更多的团簇并与支链淀粉结合,维持淀粉颗粒的完整性,降低峰值黏度和崩解值^[27]。支链淀粉中的长链易形成双螺旋结构或与脂、蛋白质等形成复合物,从而增强分子间的作用力,增加糊化温度,使淀粉溶胀力和水溶性下降,使起始糊化温度(T_o)、峰值温度(T_p)、最终糊化温度(T_c)升高,使峰值黏度和崩解值降低;而支链淀粉中的短链不能最大程度地堆积到晶体片层中去,晶体化顺序较差,表现与长链相反^[28-31]。稻米胚乳蛋白质中主要是醇溶蛋白质和谷蛋白^[32],它们会阻碍淀粉网眼状结构的发展^[33],从而影响淀粉对水分的吸收,导致淀粉糊化膨胀不完全^[34]、峰值黏度和崩解值下降^[35],因此醇溶蛋白、谷蛋白含量与稻米食味呈负相关^[36-37],其中又以醇溶蛋白的负效应最大。本研究结果表明,随着稻米成熟度的上升(82.30%~91.73%),表观直链淀粉含量略有上升,总蛋白质、醇溶蛋白和谷蛋白含量下降,淀粉的理化特性得到改善,峰值黏度、崩解值、黏度、弹性上升,稻米的食味提高。当稻米成熟度为 93.28% 时,表观直链淀粉、总蛋白质、谷蛋白含量趋于稳定,而醇溶蛋白含量显著上升, T_o 、 T_p 、 T_c 显著下降;当稻米成熟度为 95.56% 时,醇溶蛋白含量显著下降,而 T_o 、 T_p 、 T_c 显著上升,但稻米的食味值上升。从本研究结果可以看出,成熟度可能主要

影响了淀粉结构和蛋白质组分,并且在稻米达到一定成熟度(93.28%)之前,可能受淀粉结构的影响较大,之后受蛋白质组分含量(主要是醇溶蛋白)的影响较大,因而稻米的食味品质得到了提升。

4 结论

综上所述,稻米的成熟度过高或过低会降低水稻的产量和品质,不适宜进行收获。本研究结果表明,在产量方面,成熟度主要影响水稻的结实率、千粒质量。随着水稻成熟度的上升,水稻的结实率、千粒质量显著增加,并且当水稻成熟度为95.56%时达到最高值。在加工品质和外观品质方面,随着水稻成熟度的上升,稻米糙米率、精米率和整精米率整体上逐渐升高,垩白度、垩白粒率逐渐降低,当水稻成熟度为93.28%时,稻米的部分外观品质和加工品质最佳,但与成熟度为95.56%时相比差异不显著。在食味品质方面,随着水稻成熟度的上升,稻米黏度和弹性整体上升,食味值显著提高,在稻米成熟度为95.56%时部分数值最大。关于稻米食味品质改变的原因,本研究发现,不同成熟度稻米之间表观直链淀粉含量的差异较小,蛋白质及其组分差异较大,可见成熟度可能主要通过改变淀粉结构和蛋白质组分来影响稻米的食味品质。综合水稻产量和稻米品质来看,水稻成熟度为93.28%~95.56%(穗后50~55 d)时为江苏稻区优良食味粳稻品种南粳9108的最佳收获期。

参考文献:

- [1] 邹建峰. “国内最好吃的大米”是怎样育成的[N]. 新华日报, 2020-01-20(10).
- [2] 王丽妍, 杨成林. 不同收获期对寒地水稻产量和品质的影响[J]. 北方水稻, 2018, 48(2): 4-6, 11.
- [3] 萧长亮, 王安东, 王士强, 等. 不同收获期对寒地水稻产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2018, 2(12): 7-10.
- [4] 朱庆森, 曹显祖, 骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988, 14(3): 182-192.
- [5] 邵小龙, 时小转, 周立鸣. 不同收获期粳稻品质的变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 11-15, 20.
- [6] 徐兴凤, 钟业俊, 夏文, 等. 不同采收期籼米外观与米饭食味品质的相关性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 147-150.
- [7] 刘兵, 汪楠, 邵小龙, 等. 不同收获期对两种粳稻综合品质的影响分析[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 107-115.
- [8] 杨建昌. 水稻弱势粒灌浆机理与调控途径[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2011-2019.
- [9] 蒋琪, 王强盛, 田晓雅, 等. 不同大穗型水稻强弱势粒灌浆特性及其氮素效应[C]//中国作物学会. 2014年中国作物学会学术年会论文集. 南京: 中国作物学会, 2014: 132.
- [10] 窦志. 灌浆期开放式增温对水稻籽粒灌浆和品质的影响及氮素粒肥的调控效应[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [11] WANG L, DENG F, REN W J. Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period[J]. Field Crops Research, 2015, 180: 54-62.
- [12] 杜志敏, 杨宇尘, 夏原野, 等. 收获期对北方杂交粳稻和常规粳稻品质的影响[J]. 作物杂志, 2018(1): 147-151.
- [13] 成臣, 雷凯, 王盛亮, 等. 不同断水及收获期对南方优质晚粳稻产量和品质的影响[J]. 作物研究, 2020, 34(1): 1-7.
- [14] 张会杰, 翟荣荣, 叶胜海, 等. 水稻穗发芽及其调控机制研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(12): 4106-4111.
- [15] ZHANG C Q, ZHOU L H, LU Y, et al. Changes in the physicochemical properties and starch structures of rice grains upon pre-harvest sprouting[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 234: 115893.
- [16] 郭文善, 王蔚华, 朱新开, 等. 小麦籽粒胚乳细胞发育规律及其调控[C]//中国作物学会. 全国青年作物栽培, 作物生理学术讨论会. 北京: 中国作物学会, 2003.
- [17] 李栋梁, 李小刚, 顾蕴洁, 等. 不同类型水稻品种胚乳发育的研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(19): 3757-3768.
- [18] 徐正进, 陈温福, 马殿荣, 等. 稻谷粒形与稻米主要品质性状的关系[J]. 作物学报, 2004, 30(9): 894-900.
- [19] 肖丹丹, 李军, 邓先亮, 等. 不同品种稻米品质形成对盐胁迫的响应[J]. 核农学报, 2020, 34(8): 1840-1847.
- [20] 杨福, 宋惠, 崔喜艳, 等. 不同垩白度粳稻胚乳淀粉体发育的扫描电镜观察[J]. 作物学报, 2004, 30(4): 406-408, 410.
- [21] ZHANG L, ZHAO L L, ZHANG J, et al. Relationships between transparency, amylose content, starch cavity, and moisture of brown rice kernels[J]. Journal of Cereal Science, 2019, 90: 102854.
- [22] 于梅梅, 陶权丹, 华杰, 等. 香软米水稻的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(10): 11-15.
- [23] 秦钢, 夏秀忠, 粟学俊, 等. 重组自交系稻米品质性状的相关性分析及QTL定位[J]. 南方农业学报, 2019, 50(4): 703-709.
- [24] 陈涛, 张亚东, 赵庆勇, 等. 优良食味抗病高产晚粳稻新品种南粳3908的选育和栽培技术[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(19): 72-74.
- [25] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论: 南方本[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 31-32.
- [26] 卢毅, 路兴花, 张青峰, 等. 稻米直链淀粉与米饭物性及食味品质的关联特征研究[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 219-223.
- [27] TAO K Y, LI C, YU W W, et al. How amylose molecular fine structure of rice starch affects functional properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 204: 24-31.
- [28] LI H Y, PRAKASH S, NICHOLSON T M, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 702-791.

- [29] HE X P, ZHU C L, LIU L L, et al. Difference of amylopectin structure among rice varieties differing in grain quality and its correlations with starch physicochemical properties [J]. *Acta Agonomica Sinica*, 2010, 36(2): 702-711.
- [30] 范名宇, 王晓菁, 王旭虹, 等. 稻米支链淀粉结构的研究进展 [J]. *中国水稻科学*, 2017, 31(2): 124-132.
- [31] 周慧颖, 彭小松, 欧阳林娟, 等. 支链淀粉结构对稻米淀粉糊化特性的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(8): 25-30, 36.
- [32] VILLAREAL C P, JULIANO B O. Waxy gene factor and residual protein of rice starch granules [J]. *Starch*, 1986, 38: 118-123.
- [33] BAXTER G, BLANCHARD C, ZHAO J. Effects of prolamin on the textural and pasting properties of rice flour and starch [J]. *Journal of Cereal Science*, 2004, 40(3): 205-211.
- [34] 谢新华, 李晓方, 肖 昕, 等. 醇溶蛋白对大米淀粉粘滞性和质构性的影响 [J]. *农业机械学报*, 2007(9): 196-198, 191.
- [35] 张 欣, 施利利, 丁得亮, 等. 稻米蛋白质相关性状与 RVA 特征谱及食味品质的关系 [J]. *食品科技*, 2014, 39(10): 188-191.
- [36] 吴洪凯, 刘世家, 江 玲, 等. 稻米蛋白组分及总蛋白含量与淀粉 RVA 谱特征值的关系 [J]. *中国水稻科学*, 2009, 23(4): 421-426.
- [37] 陈凤莲, 贺殷媛, 管哲贤, 等. 基于组成成分和米饭质构性状的东北粳稻聚类分析 [J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(7): 1-7.

(责任编辑: 徐 艳)