

刘红江,倪新华,郭 智,等.收获前断水天数对优良食味水稻稻米品质的影响[J].江苏农业学报,2023,39(2):352-359.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.02.007

收获前断水天数对优良食味水稻稻米品质的影响

刘红江¹, 倪新华², 郭 智¹, 张丽萍¹, 周 炜¹, 盛 婧¹, 陈留根¹, 张岳芳¹

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部长江下游平原农业环境重点实验室,江苏 南京 210014; 2.江苏省扬中市油坊镇农业服务中心,江苏 镇江 212218)

摘要: 以优良食味水稻品种南粳 2728 为试验材料,于 2019 年和 2020 年通过大田小区试验研究了水稻收获前不同断水天数对稻米品质的影响,设置离收获前 27 d (W1)、22 d (W2)、17 d (W3)、12 d (W4) 和 7 d (W5) 断水 5 个处理。结果表明:提早断水显著降低了水稻收获时稻田土壤、水稻籽粒和植株含水率;提早断水显著降低了水稻产量,其原因是水稻每穗粒数、结实率和千粒质量均明显降低。W4 和 W5 处理水稻产量均较高,且两者差异不大;W4 和 W5 处理同时提高了稻谷整精米率、精米率、糙米率等加工品质。断水天数对米粒大小的影响不大,但适当推迟断水有利于减少稻米垩白。W4 处理稻米直链淀粉含量及蛋白质含量均最低,而胶稠度最长,稻米品质较优,稻米 RVA 谱特征值相关指标以 W4 处理相对较优,体现稻米食味品质总体特性的综合食味值也以 W4 处理为最高。综上所述,W4 和 W5 处理水稻产量均较高,但 W4 处理稻米品质略优于 W5 处理,因此在水稻收获前应当注意适时断水,不宜过早或过晚。此外,年度间稻米品质的差异不大。

关键词: 优良食味; 水稻; 收获前断水天数; 产量; 稻米品质

中图分类号: S511.07 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)02-0352-08

Effect of water cut off days before harvest on rice quality of good taste rice

LIU Hong-jiang¹, NI Xin-hua², GUO Zhi¹, ZHANG Li-ping¹, ZHOU Wei¹, SHENG Jing¹, CHEN Liu-gen¹, ZHANG Yue-fang¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Agro-environment in Downstream of Yangtze Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 2. Agricultural Service Center of Youfang Town, Yangzhong City, Zhenjiang 212218, China)

Abstract: A field experiment was conducted to explore the effects of water cut off days before harvest on rice quality of good taste rice in 2019 and 2020. Five treatments of water cut off 27 d (W1), 22 d (W2), 17 d (W3), 12 d (W4), and 7 d (W5) before harvest were set up in this study. The rice cultivar Nanjing 2728 was chosen. The results showed that early water cut-off significantly reduced the moisture content of paddy soil, rice grain and plant at rice harvest. Early water cut-off significantly decreased rice yield, which was due to the significant decrease of grains number per panicle, seed setting rate, and 1 000-grain weight. The rice yield under W4 and W5 treatment was higher, and there was no significant difference between them. W4 and W5 treatments improved the processing quality of rice, such as perfect head rice rate, head rice rate and brown rice rate. Water cut-off days before harvest had little effect on rice size. However, delaying water cut-off appropriately was

beneficial to reduce chalkiness of rice. Rice under W4 treatment had the lowest amylose content and protein content, the longest gel consistency and the best quality. The results showed that the relative indices of RVA starch profile were better in the treatment of W4. The comprehensive taste value reflecting the taste quality characteristics of

收稿日期:2022-05-09

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(20)2002]

作者简介:刘红江(1979-),男,江苏建湖人,博士,副研究员,主要从事农业生态和稻麦栽培生理生态研究。(E-mail) Liuhongjiang2004@sohu.com

通讯作者:张岳芳,(E-mail) zhangyuefang@china.com.cn

rice was also the highest in the treatment of W4. All of the above, the yield of rice was higher in the treatments of W4 and W5, but rice quality of W4 treatment was slightly better than that of W5 treatment. Therefore, we should pay attention to timely water cut-off before rice harvest. In addition, there was little difference in rice quality between the years.

Key words: good taste; rice; water cut off days before harvest; yield; rice quality

中国半数以上人口以稻米为主食,凸现了水稻作为中国第一大粮食作物的地位^[1]。近几十年来,由于种植条件的改善和稻作新技术的应用,水稻单产不断提高,对保障中国粮食有效供应发挥了积极作用^[2]。伴随社会经济发展和百姓生活水平提高,人们对优质稻米的消费需求愈发强烈。近年来,中国育成了一大批优质水稻品种,有力促进了稻米品质的整体提升^[3]。稻米品质主要由水稻品种自身遗传因素决定,但调节栽培措施也能对米质的改善发挥重要影响^[4]。关于栽培措施对稻米品质影响的研究主要集中在以下几方面:首先,从栽种方式看,钵苗机插较机械直播和毯苗机插能够明显改善稻米品质^[5-6]。其次,水稻生产应尽量适期播种,过早或过晚播种均会使稻米的食味值降低^[7-8]。但栽插基本苗数对米质的影响不明显^[9-10]。此外,随着施氮量的增加稻米直链淀粉含量有下降的趋势,有利于提升稻米品质^[11-12]。将稻季氮肥后移,增加穗肥氮的比例,往往能提升稻米的加工品质,但其外观品质和蒸煮食味品质趋于变劣,特别是其蛋白质含量明显增加,影响了稻米的食味值及口感^[13-14]。另外,增施硅镁锌等中微量元素肥料能够明显改善稻米品质^[15]。

前人就水稻季不同灌溉方式对稻米品质影响的研究,已有较多报道^[16-18]。由于种植习惯,以及晒场和烘干设备配套不健全,为了使稻谷尽量在收割离田前具有较低的含水率,以便尽量减少晒干或烘干稻谷所需投入的人力和燃料成本,农民往往会在水稻生育后期对稻田提早断水。目前为止,水稻收获前不同断水天数对米质影响的研究未见报道。为此本团队于2019年和2020年在江苏省扬中市油坊镇江苏紫江生态农业有限公司试验田,设置离收获前27 d、22 d、17 d、12 d、7 d开始排水落干5个处理,研究断水天数对优良食味粳稻稻米品质的影响,以期能够明确适宜的水稻收获前断水天数,为保证稻米品质优良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2019年和2020年在江苏省扬中市油坊

镇振华村江苏紫江生态农业有限公司试验田(32°09'N,119°51'E)进行,试验点地处北亚热带季风温和湿润气候。水稻生育期间(6-10月)当地常年总降雨量约720 mm,大于等于10℃总积温约2 100℃,总日照时数约960 h,累积太阳辐射量约2 700 MJ/m²,轮作制度为小麦与水稻。土壤质地为黄砂土,主要理化性状:全氮含量1.35 g/kg,总磷含量0.47 g/kg,速效氮含量41.72 mg/kg,速效磷含量34.73 mg/kg,速效钾含量112.87 mg/kg,有机质含量19.09 g/kg,容质量1.26 g/cm³,pH 6.83。

1.2 试验处理

选择长势基本一致的田块,所有田块都开好丰产沟。以供试水稻品种常年在试验地区的生育期天数为基准,并结合田间苗期调查,倒推水稻的成熟日期。设置5个收获前不同断水天数处理,分别是离收获前27 d(W1)、22 d(W2)、17 d(W3)、12 d(W4)、7 d(W5)开始田间排水,自然落干,直至水稻收获。各田块排水口都处于打开状态,遇到下雨天气,能够及时排除田间积水。5个处理,重复3次,共15个小区,各小区面积666.67 m²。

所有处理化学氮、磷、钾肥施用量一致,分别为270 kg/hm²、75 kg/hm²、135 kg/hm²,氮肥运筹按基肥40%、分蘖肥30%、穗肥30%,磷肥100%基施,钾肥50%基施、50%作穗肥。试验肥料:常用复合肥(N、P₂O₅、K₂O含量均为15%),配以尿素(含N 46.3%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)和氯化钾(含K₂O 60%)补齐氮、磷、钾肥不足部分。2019年和2020年供试品种均为南粳2728,当年6月15日机插秧,行距0.30 m,株距0.12 m,3~4苗/穴,10月24日收获取样。田间灌水:移栽后至7月11日浅水间隙灌溉(水深3~5 cm),7月11日-8月5日2次排水烤田,8月5日至收获,依照试验设计进行干湿交替灌水。其他管理措施,执行当地水稻高产栽培技术规范。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 稻田土壤含水率 稻田土壤含水率用土壤水分测定仪(仪器型号为ML3,由北京易科泰生态技术有限公司生产)测定^[19]。测定位点为两行水稻

的中间位置。

1.3.2 水稻植株含水率 成熟期各小区调查 100 穴水稻植株穗数平均值。挑选并取样(植株 5 穴),随即带回实验室,将茎叶和稻穗拆分开,称得鲜质量,于 105 ℃ 烘箱杀青 0.5 h,再调至 80 ℃ 烘至恒质量,称量干物质量。水稻植株含水率(%)=(1-干物质量/鲜质量)×100%。

1.3.3 水稻产量及其构成因素 将上述 5 穴植株稻穗脱粒,用稀盐水溶液水漂法分离饱粒与空瘪粒,测算穗粒数和结实率,称量籽粒质量,计算水稻产量。

1.3.4 稻米品质 稻谷收获后,风干,置留 3 个月后砻谷、碾米,执行《优质稻谷 GB/T 17891-2017》标准,测定整精米率、精米率和糙米率。使用东孚久恒扫描仪测定稻米的长和宽、垩白面积、垩白粒率和垩白度,同时测定米粉的胶稠度。用大米食味计 SATAKE 实测稻米蛋白质及直链淀粉含量。

1.3.5 稻米淀粉黏滞特性 使用 RVA 黏度测定仪(Perten,瑞典)测定稻米淀粉黏滞特性,参照美国谷物化学家协会技术规程(AACC61-01 和 61-02)设置参数。仪器直接测得的数据有:峰值黏度(PV)、热浆黏度(TV)、最终黏度(FV)、糊化温度(PaT)和峰值时间(PeT)。计算崩解值(PV-TV)、消减值(FV-PV)、回复值(FV-TV)。

1.3.6 米饭食味值 称出 30.0 g 精米,以米:水(1.00:1.25,体积比)添加去离子水,常温浸泡 0.5 h,以日本品种原样作对照,以米饭食味计(STA 1A,佐竹-日本)检测米饭的外观值、硬度、黏度及综合食味值等。

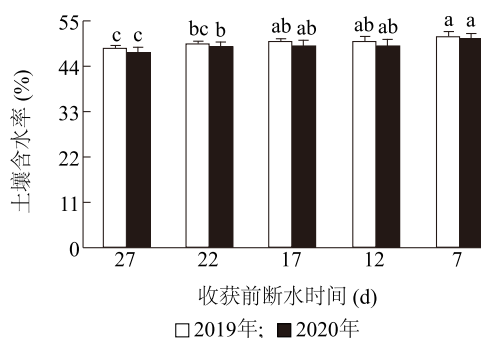
1.4 数据分析方法

用 Excel 作图,用 SPSS 13.0 进行处理间差异显著性统计,采用 LSD 法进行显著性检验,超过 $LSD_{0.05}$ (或 $LSD_{0.01}$) 水平的视作显著(或极显著)。

2 结果与分析

2.1 收获前不同断水天数对稻田土壤含水率的影响

由图 1 可知,2019 年和 2020 年的试验结果均表明,水稻收获前 7 d 断水的田块土壤含水率最高,随着收获前断水天数的增加,稻田土壤含水率表现为逐渐下降趋势,收获前 27 d 断水的田块土壤含水率较收获前 7 d 断水的田块平均降低了 6.34%,处理间的差异达到显著水平。2019 年水稻生育后期稻田土壤含水大于 2020 年,但年度间差异不显著。



同年数据比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

图 1 收获前不同断水时间对稻田土壤含水率的影响

Fig.1 Effect of water cut off days before harvest on the moisture content of paddy soil

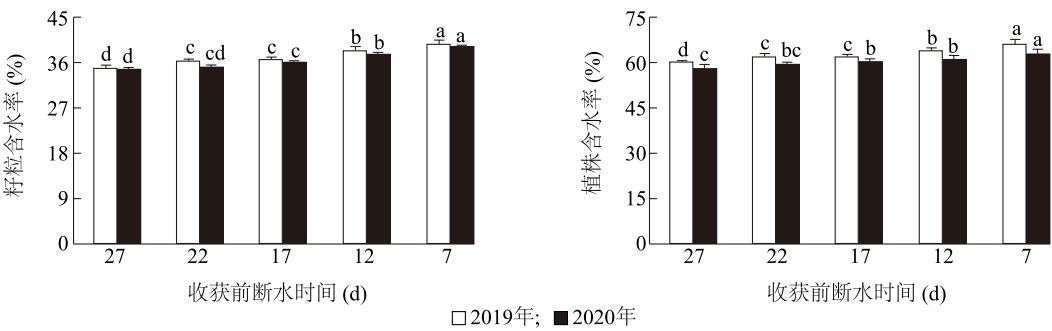
2.2 收获前不同断水天数对水稻籽粒和植株含水率的影响

由图 2 可知,2019 年和 2020 年,水稻收获前 7 d 断水处理水稻籽粒和植株含水率均为最高,随着收获前断水天数的增加,水稻籽粒和植株含水率均呈逐渐下降的变化趋势,收获前 27 d 断水处理水稻籽粒和植株含水率比收获前 7 d 断水处理平均分别降低了 13.81%和 9.07%,处理间的差异达显著水平。

2.3 收获前不同断水天数对水稻产量及其构成的影响

由表 1 可知,2019 年和 2020 年均均是水稻收获前 7 d 断水处理产量最高,分别为 9.43 t/hm²和 9.67 t/hm²,随着收获前断水天数的增加,水稻产量总体呈逐渐下降的变化趋势,收获前 27 d 断水处理水稻产量比收获前 7 d 断水处理平均降低了 7.23%,处理间的差异达到显著水平。其中,收获前 12 d 和 7 d 断水处理间水稻产量差异不明显。经过差异性比较分析,年度间水稻产量差异达到显著水平。

2019 年和 2020 年,不同处理单位面积穗数平均分别为 1 m² 326.3 个和 317.8 个,处理间的差异均不显著。水稻穗粒数、结实率和千粒质量均是收获前 7 d 断水处理最高,总体来看,随着收获前断水天数的增加,每穗粒数、结实率和千粒质量有逐渐降低的趋势,收获前 27 d 断水处理每穗粒数、结实率和千粒质量分别比收获前 7 d 断水处理平均降低了 2.86%、2.97%、1.34%,处理间的差异多达到显著水平。收获前 12 d 和 7 d 断水处理水稻每穗粒数、结实率和千粒质量差异均不显著。经显著性检验,年度间水稻单位面积穗数、结实率和千粒质量差异显著。



同年数据比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。
图 2 收获前不同断水时间对水稻籽粒和植株含水率的影响
Fig.2 Effect of water cut off days before harvest on the moisture content of grain and plant

表 1 收获前不同断水时间对水稻产量及其构成的影响
Table 1 Effect of water cut off days before harvest on yield and yield components of rice

年度	断水时间 (d)	穗数 (个,1 m ²)	每穗粒数 (粒)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	理论产量 (t/hm ²)
2019	27	327.5a	116.8b	88.5b	25.79c	8.73c
	22	326.7a	118.8ab	89.3b	25.86c	8.96bc
	17	320.0a	119.6ab	91.0a	26.06b	9.08b
	12	331.7a	118.9ab	91.0a	26.20a	9.40a
	7	325.8a	120.2a	91.7a	26.24a	9.43a
2020	27	315.8a	117.4b	91.2c	26.59a	8.99c
	22	318.3a	117.5b	92.6b	26.63a	9.23b
	17	319.2a	117.0b	92.8b	26.72a	9.26ab
	12	317.5a	120.0a	93.1ab	26.66a	9.46a
	7	318.3a	120.9a	93.5a	26.85a	9.67a

同列数据同年比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

2.4 收获前不同断水天数对稻米品质指标的影响

2.4.1 加工品质 由表 2 可知,2019 年和 2020 年,水稻收获前 7 d 断水处理稻谷整精米率、精米率和糙米率均表现为最高,随着收获前断水天数的增加,稻谷整精米率、精米率和糙米率呈现降低的趋势,收获前 27 d 断水处理稻谷整精米率、精米率和糙米率比收获前 7 d 断水处理依次平均下降 6.72%、4.64%、4.40%,处理间的差异达到显著水平。其中,收获前 12 d 和 7 d 断水处理稻谷整精米率、精米率和糙米率无显著差异。说明适当推迟断水可以提高稻谷的加工品质。不同处理稻米整精米率均达到优质稻谷国家二级标准^[20]。2020 年稻谷整精米率、精米率和糙米率高于 2019 年,经显著性检验,年度间差异均达到显著水平。

表 2 收获前不同断水时间对稻米加工品质的影响
Table 2 Effect of water cut off days before harvest on rice processing quality

年度	断水时间 (d)	整精米率 (%)	精米率 (%)	糙米率 (%)
2019	27	64.48c	66.95c	79.79c
	22	66.47b	70.26b	81.08b
	17	66.80b	70.52b	80.97b
	12	68.25a	72.83a	83.32a
	7	68.66a	72.90a	83.61a
2020	27	65.70d	71.30c	81.40d
	22	67.60c	72.20ab	82.80c
	17	68.80b	71.40c	83.40b
	12	70.20a	72.20ab	84.80a
	7	70.90a	72.90a	85.00a

同列数据同年比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

2.4.2 外观粒型品质 由表 3 可知,2019 年和 2020 年,不同断水天数下稻米整精米长、整精米宽和整精米长/宽比差异均不明显,说明水稻收获前断水天数对稻米大小的影响不大。2019 年和 2020 年,稻米垩白面积、垩白粒率和垩白度均是水稻收获前 7 d 断水处理最低,随着收获前断水天数的增加,稻米垩

白面积、垩白粒率和垩白度均呈逐渐增大的变化趋势,收获前 27 d 断水处理稻米垩白面积、垩白粒率和垩白度比收获前 7 d 断水处理平均分别增加了 11.73%、47.99%、64.66%,处理间的差异达到显著水平。说明适当推迟断水可以提高稻米的外观品质。

表 3 收获前不同断水时间对稻米外观粒型品质的影响

Table 3 Effect of water cut off days before harvest on appearance grain quality of rice

年度	断水时间 (d)	粒长 (mm)	粒宽 (mm)	长宽比	垩白面积 (%)	垩白粒率 (%)	垩白度 (%)
2019	27	4.52a	2.66a	1.71a	35.32a	22.53a	8.83a
	22	4.51a	2.66a	1.70a	35.04a	22.78a	8.86a
	17	4.48a	2.65a	1.70a	35.36a	20.07b	6.74b
	12	4.49a	2.64a	1.71a	33.25b	17.39c	5.80bc
	7	4.52a	2.65a	1.71a	31.57c	14.79d	5.30c
2020	27	4.69a	2.73a	1.71a	35.26a	21.29ab	8.46a
	22	4.69a	2.70a	1.74a	35.56a	21.65a	8.37a
	17	4.71a	2.70a	1.75a	34.71a	20.21b	6.66b
	12	4.72a	2.71a	1.74a	32.99b	17.45c	5.71c
	7	4.71a	2.71a	1.74a	31.60c	14.82d	5.20d

同列数据同年比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

2.4.3 蒸煮食味与营养品质 由表 4 可知,2019 年和 2020 年,不同处理稻米直链淀粉含量平均依次为 9.61%、9.33%,均以收获前 12 d 断水处理最低,收获前 22 d 断水处理最高,处理间的差异多达到显著水平;不同处理稻米胶稠度平均分别为 87.7 mm 和 86.2 mm,均以收获前 22 d 断水处理最短,收获前 12 d 断水处理最长,处理间的差异多达显著水平。2019 年和 2020 年不同处理稻米蛋白质含量平均依次为 8.32%、8.24%,均以收获前 12 d 和 17 d 断水处理较低,收获前 27 d 断水处理较高,处理间的差异多达显著水平。不同断水天数处理稻米直链淀粉含量都达到国家优质稻谷标准^[20]。说明收获前 12 d 断水处理稻米蒸煮食味与营养品质较优。年度间稻米蒸煮食味与营养品质差异显著。

2.4.4 RVA 谱特征值 由表 5 可知,2019 年和 2020 年,均以收获前 12 d 断水处理的峰值粘度最高,提前断水或推迟断水处理均不同程度降低了稻米峰值粘度、热浆粘度和最终粘度,不同处理间的差异多达到显著水平。2 个试验年度收获前 12 d 断水处理的崩解值均较高,且多显著大于其他处理。不同处理的消减值均为负值,收获前 12 d 断水处理的

表 4 收获前不同断水时间对稻米蒸煮食味品质及营养品质的影响

Table 4 Effect of water cut off days before harvest on cooking and eating quality and nutritional quality of rice

年度	断水时间 (d)	直链淀粉含量 (干基%)	胶稠度 (mm)	蛋白质含量 (%)
2019	27	9.58b	86.3bc	8.80a
	22	10.40a	84.3c	8.15b
	17	9.50b	89.0ab	8.00b
	12	8.70c	91.3a	8.00b
	7	9.88ab	87.7b	8.65a
2020	27	9.49b	85.7b	8.73a
	22	10.17a	83.1c	8.32b
	17	9.18b	86.4b	8.03c
	12	8.66c	89.7a	7.96c
	7	9.18b	86.1b	8.17bc

同列数据同年比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

消减值相对较小,提前断水或推迟断水处理多提高了稻米消减值,不同处理间的差异多达到显著水平。不同处理的回复值年度间差异较大,2019 年以推迟断水处理的回复值较大,2020 年以提早断水处理的回复值较大,不同处理间的差异多达到显著水平。

峰值时间是稻米达到峰值粘度需要的时间,值越小,表明淀粉粒的膨胀性和破坏性越好,2019 年收获前 12 d 断水处理的峰值时间最小,说明其糊化速度更快。不同处理的糊化温度差异不大,说明收获前断

水天数对稻米糊化温度影响不大。总体来看,收获前 12 d 断水稻米 RVA 谱特征值相对较优。年度间稻米 RVA 谱特征值差异多达到显著水平。

表 5 收获前不同断水时间对稻米 RVA 谱特征值的影响

Table 5 Effect of water cut off days before harvest on RVA starch profile of rice

年度	断水时间 (d)	峰值粘度 (cp)	热浆粘度 (cp)	最终粘度 (cp)	崩解值 (cp)	消减值 (cp)	回复值 (cp)	峰值时间 (min)	糊化温度 (℃)
2019	27	3 183.0b	1 503.2b	2 011.3b	1 679.8b	-1 171.7b	508.2bc	5.63b	72.8a
	22	3 222.0ab	1 537.7ab	2 075.5ab	1 684.3b	-1 146.5ab	537.8b	5.73a	73.2a
	17	3 307.5a	1 524.5ab	1 990.8b	1 783.0a	-1 316.7d	466.3c	5.53c	72.4a
	12	3 347.0a	1 574.7a	2 106.7a	1 772.3a	-1240.3c	532.0b	5.50c	72.8a
	7	3 148.0b	1 467.5c	2 060.5ab	1 680.5b	-1 087.5a	593.0a	5.67ab	73.2a
2020	27	3 218.4b	1 441.8b	2 050.0ab	1 776.6b	-1168.4a	608.2a	5.56b	73.3a
	22	3 231.4b	1 459.5b	2 069.9ab	1 771.9b	-1161.6a	610.3a	5.73a	72.9a
	17	3 225.3b	1 455.8b	2 049.6ab	1 769.4b	-1175.6a	593.8ab	5.52b	73.1a
	12	3 333.9a	1 528.3a	2 098.5a	1 805.6a	-1235.5b	570.1b	5.56b	72.5a
	7	3 256.4b	1 441.3b	2 014.3b	1 815.1a	-1242.0b	573.0b	5.67a	72.6a

同列数据同年比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

2.4.5 食味品质特性 由表 6 可知,2019 年和 2020 年,从外观和平衡度看,均是收获前 27 d 断水处理最低,收获前 12 d 断水处理最高,处理间的差异达到显著水平。除收获前 27 d 断水处理,不同处理米饭食味值均在 75 分以上,其中以收获前 12 d 断水处理为最高,并显著高于其他处理。综合食味值集

中体现了米饭质地,当米饭的黏度值较高,其硬度值则较低,稻米食味值就会较高。收获前 12 d 断水处理米饭黏度最高,收获前 27 d 断水处理米饭黏度最低,而米饭的硬度则与之相反。说明收获前 12 d 断水处理稻米食味品质较高,且显著优于其他处理。除食味值外,年度间稻米食味品质特性差异不大。

表 6 收获前不同断水时间对稻米食味值的影响

Table 6 Effect of water cut off days before harvest on eating value of rice

年度	断水时间 (d)	外观值	硬度	黏度	平衡度	食味值
2019	27	6.33c	6.77a	6.40c	6.17c	71.4c
	22	7.43ab	6.20bc	7.53b	7.37b	78.8b
	17	7.17b	6.40b	7.57b	7.17b	77.7b
	12	7.77a	6.13c	8.17a	7.80a	81.5a
	7	7.27b	6.33bc	7.57b	7.27b	78.1b
2020	27	6.42c	6.74a	6.40c	6.13c	72.7d
	22	7.54ab	6.23b	7.45b	7.34b	76.8c
	17	7.33b	6.35b	7.51b	7.14b	78.3bc
	12	7.64a	6.11b	8.22a	7.86a	82.2a
	7	7.26b	6.31b	7.56b	7.29b	78.7b

同列数据同年比较,不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

3 讨论

水是水稻生长发育的重要物质条件,对水稻的

种子萌发、根系生长、分蘖发生、干物质积累和产量形成等都具有重要影响^[21]。特别是水稻生育后期,土壤干旱会降低水稻叶片的光合速率,影响水稻的

干物质生产,但土壤干旱反而能促进水稻茎鞘存储的碳水化合物向籽粒转运,因此干旱胁迫对水稻产量的影响取决于两者的叠加效应^[22-23]。张自常等^[24]的研究结果表明,在中氮条件下,较低土壤含水率的重干湿交替处理会引起水稻生育后期早衰,影响水稻功能叶片的光合作用及干物质积累,最终限制了稻谷的灌浆充实,降低结实率和千粒质量,使水稻减产,但通过增加氮肥施用量,能够明显缓解由重干湿交替处理引起的干旱胁迫对水稻产量的不利影响。本研究结果表明,在收获前提早断水使水稻产量显著降低,主要原因是产量构成中的穗粒数、结实率和千粒质量都出现不同程度的下降。这可能与稻田提前断水,降低了稻田土壤含水率,使水稻植株含水率下降,影响了植株的生理活性,削弱了作为源的叶片光合作用,同时提高了籽粒中乙烯的浓度,从而抑制了籽粒中蔗糖-淀粉的代谢^[25],降低库强,抑制籽粒灌浆,影响了水稻产量^[26],前人的研究结果大致相同。因此在生产实践中,为了获得较高的水稻产量,后期不宜提前断水。就某一地区而言,如果在水稻灌浆期水资源相对不足,难以保障稻田后期灌溉用水,建议增加稻季的施氮量,特别是穗肥氮的施用量,缓解水稻后期的早衰压力,以利于提高水稻产量。

关于水稻灌浆结实期稻田水分管理对稻米品质的影响,前人的研究结果^[27-28]因水稻品种类型、肥料运筹、灌溉方式等的不同而异。刘凯等^[26]研究发现,灌浆结实期稻田轻度干旱胁迫比土壤干旱处理更有利于茎鞘干物质向籽粒的转运,促进籽粒的充实饱满,提高了水稻籽粒质量,改善了稻米品质。李国生等^[29]进一步研究发现,不同施氮量水平的土壤轻度落干使不同类型水稻品种稻米加工、外观和食味等品质指标均得到较大幅度提高,增加施氮量,能够补偿由于土壤重度落干造成稻米品质的变劣损失。周婵婵等^[30]的研究结果还表明,轻干湿交替灌溉能降低不同水稻品种稻米蛋白质含量,增加氨基酸总量,提高胶稠度,增加最高黏度、最终黏度及崩解值,同时显著降低消减值。此外,熊若愚等^[31]对籼稻品种的研究结果表明,间歇灌溉处理较持续淹水处理能有效提升稻米加工品质,同时降低稻米的消减值和蛋白质含量,并提高稻米胶稠度、热浆黏度与峰值黏度,使稻米蒸煮食味品质显著提升,在水资源高效利用的同时保证籼稻种植的优质高效。本研

究结果表明:实行收获前 12 d 和 7 d 断水都能提升稻米加工及外观品质;收获前 12 d 断水处理稻米直链淀粉和蛋白质含量相对最低,胶稠度最长,RVA 谱特征值相对较优,稻米综合食味值最高,稻米品质最好;年度间稻米品质的差异不大。其主要原因是水稻生长后期如果长期淹水或土壤干旱会导致与稻米食味值呈正相关的峰值黏度、热浆黏度、最终黏度和崩解值降等指标下降^[32-33],与稻米食味值有负相关的蛋白质含量、消减值和硬度等指标升高^[31,34],最终使米质变劣。因此,稻季合理灌水^[35-38],特别是水稻生育后期适期断水,避免稻田长期淹水或土壤重度落干,有利于稻米品质的改善。

4 结 论

本研究结果表明,较晚断水处理,即收获前 12 d 断水与收获前 7 d 断水处理水稻产量均较高,且两者差异不大,2 个处理稻谷加工品质和外观粒型品质也都较好。从反映稻米品质优劣的主要指标看,收获前 12 d 断水,稻米的直链淀粉和蛋白质含量最低,胶稠度较长,稻米品质较好。同时,从稻米 RVA 谱特征值和稻米食味品质分析,也是收获前 12 d 断水处理稻米品质相对较优。因此,在稻作生产实践中,建议将稻田断水时间控制在收获前 12 d 左右。关于收获前断水天数对不同水稻品种,以及对不同土壤类型种植水稻稻米品质的影响有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨晓龙,程建平,汪本福,等.灌浆期干旱胁迫对水稻生理性状和产量的影响[J].中国水稻科学,2021, 35(1): 38-46.
- [2] 罗锡文,廖娟,胡炼,等.提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J].农业工程学报,2016, 32(1): 1-11.
- [3] 林海,李婷婷,童汉华,等.我国水稻主栽品种演替分析[J].中国水稻科学,2018, 32(6): 567-571.
- [4] HAYASHI S, KAMOSHITA A, YAMAGISHI J, et al. Genotypic differences in grain yield of transplanted and direct-seeded rainfed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in northeastern Thailand[J]. Field Crops Research, 2007, 102(1): 9-21.
- [5] 邢志鹏,朱明,吴培,等.稻麦两熟制条件下钵苗机插方式对不同水稻品种米质的影响[J].作物学报,2017, 43(4): 581-595.
- [6] 郭保卫,朱大伟,朱聪聪,等.有序摆抛栽对粳型超级稻稻米品质的影响[J].作物学报,2015, 41(3): 487-498.
- [7] 赵庆勇,朱镇,张亚东,等.播期和地点对不同生态类型粳稻

- 稻米品质性状的影响[J].中国水稻科学,2013,27(3):297-304.
- [8] 杨晓娟,唐湘如,闻祥成,等.播种期对早季香稻香气形成、品质及产量的影响[J].华北农学报,2014,29(3):128-135.
- [9] 严凯,蒋玉兰,唐纪元,等.盐碱地条件下施氮量和栽插密度对水稻产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2018(2):67-74.
- [10] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等.施氮量和栽插密度对超高产水稻中早22产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(5):507-512.
- [11] 张庆,郭保卫,胡雅杰,等.不同氮肥水平下优质高产软米梗稻的产量和品质差异[J].中国水稻科学,2021,35(6):606-616.
- [12] 唐健,唐闯,郭保卫,等.氮肥施用量对机插优质晚稻产量和稻米品质的影响[J].作物学报,2020,46(1):117-130.
- [13] 陈梦云,李晓峰,程金秋,等.秸秆全量还田与氮肥运筹对机插优质食味水稻产量及品质的影响[J].作物学报,2017,43(12):1802-1816.
- [14] WOPEREIS P M M, WATANABE H, MOREIRA J, et al. Effect of late nitrogen application on rice yield, grain quality and profitability in the Senegal river valley[J]. European Journal of Agronomy, 2002, 17: 191-198.
- [15] 魏晓东,张亚东,宋雪梅,等.硅镁锌肥改善稻米品质的研究进展[J].江苏农业学报,2021,37(3):783-788.
- [16] 刘奇华,吴修,陈博聪,等.灌溉方式对黄淮稻区优质梗米品质的影响[J].应用生态学报,2014,25(9):2583-2590.
- [17] GRAHAM A S, SIEBENMORGEN T J, REBA M, et al. Impact of alternative irrigation practices on rice quality[J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(5): 1-9.
- [18] 张自常,李鸿伟,陈婷婷,等.畦沟灌溉和干湿交替灌溉对水稻产量与品质的影响[J].中国农业科学,2011,44(24):4988-4998.
- [19] 胡雅杰,钱海军,吴培,等.秸秆还田条件下氮磷钾用量对软米梗稻产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):817-824.
- [20] 唐瑞明,龙伶俐,朱之光,等.国家标准--优质稻谷:GB/T 17891-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [21] 魏永霞,侯景翔,吴昱,等.旱直播种植对水稻植株水分分布与抗倒伏特性的影响[J].农业机械学报,2019,50(2):227-241.
- [22] YANG J C, ZHANG J H, WANG Z Q, et al. Activities of enzymes involved in sucrose-to-starch metabolism in rice grains subjected to water stress during filling[J]. Field Crops Research, 2003, 81: 69-81.
- [23] 刘立军,薛亚光,孙小淋,等.水分管理方式对水稻产量和氮肥利用率的影响[J].中国水稻科学,2009,23(3):282-288.
- [24] 张自常,李鸿伟,曹转勤,等.施氮量和灌溉方式的交互作用对水稻产量和品质影响[J].作物学报,2013,39(1):84-92.
- [25] TAO H, BRUECK H, DITTERT K, et al. Growth and yield formation for rice (*Oryza sativa* L.) in the water-saving ground cover rice production system (GCRPS) [J]. Field Crops Research, 2006, 95: 1-12.
- [26] 刘凯,张耗,张慎凤,等.结实期土壤水分和灌溉方式对水稻产量与品质的影响及其生理原因[J].作物学报,2008,34(2):268-276.
- [27] LANNING S B, SIEBENMORGEN T J, AMBARDEKAR A A, et al. Effect of nighttime air temperature during kernel development of field-grown rice on physicochemical and functional properties [J]. Cereal Chemistry, 2012, 89(3): 168-175.
- [28] PAN S G, CAO C G, CAI M L, et al. Effects of irrigation regime and nitrogen management on grain yield, quality and water productivity in rice[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2009, 7(2):559-564.
- [29] 李国生,王志琴,袁莉民,等.结实期土壤水分和氮素营养对水稻产量和品质的交互影响[J].中国水稻科学,2008,22(2):161-166.
- [30] 周婵娟,黄元财,贾宝艳,等.施氮量和灌溉方式的交互作用对东北粳稻稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2019,33(4):357-367.
- [31] 熊若愚,解嘉鑫,谭雪明,等.不同灌溉方式对南方优质食味晚粳稻产量及品质的影响[J].中国农业科学,2021,54(7):1512-1524.
- [32] PANDEY A, KUMAR A, PANDEY D S, et al. Rice quality under water stress [J]. Indian Journal of Advances in Plant Research, 2014, 1(2): 23-26.
- [33] LIM S J, LEE S K, KIM D U, et al. Varietal variation of amylogram properties and its relationship with other eating quality characteristics in rice[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1995, 27(3): 268-275.
- [34] 王秋菊,李明贤,迟力勇,等.控水灌溉对水稻产量及品质的影响[J].东北农业大学学报,2009,40(10):5-8.
- [35] 邱峰,景元书.不同灌溉方式对稻田微气象特征及水稻生长的影响[J].江苏农业科学,2022,50(5):72-80.
- [36] 苗智英,邵光成,房凯,等.不同水炭处理对水稻抗倒伏能力及产量的影响[J].排灌机械工程学,2021,39(2):193-199.
- [37] 牛春芸,钱永德,汪秀志,等.播种量和苗后水分管理对寒地水稻秧苗素质的影响[J].江苏农业科学,2022,50(3):110-115.
- [38] 陈梦婷,杨琳,吴光星,等.考虑降雨有效利用的水稻灌溉模式的优化[J].排灌机械工程学,2021,39(8):832-837.

(责任编辑:张震林)