

# 基于季节性降雨的双季稻生育后期干湿交替灌溉对稻谷产量及品质的影响

刘萍<sup>1</sup> 邵彩虹<sup>2,3</sup> 张红林<sup>3</sup> 刘光荣<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 扬州市职业大学/江苏省农业安全生产与环境保护工程技术研究中心, 225009, 江苏扬州;

<sup>2</sup> 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 300200, 江西南昌; <sup>3</sup> 赣州市农业科学研究所, 341000, 江西赣州)

**摘 要** 为明确依靠季节性降雨实现干湿交替灌溉对双季稻生育后期的影响, 研究了双季稻齐穗后 0、7、14 和 21d (对照) 停止灌溉对叶绿素含量、干物质转化、产量及品质的影响。结果显示, 早稻灌浆期降雨多且雨量大, 齐穗后早停止灌溉延长干湿交替灌溉时间, 可显著提高叶片、茎秆干物质转化、穗粒数和结实率, 叶绿素含量降低, 无效分蘖成穗减少; 与对照相比, 齐穗后 0d 停止灌溉, 实收产量提高 16.0%, 整精米率提高 8.2%。晚稻灌浆期间降雨相对偏少, 适期延迟停止灌溉, 可提高叶片、茎秆干物质转化、穗粒数、结实率、千粒重及整精米率; 与对照相比, 齐穗后 7d 停止灌溉, 实收产量提高 11.0%, 整精米率提高 6.1%; 垩白度、垩白粒率及透明度随停止灌溉时间提前和干湿交替灌溉时间延长而增加, 胶稠度以早稻齐穗后 7d 和 14d、晚稻齐穗后 14d 停止灌溉最高, 所有处理对双季稻米整体品质指标等级无影响。

**关键词** 双季稻; 季节性降雨; 干湿交替灌溉; 产量; 品质

水稻是我国的主要粮食作物, 随着粮食供给侧结构调整和消费者对优质稻米的青睐, 丰产优质成为了我国现阶段粮食生产的目标。水稻产量和品质的形成除受自身遗传特性控制外, 水分调控也是影响的重要因素之一<sup>[1-2]</sup>, 传统栽培技术模式习惯在水稻生育后期采用长期淹灌, 耗水量大, 且影响产量和品质<sup>[3-5]</sup>, 研究人员围绕肥水调控对水稻生长发育影响开展了大量研究, 明确了干湿交替灌溉提质增效效应<sup>[3,6]</sup>。但这些成果多基于人为控制条件, 研究结果虽然体现了水分调控对水稻产量和品质的影响, 但实际生产受自然降雨影响很大, 相关研究结果在生产中往往难以应用。因此只有基于区域生态气候特点提出适宜的灌溉管理技术, 才是作物产量和资源高效利用协同发展的关键。

江西省位于长江中游南部, 区域季节性降雨特点非常明显, 多年份 6–7 月降雨量大, 12 月至次年 2 月少雨<sup>[7]</sup>。已有研究表明, 与水稻生育后期长期淹灌相比, 水稻灌浆期干湿交替节水灌溉可增强植株的生理代谢活性, 提高分蘖成穗率、结实率和千粒重<sup>[8-10]</sup>, 稻米加工品质和外观品质显著提升<sup>[11-12]</sup>。据此, 本研究基于长江中游南部 (江西)

季节性降雨特点, 以早、晚优质稻品种为材料, 研究灌浆期利用季节性降雨实现干湿交替灌溉对双季稻产量及品质影响, 以期为实现本区域水资源高效利用和双季稻提质增效提供理论依据和指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选择在江西省种植面积较大的双季优质稻品种, 分别为早稻湘早籼 45 (常规中熟早籼, 全生育期 106d 左右) 和晚稻泰优 398 (早熟籼型杂交晚稻品种, 全生育期 111d 左右)。

### 1.2 试验设计

试验于 2019 年 3–11 月在 (115°58'E, 26°19'N) 进行。早、晚稻采用人工模拟机插, 栽插规格分别为 25cm×12cm 和 25cm×14cm, 早稻于 6 月 14 日齐穗, 7 月 16 日成熟收割; 晚稻于 9 月 16 日齐穗, 10 月 20 日成熟收割。在早晚稻齐穗后设置 4 个停止灌溉时期处理, 分别为齐穗当天、齐穗后 7d、14d 和 21d (对照)。每个处理小区面积 60m<sup>2</sup>, 设 3 次重复, 共 12 个小区, 随机区组排列, 处理间采用高 25cm 隔板进行肥水隔离, 单独排灌, 所

作者简介: 刘萍, 主要从事作物栽培生理方面的研究, E-mail: 13503040@qq.com; 邵彩虹为共同第一作者, 主要从事作物栽培与生理生态方面的研究, E-mail: dixushao@126.com

刘光荣为通信作者, 主要从事作物栽培、植物营养及土壤肥料方面的研究, E-mail: lgrtfs@163.com

基金项目: 2018 江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人培养对象资助项目 (苏教师 [2018] 12 号文); 江苏省高校农作物安全高效生产适配技术科技创新团队; 国家重点研发计划项目 (2016YFD030050702; 2018YFD0301105)

收稿日期: 2020-06-06; 修回日期: 2021-02-23; 网络出版日期: 2021-03-26

有处理停止灌溉自然落干后保持田面无水层, 主要利用自然降雨实现干湿交替灌溉直至收获。早、晚稻移栽后至停止灌溉处理前, 除晒田控蘖期排水外, 其他时期均保持田面 2~3cm 水层。

养分施用: 早稻湘早籼 45 施氮量 165kg/hm<sup>2</sup>, 晚稻泰优 398 施氮量 195kg/hm<sup>2</sup>, 养分比例 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 2:1:2, 氮肥按基肥:分蘖肥:穗粒肥比例为 4:3:3 施用, 磷肥作基肥一次性施用, 钾肥按基肥:穗粒肥为 7:3 分次施用, 统一病虫害防控。

### 1.3 指标测定

1.3.1 叶绿素含量 从齐穗处理当天开始, 每 5d 用叶绿素仪 (SPAD-502 Minolta Japan) 测定水稻上部 2 片叶, 避开叶脉测定叶片中段的 SPAD 值, 连续测定 10 穴, 记录平均值, 每个处理测定 5 组数据。

1.3.2 产量 双季稻收获前 2d 每个处理取代表植株 5 穴, 考种记录每穴有效穗数、穗粒数、实粒数、空瘪粒数及千粒重, 计算理论产量和单穴实际产量; 各小区实割测定产量, 并根据取样产量和小区面积换算实际产量。

1.3.3 生物量 分别于水稻抽穗期和成熟期采集各处理代表植株 3 蔸, 每个处理 3 次重复, 将植株分为叶片、茎鞘和穗 3 个部分, 于 105℃ 杀青 30min 后 80℃ 烘干至恒重, 测定各部分干重。

1.3.4 米质 各处理收获后脱粒, 晾晒至稻谷含水量 14% 左右 (籼稻稻谷入仓含水量), 取 2kg 送农业农村部稻米及制品质量监督检验测试中心测定稻米品质。

1.3.5 气象记录 从处理当天开始至收获, 记录天气情况。

### 1.4 数据分析及计算

采用 DPS (V7.05) 及 Excel 1.0 软件对数据进行分析。

计算茎鞘、叶片干物质输出率及转化率: 器官干物质输出率 = (抽穗期器官干重 - 成熟期器官干重) / 抽穗期器官干重 × 100%, 器官干物质转化率 = (抽穗期器官干物质重 - 成熟期器官干物质重) / (成熟期穗干重 - 抽穗期穗干重) × 100%。

## 2 结果与分析

### 2.1 早晚稻齐穗后区域温度及降雨情况分析

对双季稻灌浆期天气情况进行分析, 结果 (图 1) 显示, 本年度早稻灌浆期间区域季节性降雨非常明显, 在 33d 的时间里降雨天数达到了 31d, 中到暴雨的天数达到了 24d, 累计降雨 1500mm 以上, 且持续降雨主要集中在 7 月份, 6 月份的持续强降雨较少, 齐穗后 0~14d 停止灌溉处理可实现干湿交

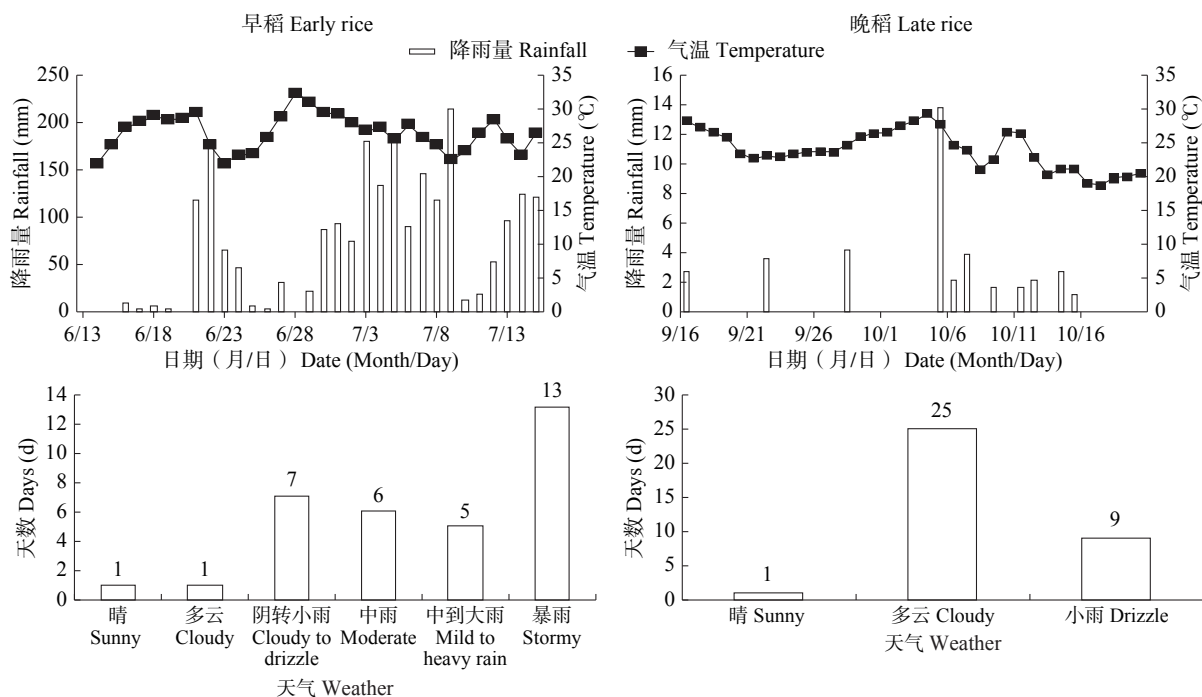


图 1 双季稻灌浆期天气

Fig.1 The weather at double cropping rice grain filling stage

替灌溉，对照习惯技术则因为灌浆中后期（6 月 30 日–7 月 16 日）持续降雨无法实现干湿交替灌溉。晚稻天气表现为自齐穗后降雨显著减少，仅为 9d，主要以阴转多云天气为主，平均气温保持在 25℃ 左右，齐穗后较早停止灌溉的处理处于重度干湿交替灌溉，较迟停止灌溉的处理则为轻度干湿交替灌溉。早稻灌浆期季节性降雨非常明显，完全能够满足早稻对水分的需求，晚稻降雨量相对较少，但气温低减少了田间蒸腾和蒸发，为田间仅依靠自然降雨实现干湿交替灌溉提供了条件。

2.2 齐穗后停止灌溉时间对水稻叶片 SPAD 值的影响

水稻齐穗后停止灌溉对水稻功能叶叶绿素含量影响分析（图 2）表明，早稻灌浆期雨量充足，齐穗后较早停止灌溉可形成轻度干湿交替灌溉，促进叶片后期干物质输出和转化，表现为后期叶绿素含量下降明显，至齐穗后 25d，不同处理叶绿素含量表现为 0d<7d<14d<CK；晚稻灌浆期降雨量减少，齐穗后早停止灌溉属重度干湿交替灌溉，影响灌浆前期叶片叶绿素含量，表现为齐穗后 0d 和 7d 停止

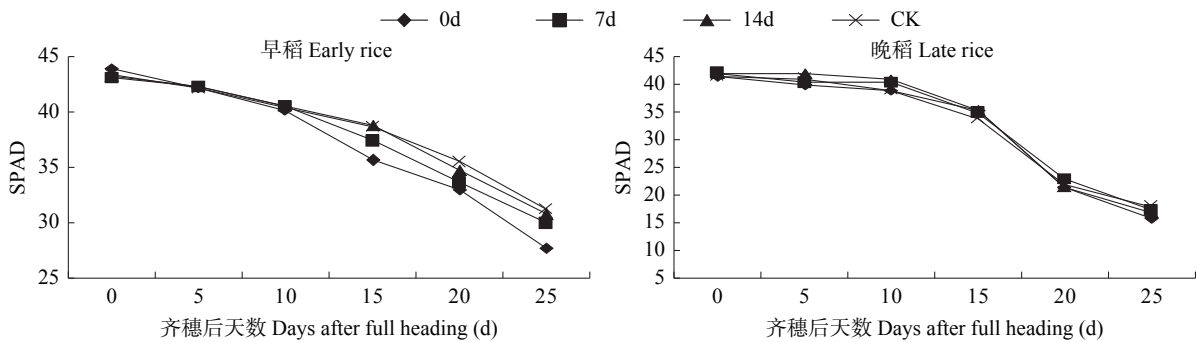


图 2 齐穗后停止灌溉时间对双季稻叶绿素含量的影响  
Fig.2 Effects of stop-irrigation time after full-heading on chlorophyll content of double cropping rice

灌溉处理在前期叶绿素含量下降明显，但一定的水分亏缺也会激发植株抗逆代谢<sup>[9]</sup>，表现为至齐穗 15d 后，不同处理间叶绿素含量差异不明显。

2.3 齐穗后停止灌溉时间对双季稻干物质转运的影响

齐穗后停止灌溉对水稻叶片、茎鞘干物质输出和转化有显著影响（表 1），早稻随停止灌溉天数的提前，叶片、茎鞘干物质输出率和转化率显著提高，

齐穗后 0d 停止灌溉处理叶片和茎鞘干物质输出率最高，分别为 54.8% 和 38.6%，较对照分别提高 14.4% 和 47.9%；转化率也最高，分别为 17.3% 和 34.3%，较对照分别提高 14.6% 和 38.9%。晚稻表现为齐穗后 7d 停止灌溉处理的叶片、茎鞘干物质输出率和转化率最高，其次是齐穗后 0d 和齐穗后 14d 停止灌溉处理，与对照相比，齐穗后 7d 停止灌溉处理叶片、茎鞘干物质输出率分别提高 38.2% 和

表 1 齐穗后停止灌溉时间对双季稻干物质转运的影响  
Table 1 Effects of stop-irrigation time after full-heading on dry matter transportation of double cropping rice %

品种 Variety	处理 Treatment	干物质输出率 Rate of dry matter exportation		干物质转化率 Rate of dry matter transfer	
		叶片 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	叶片 Leaf	茎鞘 Stem and sheath
湘早籼 45 号 Xiangzaoxian 45	0d	54.8Aa	38.6Aa	17.3Aa	34.3Aa
	7d	53.9Aa	32.3Bb	16.9Aa	29.5Bb
	14d	49.2Bb	27.8Cc	15.6Bb	26.1Cc
	CK	47.9Bc	26.1Ccd	15.1Bb	24.7Cc
泰优 398 Taiyou 398	0d	45.3Aab	34.7Bb	15.2Bb	25.5ABb
	7d	49.9Aa	39.0Aa	19.6Aa	27.9Aa
	14d	43.8Ab	35.6Bb	15.8Bb	25.9ABb
	CK	36.1Bc	28.4Cc	13.5BCc	23.9Bc

同列数据后不同大小写字母分别表示不同处理间差异在 0.01 和 0.05 水平显著。下同  
Different capital and lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same below

37.3%，转化率分别提高 45.2% 和 16.7%。

2.4 齐穗后停止灌溉时间对水稻产量的影响

齐穗后停止灌溉对双季稻的产量影响结果（表 2）显示，齐穗后较早停止灌溉会降低早稻群体有效穗数，晚稻不同处理间有效穗数差异不显著；齐穗后停止灌溉，利用自然降雨干湿交替灌溉有助于籽粒灌浆充实，提高穗粒数、结实率和千粒重，早稻表现为齐穗后 7d 停止灌溉处理产量最高，但

与齐穗后 0d 停止灌溉处理差异不显著，晚稻齐穗后 7d 停止灌溉处理产量最高；早稻长期淹水状态（CK）虽然保证了较多的穗数，但后期分蘖成穗穗小且充实度差，表现为较晚灌溉断水处理平均穗粒数、结实率及千粒重均较低。早稻不同处理产量表现为 7d>0d>14d>CK，晚稻不同处理产量表现为 7d>0d>14d>CK，结合双季稻不同处理叶片和茎鞘干物质输出转化特点，早稻在齐穗后 0d 停止灌

表 2 齐穗后停止灌溉时间对双季稻产量的影响  
Table 2 Effects of stop-irrigation time after full-heading on double cropping rice yield

品种 Variety	处理 Treatment	有效穗数 Productive panicle ( $\times 10^4/\text{hm}^2$ )	穗粒数 Grains per panicle	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretical yield ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	实际产量 Harvested yield ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
湘早籼 45 Xiangzaoxian 45	0d	370.5Bb	85.2Bb	85.8Aa	23.3Aa	6296.2Bb	6634.5ABa
	7d	367.5Bb	92.4Aa	85.5Aa	23.3Aa	6755.1Aa	6826.5Aa
	14d	391.5Aa	83.7Bbc	81.2Bb	22.8ABab	6055.5Cc	6304.5Bb
	CK	403.5Aa	82.5Bc	81.3Bb	22.3Bb	6031.6Cc	5719.5Cc
泰优 398 Taiyou 398	0d	351.0Aa	143.1Aa	81.2Bc	22.9Bb	8493.0Bb	8419.5ABb
	7d	355.5 Aa	141.2ABab	85.7Aa	23.6Aa	8724.0Aa	8536.5Aa
	14d	357.0Aa	139.8ABb	83.8ABab	23.3Aa	8391.0Bb	8287.5Bc
	CK	358.5Aa	137.7Bb	82.2Bbc	23.1ABa	7960.5Cc	7687.5Cd

溉和晚稻齐穗后 7d 停止灌溉有利于丰产。

2.5 齐穗后停止灌溉时间对稻米品质的影响

整精米率是稻米加工品质的核心指标，最具有商业价值，水稻齐穗后停止灌溉会影响整精米率。相对于长期淹灌，双季稻齐穗后停止灌溉，利用自然降雨实现干湿交替灌溉可提高整精米率，表现为早稻齐穗后 0d 和晚稻齐穗后 7d 停止灌溉处理整精米率显著高于 CK，其中早稻整精米率提高了 8.1%，晚稻提高了 6.1%（表 3）。

垩白度、垩白粒率及透明度是稻米外观品质的重要性状，早晚稻齐穗后停止灌溉对稻米外观品质的影响表明，稻米的垩白度及垩白粒率与产量呈正

相关变化，表现为较早停止灌溉产量较高处理的稻米垩白度和垩白粒率相对较高，早晚稻均以长期淹灌产量较低，其垩白度和垩白粒率最低。其中，早稻湘早籼 45 所有处理垩白度均小于 1，达到一级米标准，泰优 398 除对照处理垩白度达到一级米标准以外，其他处理垩白度均达到二级米标准；透明度表现为早稻随停止灌溉处理提前而增加，透明度 0d>7d>14d=CK，晚稻处理间无差异，透明度均为 1.0（表 3）；该结果表明，齐穗后随干湿交替灌溉处理提前，稻米外观品质有变差的趋势，但表现出较强的遗传控制特点，外观品质仍可达到二级米及以上标准，均属于优质稻米等级范围。

表 3 齐穗后停止灌溉时间对双季稻米主要品质的影响  
Table 3 Effects of stop-irrigation time after full-heading on double cropping rice quality

品质指标 Quality trait	湘早籼 45 Xiangzaoxian 45				泰优 398 Taiyou 398			
	0d	7d	14d	CK	0d	7d	14d	CK
整精米率 Head rice rate (%)	25.2Aab	26.0Aa	25.0Ab	23.3Bc	60.7Aa	60.5Aa	56.6ABb	57.0ABb
垩白度 Chalkiness rate (%)	0.8ABa	0.8ABa	0.9Aa	0.6Bb	1.4Bc	1.7Ab	1.9Aa	0.8Cd
垩白粒率 Chalkiness grain rate (%)	6.3Aa	6.7Aa	5.7Bb	4.7Cc	9.3Aa	7.6Bb	7.6Bb	6.3Cc
透明度（级）Transparent	2.0Aa	1.3Bb	1.0Cc	1.0Cc	1.0Aa	1.0Aa	1.0Aa	1.0Aa
碱消值（级）Setback value	6.8Aa	6.8Aa	6.9Aa	6.8Aa	7.0Aa	7.0Aa	6.8Aa	6.8Aa
胶稠度 Adhesive strength (mm)	64.0Bb	68.3Aa	68.3Aa	61.3Cc	64.3Dd	68.3Cc	78.3Aa	72.0Bb
直链淀粉含量 Amylose content (%)	17.0Aa	16.4Aab	16.6Aab	16.1Ab	17.2Aa	17.1Aa	17.2Aa	17.0Aa
蛋白质含量 Protein content (%)	8.26Aa	8.10Aa	8.01Aa	8.10Aa	8.09Aa	7.73Aab	7.56Aab	7.79Aab



齐穗后停止灌溉对稻米食味品质影响的结果表明,在雨量充沛的早稻季,较早停止灌溉实现干湿交替灌溉有助于提升稻米胶稠度,表现为 0d、7d 和 14d 大于 CK;在雨量较少的晚稻季,较早停止灌溉不利于提升稻米胶稠度,表现为齐穗后 0d 和 7d 停止灌溉处理稻米胶稠度低于 CK,以齐穗后 14d 停止灌溉处理胶稠度最高,表现为  $0d < 7d < CK < 14d$ ;碱消值、直链淀粉及蛋白质含量受水分影响较小,处理间无显著差异(表 3)。所有处理稻米的碱消值  $> 6.0$  (一级米),胶稠度  $> 60$  (一级米),直链淀粉含量  $< 18.0$  (一级米),蛋白质含量  $< 10.0$ ,蒸煮品质和营养品质均达到一级米等级。

### 3 讨论

#### 3.1 齐穗后停止灌溉时间对叶绿素含量及干物质转化的影响

水稻灌浆所需物质大部分来源于花后的功能叶光合作用<sup>[12-15]</sup>,尤其是剑叶贡献最大,其次是花前植株储存物质输出转化。功能叶的叶绿素含量是反映水稻光合能力的关键指标之一,有研究显示,相对于长期淹水,生育后期短时间水分胁迫或非充分灌溉条件下,有利于增强叶片光合能力,表现为水稻叶片的叶绿素含量降低,但光能吸收能力增强<sup>[5,16-17]</sup>。本研究中,双季稻齐穗后停止灌溉,利用季节性降雨特点实现干湿交替灌溉,促进了叶片、茎鞘干物质输出和转化,产量提高,叶片后期表现出“转色”,叶绿素含量下降。与 CK 相比,在早稻齐穗 0d 停止灌溉时叶绿素含量在后期下降显著,但叶片、茎鞘干物质输出率和转化率最高,其次为齐穗后 7d 和 14d 停止灌溉处理;晚稻在齐穗后 7d 停止灌溉,更有利于干物质输出和转化,提高产量,其次为齐穗后 0d 和 14d 处理,不同处理后期叶绿素含量差异不显著。基于区域季节性降雨特点,雨量充沛早稻季齐穗后尽早停止灌溉、雨量少的晚稻季适期延迟停止灌溉避免水分亏缺胁迫,有利于促进干物质向籽粒输出和转化。

#### 3.2 齐穗后停止灌溉时间对双季稻产量的影响

已有的研究表明,不同时期适度的水分亏缺或非淹水状态更有利于水稻产量和品质的形成<sup>[1,10]</sup>。本研究中,早稻灌浆期季节性降雨显著,其中 6 月中下旬表现为经常性降雨,7 月上旬雨量大,持续降雨明显,自齐穗后 0d 停止灌溉,充分利用自然

降雨实现干湿交替灌溉,可抑制部分无效分蘖成穗,减少小穗发生,实现穗大粒多,提高充实度,从而提高产量;晚稻灌浆期由于降雨量相对较少,适当延迟停止灌溉时间实现轻度干湿交替灌溉更有利于促进籽粒灌浆,提高产量,以齐穗后 7d 停止灌溉处理产量最高,其次为齐穗 0d 和 14d 处理,研究结果与前人<sup>[18]</sup>一致。

#### 3.3 齐穗后停止灌溉时间对双季稻米品质的影响

有研究表明,湿润灌溉增加了稻米的垩白粒率和垩白度,而轻干湿交替灌溉可降低垩白粒率、垩白大小和垩白度,重干湿交替灌溉则相反<sup>[18-21]</sup>,水稻品种特性、播期及养分管理均影响稻米外观品质形成<sup>[22-24]</sup>。本研究中,双季均以齐穗后 21d 停止灌溉的对照处理垩白粒率、垩白度及透明度最低,其中垩白粒率和透明度有随停止灌溉提前而增加的趋势,齐穗后 21d 至成熟收获,双季稻均处于持续降雨条件下,其中早稻雨量较大,表明灌浆期水分充沛更有利于降低垩白粒率、垩白度和透明度,与前人研究结果不同,可能与品种特性及环境条件差异有关,本研究采用材料早晚稻均为优质稻品种,且是基于本区域气候自然环境条件下的研究结果。本研究中稻米外观品质与产量呈负相关变化趋势,与邵彩虹等<sup>[24]</sup>的研究结果一致,外观品质整体表现出较强的遗传控制特点,不同处理稻米的垩白粒率  $< 10\%$ 、垩白度  $< 2\%$ ,稻米外观品质均达到二级米及以上标准。

影响稻米口感的主要是蒸煮品质和营养品质,蒸煮品质主要包括胶稠度、直链淀粉和碱消值(或糊化温度)等指标,营养品质主要指蛋白质含量。其中,糊化温度是决定稻米食味与蒸煮品质的重要因素,而碱消值是衡量稻米糊化温度的关键指标,胶稠度是评价米饭质地的一项物理指标,碱消值和胶稠度数值大、直链淀粉和蛋白质含量低的米饭柔软,口感好,反之则米饭硬,口感差。稻米蒸煮及食味品质受干湿交替灌溉影响因程度不同而异,轻干湿交替灌溉会降低直链淀粉含量、增加胶稠度,重干湿交替灌溉则呈相反变化<sup>[25-26]</sup>。本研究结果显示,早稻灌浆中后期降雨量大,持续降雨多,与 CK 相比,齐穗后 0d 和 14d 停止灌溉实现轻度干湿交替灌溉,有助于提升胶稠度,在雨量较少的晚稻季,齐穗后较早停止灌溉属重度干湿交替灌溉,稻米胶稠度有降低趋势,以齐穗后 14d 停止灌溉稻米

胶稠度值最大,但早晚稻所有处理稻米胶稠度均达到了一级米等级指标;碱消值、直链淀粉及蛋白质含量受停止灌溉时间影响较小,处理间无显著差异。

#### 4 结论

基于区域季节性降雨特点,早稻齐穗后 0d、晚稻齐穗后 7d 停止灌溉实现灌浆期干湿交替灌溉,可抑制早稻无效分蘖成穗,促进叶片和茎鞘干物质向籽粒转运,提高穗粒数、结实率、千粒重及整精米率,实现丰产增效;稻米品质整体表现出较强的遗传控制特点,其中垩白粒率、垩白度及胶稠度受齐穗后停止灌溉时间影响显著,但整体品质指标等级无变化,均达二级米及以上标准。

#### 参考文献

- [1]蒋玉兰,陆凯明,夏仕明,等. 干湿交替灌溉对水稻产量、品质和土壤生物学性状的影响. 作物杂志,2016(6):20-25.
- [2]张宏路,朱安,胡昕,等. 稻田常用节水灌溉方式对水稻产量和米质影响的研究进展. 中国稻米,2018,24(6):8-12.
- [3]朱士江,孙爱华,张忠学,等. 不同节水灌溉模式对水稻分蘖、株高及产量的影响. 节水灌溉,2013(12):16-19.
- [4]杨建昌,袁莉民,唐成,等. 结实期干湿交替灌溉对稻米品质及籽粒中一些酶活性的影响. 作物学报,2005,31(8):1052-1057.
- [5]毛心怡,王为木,郭相平,等. 不同节水灌溉模式对水稻生理生长和产量形成的影响. 节水灌溉,2020(1):25-29.
- [6]王瑞,余可信,田东,等. 湿润灌溉下3个粳稻品种的生长特性研究. 现代农业科技,2015(19):71-72.
- [7]邹海波,单九生,吴珊珊,等. 江西持续性强降雨的气候特征及其大尺度环流背景. 气象科学,2013,33(4):449-456.
- [8]褚光,展明飞,朱宽宇,等. 干湿交替灌溉对水稻产量与水分利用效率的影响. 作物学报,2016,42(7):1026-1036.
- [9]徐芬芬,曾晓春,石庆华. 干湿交替灌溉方式下水稻节水增产机理研究. 杂交水稻,2009,24(3):72-75.
- [10]李昌华,曾可,韦善清,等. 不同耕作方式下水分管理对水稻水分利用的影响. 作物杂志,2011(4):81-84.
- [11]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. 中国农业科学,2011,44(24):4988-4998.
- [12]顾俊荣,季红娟,韩立宇,等. 不同水氮管理模式对梗稻籽粒结实和主要品质性状的影响. 中国稻米,2015(4):44-48.
- [13]曹树青,翟虎渠,钮中一,等. 不同产量潜力水稻品种的剑叶光合特性研究. 南京农业大学学报,2000,23(3):1-4.
- [14]陈信波,廖爱君,罗泽民. 大穗型水稻生育后期叶片和根系生理的特性. 生命科学研究,1999,3(3):250-255.
- [15]蔡永萍,杨其光,黄义德. 水稻水作与旱作对抽穗后剑叶光合特性、衰老及根系活性的影响. 中国水稻科学,2000,14(4):219-224.
- [16]刘少华,陈国祥,吕川根,等. 水分胁迫对高产杂交水稻功能叶光能转换特征的影响. 作物杂志,2010(4):43-46.
- [17]周娟,陈平平,李志斌,等. 几个杂交早稻品种的产量及光合特性比较. 作物研究,2015,29(5):468-471,481.
- [18]刘立军,李鸿伟,赵步洪,等. 结实期干湿交替灌溉对稻米品质的影响及其生理机制. 中国水稻科学,2012,26(1):77-84.
- [19]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. 中国农业科学,2011,44(24):4988-4998.
- [20]吕银斐,任艳芳,刘冬,等. 不同水分管理方式对水稻生长、产量及品质的影响. 天津农业科学,2016,22(1):106-110.
- [21]柯传勇. 不同水分处理对水稻生长、产量及品质的影响. 武汉:华中农业大学,2010.
- [22]马群,张洪程,戴其根,等. 生育类型与施氮水平对梗稻加工品质的影响. 作物学报,2009,35(7):1282-1289.
- [23]秦阳,蒋文春,张城,等. 不同水稻品种播期与品质的关系. 沈阳农业大学学报,2004,35(4):328-331.
- [24]邵彩虹,邱才飞,钱银飞,等. 播期对直播早稻湘早籼45产量及米质的影响. 中国稻米,2019,25(S1):52-54.
- [25]慕永红,孙建勇. 不同施氮比例对水稻产量与品质的影响. 黑龙江农业科学,2000(3):18-19.
- [26]唐成. 结实期干-湿交替灌溉对稻米品质的影响及其机理的研究. 扬州:扬州大学,2007.

## Effects of Dry-Wet Alternate Irrigation on Double Cropping Rice Yield and Quality during Late Development Stage under Seasonal Rain Condition

Liu Ping<sup>1</sup>, Shao Caihong<sup>2,3</sup>, Zhang Honglin<sup>3</sup>, Liu Guangrong<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Yangzhou Polytechnic College/Engineering Research Center for Agricultural Security and Environmental Protection of Jiangsu Province, Yangzhou 225009, Jiangsu, China; <sup>2</sup>Soil and Fertilizer & Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 300200, Jiangxi, China; <sup>3</sup>Agricultural Science Institute of Ganzhou City, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

**Abstract** To investigate the effects of dry-wet alternate irrigation on double cropping rice during the late development stage under seasonal rain condition, four different irrigation-stop times including the 0, 7th, 14th and 21th (the control) day after rice full heading respectively were set in the field experiment, and the chlorophyll content, dry matter transport, yield, and quality were studied. The results showed that early rice had a lot of rainfall and heavy rainfall during the grain-filling stage. Stopping irrigation after full heading and prolonging the dry-wet alternate irrigation time

could significantly improve the dry matter transport to leaves, stems and sheaths, significantly increase the number of ears and seed setting rate, and decrease chlorophyll content and panicles of ineffective tillering. Compared with the control, if the irrigation was stopped at 0 day after the ear was full, the harvested yield increased by 16.0%, and the heading rice rate increased by 8.2%. Based on light rainfall during the late rice grain filling stage, the time of irrigation-stop should be delayed appropriately after full heading, which could increase leaf and stem dry matter transport, and the grains per panicle, seed setting rate, 1000-grain weight, and head rice rate. Compared with the control, stopping irrigation at 7 days after full heading, the harvested yield increased by 11.0%, and the heading rice rate increased by 6.1%. With the increase of dry-wet irrigation time after full heading, the chalkiness rate, chalkiness grain rate, and transparency increased and the adhesive strength reached the maximum under treatments of irrigation-stopping on 7 and 14d after early rice full heading and 14d after late rice full heading and all treatments had no effect on rice quality grade.

**Key words** Double cropping rice; Seasonal rain; Dry-wet alternate irrigation; Yield; Quality