

不同控水方式下不同水稻品种的生理响应与产量构成因子研究

刘宇锋^{1,2}, 李伏生¹, 曾祥伟³, 黄海桥³

(1 广西大学 农学院, 广西 南宁, 530005; 2 广西农业科学院 水稻研究所, 广西 南宁 530007; 3 南宁市灌溉试验站, 广西 南宁 530001)

摘要:通过田间试验,研究了控制灌溉与常规灌溉对3个水稻品种生理作用、产量构成因子与产量的影响。结果表明,控制灌溉比常规灌溉节约灌水量60%~75%。2种控水方式3个水稻品种叶片叶水势、丙二醛和可溶性蛋白含量,以及过氧化氢酶、过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性之间差异不明显;穗长、有效穗数、千粒质量、谷草比、结实率和实际产量之间差异也不明显。与常规灌溉相比,控制灌溉虽然增加水稻产量的效果不明显,但是节约灌水量明显,因此,控制灌溉是水稻种植中一种有效的节水灌溉方式。

关键词:水稻; 控水方式; 生理响应; 产量构成

中图分类号:S275

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2011)02-0006-06

Study on Physiological Response and Yield Component of Different Rice Cultivars Under Different Irrigation Methods

LIU Yu-feng^{1,2}, LI Fu-sheng¹, ZENG Xiang-wei³, HUANG Hai-qiao³

(1 Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China;

2 Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;

3 Nanning Experimental Station of Irrigation, Nanning 530001, China)

Abstract: The physiological response, yield components and yield of three rice cultivars under controlled irrigation (CI) and flooding irrigation (FI) were investigated by using field experiment. The results showed that controlled irrigation reduced total water consumption of three rice cultivars by 60% – 75%, compared to flooding irrigation. No significant difference in leaf water potential, the contents of malonaldehyde and soluble protein, and the activities of superoxide dismutase, peroxidase and catalase after the booting were found between two irrigation methods. There are also no significant difference in panicle length, effective panicle number per plant, thousand kernel mass grain-straw ratio, seed setting rate and yield between two irrigation methods. Compared to the flooding irrigation, the controlled irrigation can save irrigation water greatly although it did not increase rice yield significantly. Thus, controlled irrigation is an efficient water-saving irrigation method in rice planting.

Key words: rice; irrigation method; physiological response; yield components

水稻(*Oryza sativa* L.)是我国的主要粮食作物之一,现有种植面积约为0.33亿hm²,占粮食作物总播种面积的30%,稻谷产量为1.78亿t,占粮食总产量

的44%,水稻生产对稳定我国粮食安全发挥着重要作用^[1]。同时,我国水资源较匮乏,水资源不足已成为制约我国经济社会发展的一个瓶颈^[2-3],农业又是

收稿日期:2010-05-24

作者简介:刘宇锋(1980—),男,博士研究生;通信作者:李伏生(1963—),男,教授,博士,E-mail:zhenz@gxu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(50869001);广西研究生教育创新计划资助项目(2009105930901D011);973计划项目(2006CB403406)

我国用水最多的产业,因此研究和推广节水灌溉技术具有十分重要的意义^[4]。

水稻灌溉用水量占农业总用水量的65%^[5],常规淹灌稻田存在渗漏严重,灌溉水利用率低,稻田通气条件较差,水稻根系生长受到抑制,稻株后期抗倒伏性差等不足之处^[6-7]。水稻控制灌溉是近年来兴起的一种节水灌溉技术,该技术是指水稻本田移栽后,水稻在返青期保持薄水层(0~30 mm)外,其他不同生育阶段的土壤含水率下限一般在饱和含水率的70%~80%,分蘖末期降低至60%,以利于抑制无效分蘖,还起到抗病虫害和抗倒伏等作用。控制灌溉突破了传统的饱和灌溉理论,整个生育期除了除草、施肥等生产性用水外,田面基本不保留水层,利用土壤水分控制灌溉时间和灌水次数^[8],目前已在我国北方黑龙江、苏北、宁夏等地推广应用,取得了良好的社会、经济、生态效应^[9-11]。目前控制灌溉对水稻生长、产量、水分利用以及温室气体如甲烷排放的影响等方面已有较多报道^[11-14],而对膜脂过氧化作用和酶促防御系统的影响研究还不多见,尤其是对不同水稻品种影响研究更少。本研究以广西推广面积较大的3个籼稻品种为供试作物,研究了控制灌溉和常规灌溉对3种水稻品种生理作用、产量构成因子和产量的影响,旨在为控制灌溉技术的推广应用提供更多的试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

田间试验在广西南宁市灌溉试验站进行,室内分析在广西大学农业资源与环境实验室完成。试验土壤为第四纪红色粘土发育的水稻土,其土壤pH 7.58(由于灌溉水偏碱,经常灌溉此水源导致土壤pH偏高),有机质23.2 g/kg,碱解氮(N)60.7 mg/kg,速效磷(P)70.6 mg/kg,速效钾(K)142.7 mg/kg。试验点年平均日照为1 827 h,年平均气温21.6℃,年降水量为1 304.2 mm,本试验期间降雨量为549.1 mm。

1.2 试验方法

试验设2种控水方式和3个水稻品种,完全方案设计,共6个处理,每个处理3次重复,共18个小区,随机区组排列。2种控水方式分别为常规灌溉(FI,除分蘖末期晒田外,分蘖期到乳熟期田间均保持20~40 mm浅水层)和控制灌溉(CI,分蘖前期、中期和后期,拔节孕穗前期、后期,抽穗开花期和乳熟期实现无水层灌溉模式,其土壤含水率下限分别取土壤饱和含水率的70%、75%、70%、70%、75%、80%和70%,上限为土壤饱和含水率)。此外,2种控水方式均是移栽返青期保持浅水层和黄熟期自然落

干。3个水稻品种分别为两系超级杂交籼稻组合:中浙优1号(ZZY1,审定编号:浙审稻2004009);三系杂交籼稻组合:特优63(TY63,审定编号:GS01005-1994);常规稻品种:油占8号(YZ8,审定编号:桂审稻2001044号)。

试验小区面积为15.0 m×5.0 m,小区周围是水泥固化隔离带,深至1 m土层,以防小区之间水分相互侧渗;各小区均用PVC管引入固定水源,安装水表计量每次灌水量。

试验N肥用尿素[w(N)为46.6%],P肥用过磷酸钙[w(P₂O₅)为12%],K肥为氯化钾[w(K₂O)为60%],N、P₂O₅、K₂O按质量比1.0:0.5:1.0施入,施入纯N 105 kg/hm²、P₂O₅ 52.5 kg/hm²,K₂O 105 kg/hm²,其中40%的N、P、K肥作基肥施入,其余肥料分别以分蘖肥、穗肥均按30%的比例施入。

各水稻品种于2009年4月12日播种,5月6日大田移栽,于25 d秧龄(叶龄为6.1~6.3)时选取单株带2个分蘖的秧苗,双株栽培,株行距20 cm×20 cm。不同灌水处理从5月13日水稻返青后进行,到8月15日水稻开始成熟后结束。9月15日全部收割完毕,本田生育期131 d。此外,试验期间其他田间管理措施一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 灌水量与土壤含水率测定 用水表计量灌水量为实际灌水量。于水稻移栽返青后开始进行控制灌溉处理,在无水层情况下,利用ML2x土壤水分快速测定仪隔日测定0~10 cm土层土壤相对含水率,确定灌水时间与定额。在水稻生长期,观测降水量、排水量和每天水层厚度等。

1.3.2 样品采集与生理指标测定 水稻不同控水处理后49 d(6月30日,拔节中期)、62 d(7月13日,孕穗后期)、73 d(7月24日,抽穗期)、83 d(8月3日,扬花期)和103 d(8月23日,乳熟后期)随机从各水稻试验处理小区中取5株水稻叶(孕穗前取顶叶,孕穗后取剑叶),液氮处理后置于-80℃超低温冰箱内保存待测。

超氧化物歧化酶(SOD)活性用氮蓝四唑(NBT)法测定,过氧化物酶(POD)用愈创木酚法测定,叶片过氧化氢酶(CAT)活性用H₂O₂方法测定,丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥(TBA)法测定,可溶性蛋白含量用考马斯亮蓝法测定^[15-16]。叶水势用WP4-T型露点水势仪(Ecotek公司,美国)测定。其中SOD活性以抑制NBT光化还原50%为1个酶活性单位(U);POD活性以每分钟470 nm光密度增加0.01为1个酶活性单位(U);CAT以每分钟240 nm光密度减少0.01为1个酶活性单位(U)。

1.3.3 考种与测产 各试验水稻品种成熟后,每处理随机取5株考种,调查千粒质量、有效穗数、穗长、谷草比和结实率.成熟后各小区实收计产.

1.4 统计分析

试验数据采用 SPSS 15.0 软件进行方差分析,用 Duncan's 方法进行多重比较.

2 结果与分析

2.1 控制灌溉与常规灌溉条件下不同水稻品种灌水量

不同水稻品种控制灌溉灌水量较常规灌溉明显降低(表1),中浙优1号、特优63以及油占8号控制灌溉灌水量较常规灌溉分别降低67.2%、61.2%和75.4%,均达到显著性水平($P < 0.05$).

2.2 控制灌溉与常规灌溉条件下不同水稻品种的生理响应

叶水势在一定程度上能够反映植物各种生理活

表1 不同控水方式下不同水稻品种灌水量¹⁾

Tab.1 Total irrigation amount for different rice cultivars under different irrigation methods

控水方式	灌水量/($\times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)		
	中浙优1号	特优63	油占8号
控制灌溉	4.48 $\pm$ 4.65b	4.11 $\pm$ 0.31b	3.38 $\pm$ 4.62b
常规灌溉	13.67 $\pm$ 2.79a	10.58 $\pm$ 0.78a	13.72 $\pm$ 2.65a

1) 同列数据后凡是有一个小写字母相同者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法).

动受环境水分条件的制约程度,广泛地用于植物水分亏缺程度的诊断^[17-20].控水处理后49 d(拔节中期),各水稻品种叶水势与常规灌溉相比没有显著差异,随着灌水处理的延长,叶水势开始逐步下降,其中灌水处理75 d(抽穗期),油占8号常规灌溉处理叶水势下降幅度最大,达-3.99 MPa;控水处理后103 d(乳熟后期),2种控水方式各水稻品种叶水势均小幅上升(图1).

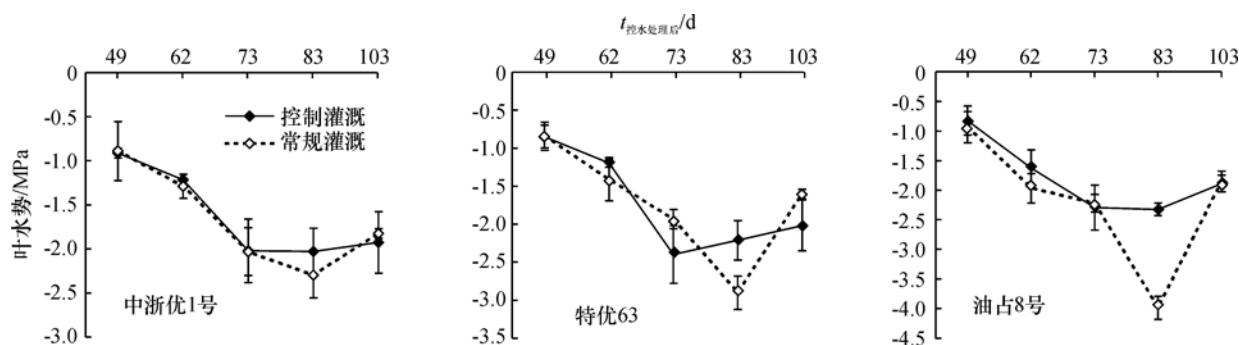


图1 不同控水方式对不同水稻品种叶水势的影响

Fig.1 Effect of different irrigation methods on leaf water potential for different rice cultivars

可溶性蛋白是一种渗透调节物质,也是作物代谢过程中蛋白质损伤的重要指标.有关逆境下蛋白质的代谢过程已有许多报道^[21-22],逆境条件下,通过改变作物体内可溶性蛋白与其他渗透调节物质含量使生化反应正常进行.随着控水时间的延长,各水稻品种可溶性蛋白含量均有不同程度的增加(图2),控水处理后49 d(拔节中期),中浙优1号叶片可

溶性蛋白含量明显较其他2个品种高,以后各品种可溶性蛋白含量缓慢增加,控制灌溉和常规灌溉各水稻品种叶片可溶性蛋白含量在灌水处理的62 d(孕穗后期)、73 d(抽穗期)差异不明显($P > 0.05$),83 d(扬花期)控制灌溉和常规灌溉各水稻品种的可溶性蛋白含量出现小幅波动,差异也不显著.

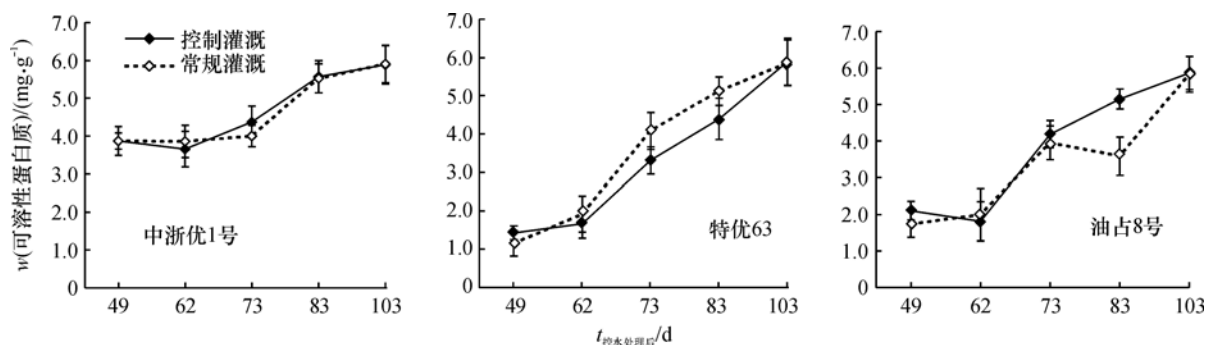


图2 不同控水方式对不同水稻品种叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig.2 Effect of different irrigation methods on leaf soluble protein content for different rice cultivars

MDA 是膜脂过氧化作用的产物,其含量高低被用作膜伤害指标,MDA 作为作物受逆境胁迫程度的一个重要指标^[19].随着控水时间不断延长,各水稻品种叶片 MDA 含量均呈现上升趋势(图 3).但不同水稻品种上升幅度有所差异,其中控水后 73 d(抽穗

期)油占 8 号控制灌溉和常规灌溉 MDA 含量较高;控水后 83 d(扬花期)、103 d(乳熟后期)油占 8 号常规灌溉叶片 MDA 含量始终保持较高水平,分别为 1.9、2.4 $\mu\text{mol}/\text{kg}$,说明油占 8 号膜脂受伤害程度较高,这可能与常规稻的耐旱性较差有关.

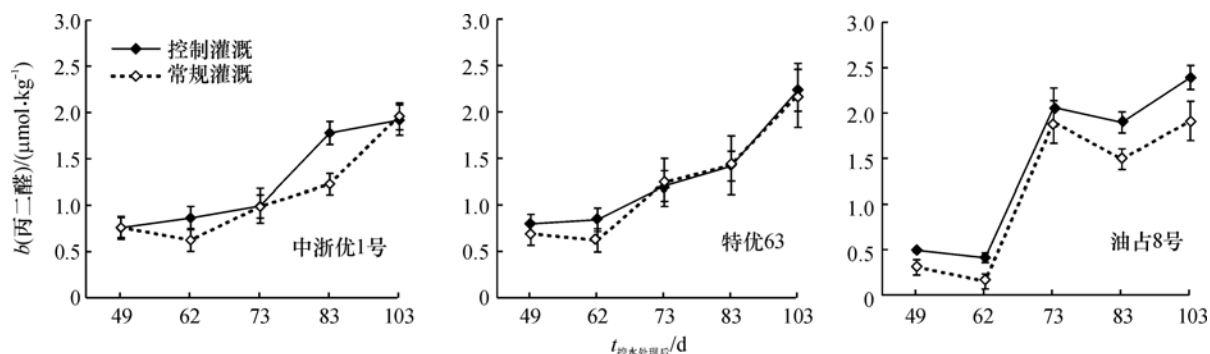


图3 不同控水方式对不同水稻品种叶片 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effect of different irrigation methods on leaf malonaldehyde (MDA) content for different rice cultivars

SOD、CAT、POD 是重要的保护酶.图 4 结果表明,控制灌溉各水稻品种 SOD、POD 和 CAT 活性与常规灌溉之间的差异不明显($P > 0.05$).控水处理后 49~83 d,各水稻品种 SOD 和 POD 活性增加不明

显,83 d 以后则明显增加,而 CAT 活性控水处理后 49~62 d(拔节期至孕穗后期)明显增加,73 d(抽穗期)以后则增加不明显.

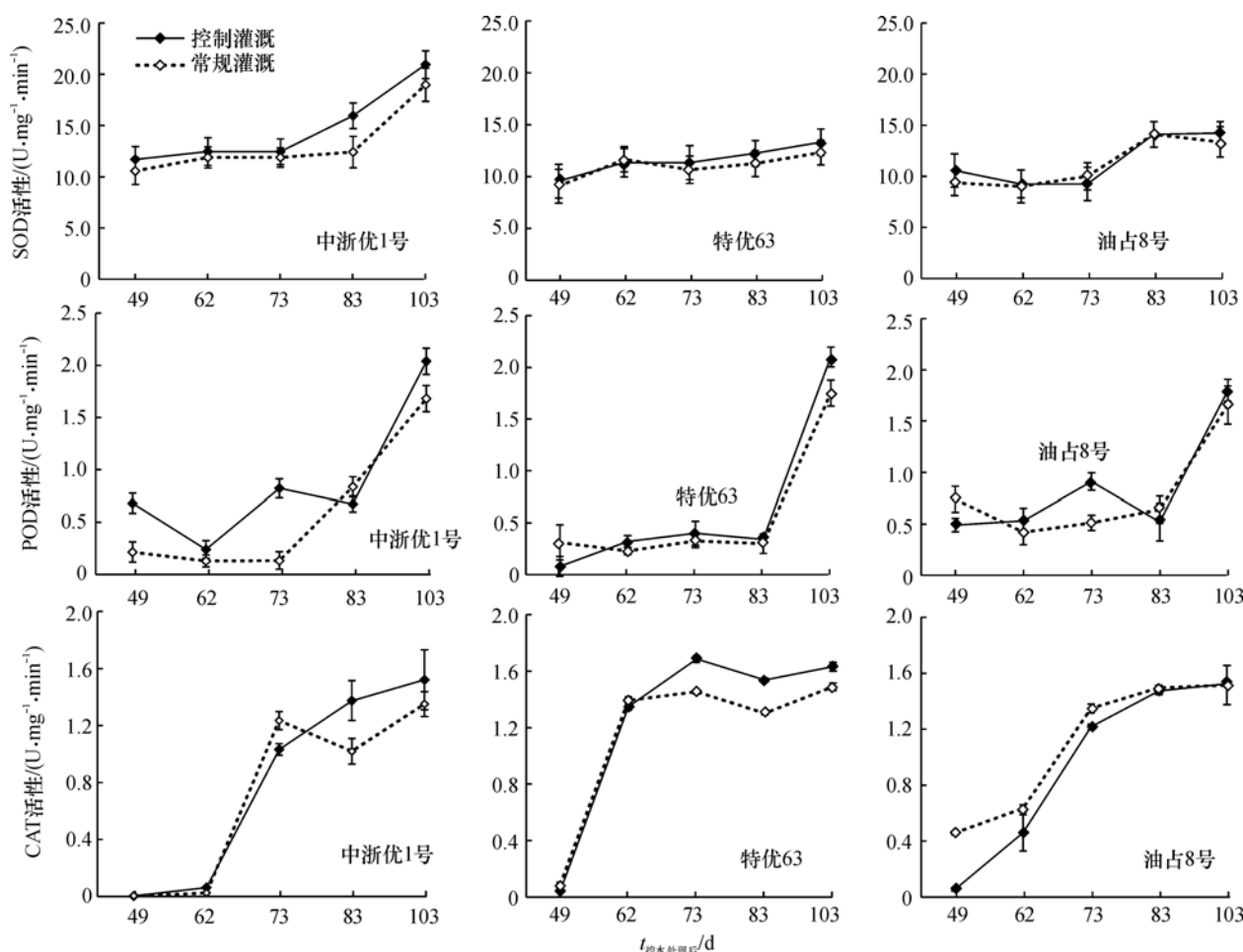


图4 不同控水方式对不同水稻品种叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig. 4 Effect of different irrigation methods on leaf superoxide dismutase, peroxidase and catalase activities for different rice cultivars

上述结果表明,不同控水方式对水稻上述生理指标的影响较小,因此,控制灌溉在依据土壤含水率对灌溉用水进行调节时,并没有对水稻产生过多水分胁迫压力。

2.3 控制灌溉与常规灌溉条件下不同水稻品种产量构成因子和产量

表 2 结果表明,控制灌溉产量构成因子与常规灌溉的差异因品种不同有所不同. 其中中浙优 1 号

控制灌溉千粒质量、结实率高于常规灌溉,其中控制灌溉结实率较常规灌溉差异达到了显著性水平($P < 0.05$),而有效穗数和穗长则低于常规灌溉;特优 63 控制灌溉除穗长、谷草比低于常规灌溉外,其余各指标均高于常规灌溉;油占 8 号控制灌溉千粒质量、有效穗数、谷草比均略高于常规灌溉,穗长与结实率则低于常规灌溉,但差异不显著。

表 2 不同控水方式对不同水稻品种产量构成因子的影响¹⁾

Tab.2 Effect of different irrigation methods to different rice cultivar on yield component

水稻品种	控水方式	千粒质量/g	单株有效穗数	穗长/cm	谷草比	结实率/%
中浙优 1 号	控制灌溉	26.33 ± 0.31a	9.73 ± 0.61a	27.09 ± 0.34a	0.84 ± 0.11a	0.88 ± 0.02a
	常规灌溉	25.84 ± 0.57a	9.80 ± 0.60a	27.68 ± 0.86a	0.99 ± 0.08a	0.82 ± 0.04b
特优 63	控制灌溉	26.81 ± 0.13a	10.20 ± 1.25a	23.90 ± 0.54a	0.81 ± 0.16a	0.86 ± 0.02a
	常规灌溉	26.67 ± 0.95a	9.60 ± 1.04a	24.17 ± 0.26a	0.83 ± 0.06a	0.84 ± 0.01a
油占 8 号	控制灌溉	16.45 ± 0.27a	12.73 ± 0.12a	22.15 ± 0.61a	1.10 ± 0.07a	0.89 ± 0.01a
	常规灌溉	15.87 ± 0.14a	11.87 ± 0.31a	22.35 ± 0.30a	1.05 ± 0.04a	0.91 ± 0.01a

1) 同一品种同列数据后凡是有一个小写字母相同者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法)。

控制灌溉实际产量与常规灌溉的差异因品种不同而有所差异(表 3),其中中浙优 1 号和油占 8 号控制灌溉实际产量低于常规灌溉,而特优 63 控制灌溉实际产量高于常规灌溉,这种变化可能受不同水稻品种对不同灌溉方式的适用性差异影响所致。

表 3 不同控水方式下不同水稻品种实际产量的影响¹⁾

Tab.3 Effect of different irrigation methods on yield for different rice cultivars

控水方式	产量/(kg · hm ⁻²)		
	中浙优 1 号	特优 63	油占 8 号
控制灌溉	6 292.8 ± 170.9b	6 374.93 ± 156.6a	4 404.99 ± 94.8b
常规灌溉	6 955.2 ± 97.7a	5 998.83 ± 150.3b	5 051.19 ± 128.7a

1) 同列数据后凡是有一个小写字母相同者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法)。

3 讨论与结论

水稻本田耗水量主要包括腾发量和土壤渗漏量 2 个部分. 研究表明,在充分供水条件下,其中部分腾发量为无效腾发量,生产上如降低这部分腾发量不但不减产,反而还有不同程度的增产和改善品质的作用^[23]. 山东济宁麦仁店实验站对中稻不同控水方式耗水量多年研究发现,淹水灌溉腾发量和田间渗漏量最大,控制灌溉最小^[4]. 中国水稻研究所对浙江杭州早、晚稻一年两熟不同控水方式需水量研究发现,控制灌溉早、晚稻两季总耗水量 803 mm,比淹水灌溉减少 39.7%^[24]. 朱士江等^[25]在三江平原对不

同控水方式水分利用效率研究发现,控制灌溉水稻水分利用效率为 3.16 kg/m³,淹水灌溉为 2.40 kg/m³,控制灌溉比淹水灌溉水分利用效率提高 31.7%. 彭世彰等^[26]通过多点水稻控制灌溉试验比较发现,与淹水灌溉相比,控制灌溉水稻需水量减少 34.6%. 上述结果说明,控制灌溉能够提高水稻灌溉水分利用效率,并具有明显的节水效果. 本研究也发现,3 种水稻品种控制灌溉较常规灌溉节约灌水量 60% ~ 75%,由于产量没有明显的增加,因而会提高水稻灌溉水分利用效率. 但是不同水稻品种节约灌水量有所差异,可能与不同水稻品种需水量大小不同有关。

赵丽英等^[27]研究发现玉米在水分亏缺越严重的处理复水后其叶片相对含水量增加越多,干旱时脯氨酸含量累积,而复水后其含量降低. 彭立新等^[28]研究水分胁迫后复水对不同苹果品种的抗氧化酶活性发现,POD、SOD、CAT 与 MDA 在水分胁迫下均不同程度地增高,在不同土壤含水量上出现峰值,复水后不同程度下降. 本研究发现,与常规灌溉相比,控制灌溉对叶片叶水势,MDA 和可溶性蛋白含量,以及 SOD、CAT、POD 活性的影响较小;随着灌水处理时间的延长,SOD、POD 和 CAT 活性,MDA 和可溶性蛋白含量均呈现不同程度的上升,叶水势下降. 这可能与水稻自然衰老有关,而控制灌溉对水稻生理作用不会产生明显的影响。

以往研究结果认为,水稻返青期、拔节孕穗期和

抽穗期对水分反应比较敏感,其他时期对水分反应迟钝;同时由于控制灌溉用水量减少,水稻在生长过程中积温较高,水稻千粒质量要高于常规淹灌方式。王秋菊等^[29]以绿洲2号和绥粳3号2个品种研究控水处理的水稻分蘖数、穗粒数、千粒质量及产量变化,发现产量比相应对照处理分别增产11.04%和8.24%,差异极显著。彭世彰等^[30]对宁夏引黄灌区控制灌溉条件下水稻产量分析发现,控制灌溉水稻有显著的节水增产效果,水稻单产10 398 kg/hm²,增产幅度为5.3%。但本研究控制灌溉3种水稻品种千粒质量、有效穗数、穗长、谷草比、结实率和产量与常规灌溉之间的差异不明显。

综上所述,控制灌溉水稻生理指标、产量构成因素和产量较常规灌溉的差异并不明显,但是节水效果显著,这表明控制灌溉是水稻种植中一种有效的节水灌溉方式。

参考文献:

- [1] 朱德峰,程式华,张玉屏,等. 全球水稻生产现状与制约因素分析[J]. 中国农业科学,2010,43(3):474-479.
- [2] 王增发,洪小康. 试论我国的节水灌溉技术[J]. 西北大学学报:自然科学版,1998,28(5):451-454.
- [3] 张自常,杨建昌. 旱作水稻产量和品质的形成特点及其生理基础[J]. 中国农学通报,2007,23(9):237-243.
- [4] 彭世彰,徐俊增,丁加丽,等. 节水灌溉与控制排水理论及其农田生态效应研究[J]. 水利学报,2007,10(增刊):540-510.
- [5] BELDER P, BOUMAN B A M, CABANGON R, et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia[J]. Agricultural Water Management,2004,65:193-210.
- [6] 彭世彰,俞双恩,张汉松,等. 水稻节水灌溉技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998:18-45.
- [7] GUO Shi-wei, CHEN Gui, ZHOU Yi, et al. Ammonium nutrition increase photosynthesis rate under water stress at early development stage of rice[J]. Plant Soil,2007,296:115-124.
- [8] 吕纯波,王福林,郭彦文. 控制灌溉条件下水稻抗逆能力分析[J]. 中国农村水利水电,2006(10):139-141.
- [9] 倪同坤,戴柏元,王卫军,等. 水稻控制灌溉技术在苏北沿海垦区的应用[J]. 江苏农业科学,2008(3):52-54.
- [10] 何静,谭继忠,牟江鹏. 水稻控制灌溉在鸡西灌区的推广应用[J]. 黑龙江水利科技,2008,3(36):186.
- [11] 张克文,武惠琴. 水稻节水高产控制灌溉技术推广及存在的问题[J]. 宁夏农林科技,2006,6:96,113.
- [12] 彭世彰,张正良,罗玉峰,等. 灌排调控的稻田排水氮素浓度变化规律[J]. 农业工程学报,2009,25(9):21-26.
- [13] 彭世彰,李道西,缴锡云,等. 节水灌溉模式下稻田甲烷排放的季节变化[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2006,32(5):546-550.
- [14] 刘广明,彭世彰,杨劲松. 不同控水方式下稻田土壤盐分动态变化研究[J]. 农业工程学报,2007,23(7):86-8915.
- [15] 赵合生,孙群,赵世杰. 植物生理生化技术实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:195-197.
- [16] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1992:197-212.
- [17] 张国盛,张仁陟,黄高宝. 水分胁迫条件下春小麦根系对施肥的响应[J]. 草业学报,2003,12(3):105-109.
- [18] 杨鑫光,傅华,张洪荣,等. 水分胁迫对霸王苗期叶水势和生物量的影响[J]. 草业学报,2006,15(2):37-41.
- [19] 黎裕. 植物的渗透调节与其他生理过程的关系及其在作物改良中的应用[J]. 植物生理学通讯,1994,30(5):377-385.
- [20] INOUE S, SAHARA Y. Soluble p protein expression in *E. coli* cells using IgG2 binding domain of protein A as a solubilizing partner in the cold induced system[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2008,376:448-453.
- [21] 毛桂莲,哈新芳,孙婕,等. NaCl胁迫下枸杞愈伤组织可溶性蛋白含量的变化[J]. 宁夏大学学报,2005,26(1):64-66.
- [22] 班青宇,耿建峰,侯喜林,等. 不结球白菜叶片脯氨酸与可溶性蛋白含量的QTL分析[J]. 南京农业大学学报,2010,33(2):35-38.
- [23] 匡尚富,高占义,许迪. 农业高效用水灌排技术应用研究[M]. 北京:中国农业出版社,2001:84-87.
- [24] 张薇,司徒淞. 稻田土壤水分优化调控技术研究[J]. 中国水稻科学,1995,9(4):211-216.
- [25] 朱士江,孙爱华,张忠学. 三江平原不同灌溉模式水稻需水规律及水分利用效率试验研究[J]. 节水灌溉,2009,12:12-14.
- [26] 彭世彰,朱成立. 节水灌溉的作物需水量试验研究[J]. 灌溉排水学报,2003,22(2):21-25.
- [27] 赵丽英,邓西平,山仑. 持续干旱及复水对玉米幼苗生理生化指标的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):59-61.
- [28] 彭立新,束怀瑞,李德全. 水分胁迫对苹果属植物抗氧化酶活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):44-46.
- [29] 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.
- [30] 彭世彰,郝树荣,刘庆,等. 节水灌溉水稻高产优质成因分析[J]. 灌溉排水,2000(3):3-7.