

灌溉模式对华南广适型超级稻产量、品质及水分利用效率的影响

罗炳顺¹ 潘圣刚¹ 林青山² 江奕君³ 陈金德⁴ 田 华¹ 唐湘如¹

(1. 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2. 广东省农作物技术推广总站, 广东 广州 510520;
3. 广东省农科院 水稻所, 广东 广州 510640; 4. 广东省生产力促进中心, 广东 广州 510520)

摘要: 以4个早晚兼用型超级稻品种(桂农占、玉香油占、合美占和胜泰1号)为材料,研究了大田条件下灌溉模式对不同基因型水稻品种的产量、品质及水分利用效率的影响。结果表明,与常规灌溉相比,半量灌溉条件下各水稻品种的每穗总粒数显著增加,稻米的整精米率和蛋白质含量显著提高,而且灌溉用水量显著减少,水分利用率的提高也达到显著水平。

关键词: 灌溉模式; 广适型超级稻; 产量; 品质; 水分利用效率

中图分类号: S275 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)06-0208-05

Effects of Irrigation Mode on Yields, Grain Qualities and Water Use Efficiency in South China Extensive-adaptation Super Rice

LUO Bing-shun¹, PAN Sheng-gang¹, LIN Qing-shan², JIANG Yi-jun³,
CHEN Jin-de⁴, TIAN Hua¹, TANG Xiang-ru¹

(1. College of Agriculture, South China University, Guangzhou 510642, China; 2. Agricultural Technology Extension Station in Guangdong Province, Guangzhou 510520, China; 3. Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 4. Center of Productivity Advance in Guangdong Province, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Effects of irrigation mode on yields, grain qualities and water use efficiency were studied using four extensive-adaptation super rices (Guinongzhan, Yuxiangyouzhan, Hemeizhan and Shengtai 1) in a field experiment. Compared by conventional irrigation (CI), total grain number per panicle was increased, head milled rice rate & protein content of grain improved under half amount of conventional irrigation (HACI), significantly. What is more, the amount of consumed water was remarkably decreased, water use efficiency markedly increased under HACI.

Key words: Irrigation mode; Extensive-adaptation super rice; Yield; Quality; Water use efficiency

水稻是我国种植面积和生产量最大的粮食作物,也是耗水量最多的作物,目前其耗水量占总用水量的54%左右,占农业总用水量的65%以上^[1]。水分是影响其生长发育的主要限制因子^[2-3]。在传统稻作生产中,采用“大水淹灌”的水分管理模式,不仅造成了水资源的严重浪费,而且由于土壤渗漏、地表径流、氮素挥发等因素引起了一系列的环境问题^[4-7]。为了节约淡水资源、提高水分利用效率、减

轻对环境的压力,湿润灌溉、干湿交替灌溉以及厢沟灌溉等节水灌溉技术越来越引起人们的重视^[8-16]。但以往的研究多集中在光温适应性比较窄的水稻品种方面。例如,单一的早稻、中稻或晚稻品种,而针对华南地区广适型早晚兼用型超级稻对不同灌溉模式的影响研究较少。为了研究不同灌溉模式对华南广适型早晚兼用型超级稻产量、品质及水分利用效率的影响,本研究设计了不同灌溉模式的大田试验,

收稿日期: 2012-08-23

基金项目: 农业部超级稻新品种选育与示范项目(农财发[2011]45号); 广东省水稻产业化推进关键技术研究与示范项目(2009B020201005); 广东省科技厅引导项目(2008B080703011); 广东省现代农业技术体系建设专项(粤财教[2009]356号; 粤财教[2011]5473号); 广东省农业攻关项目(2004B20101007); 教育部博士点基金(20104404120006); 广东省自然科学基金(1045106420100538)

作者简介: 罗炳顺(1967-),男,广西凌云人,在读博士,主要从事作物品质生理与化学调控研究。潘圣刚为同等贡献作者。

通讯作者: 唐湘如(1964-),男,湖南宁乡人,教授,博士生导师,主要从事作物栽培与生理研究。

以期华南地区早晚兼用型超级稻的大田生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料分别为桂农占、玉香油占、合美占和胜泰 1 号早晚兼用型超级稻品种,由广东省农业科学院水稻研究所提供。

1.2 试验设计与实施

试验于 2010 年早季在华南农业大学农学院农场进行。试验采用裂区设计,灌溉模式为主区,品种为副区,3 次重复。灌溉模式分别为:常规灌溉(Conventional irrigation, CI)和半量灌溉(Half amount of conventional irrigation, HACI)。常规灌溉处理:自水稻移栽后根据当地农户的种植习惯,在水稻的不同生育时期灌溉一定数量的水分,以满足水稻生长发育需要;半量灌溉处理:每次的灌溉用水量仅为常规灌溉用水量的 1/2,灌溉时间和灌溉次数同常规灌溉。在水稻的整个生育期内用水表量取灌水量,并且在半量灌溉小区上面装有防雨大棚,顶棚可以自由活动,下雨的时候关上,其他时候打开。小区面积为 20 m²。每小区之间筑埂并用塑料薄膜包埂,两边设有保护行。2 种灌溉处理均采用自来水灌溉,用水表严格计算灌水量。

试验于 2010 年 3 月 11 日播种,播后 27 d 移栽,大田栽插密度为 3.00×10^5 穴/hm²,等株行距栽插,每穴 3 个基本苗。氮肥施用总量为 150 kg/hm²,基肥占 40%,分蘖肥占 60%;钾肥(K₂O)施用总量为 150 kg/hm²,基肥占 60%,拔节肥占 40%;磷肥(P₂O₅)施用总量为 120 kg/hm²,作基肥一次性施用。以尿素、过磷酸钙及氯化钾分别作为氮肥、磷肥和钾肥。其他管理措施同一般高产稻田。

1.3 测定项目及方法

谷粒成熟时,在每小区中央选取 5 m² 收割计产,换算出实际产量。同时根据各个小区平均有效穗数选取 5 蔸带到室内考种(包括以下指标:每穗总粒数、实粒数、结实率及千粒质量)。

品质测定:精米直链淀粉含量和蛋白质含量用 FOSS-TECATOR 公司生产的近红外谷物分析仪(Infratec1241 grain analyzer)测定;糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、胶稠度等品质性状的测定方法参照中华人民共和国国家标准《GB/T 1789 - 1999 优质稻谷》执行。测定前各样本统一用 NP-4350 型风选机等风量风选。

水分利用效率测定:单位体积消耗的水量生产

的水稻籽粒产量来表示^[17]。

1.4 数据分析

运用 SAS 和 Excel 实用数据分析软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻产量及其构成因子的影响

灌溉模式对不同品种水稻产量构成因子产生重要的影响。从表 1 可以看出,半量灌溉模式处理水稻每穗总粒数显著高于常规灌溉,其值分别为 173.62, 163.81 粒/穗;水稻的结实率比常规灌溉处理也有一定程度的提高,但是,没有达到显著水平,其值分别为 77.49%, 75.12%。在相同的灌溉模式下,各水稻品种的产量及其构成因子的差异达到显著或极显著的差异。桂农占品种的收获产量最高,显著高于玉香油占,其值分别为 7.55, 6.68 t/hm²。而合美占每蔸的有效穗数显著高于玉香油占和胜泰 1 号,其值分别为 10.13, 8.82, 8.73 穗/蔸;胜泰 1 号每穗总粒数最多,显著高于玉香油占、桂农占和合美占,其值分别为 192.82, 161.36, 166.07, 161.36 粒/穗;合美占的结实率极显著高于玉香油占、桂农占和胜泰 1 号,其值分别为 91.23%, 80.54%, 68.58%, 64.87%;合美占的千粒质量最高,显著高于其他 3 个品种,值为 23.30 g。桂农占品种高产的原因是由于各个产量构成因子之间比较协调的缘故。而且,灌溉模式和品种的互作效应对水稻的收获产量及每穗总粒数的影响达到显著水平、对每蔸的有效穗数和千粒质量的影响达到极显著水平。

2.2 不同处理对稻米品质的影响

灌溉模式对各水稻品种的稻米品质产生重要影响。从表 2 可以看出,半量灌溉条件下稻米的整精米率和蛋白质含量显著高于常规灌溉,其值分别为 37.29%, 13.01 和 31.30%, 12.76, 其他品质性状的差异没有达到显著水平。在相同的灌溉模式下,各水稻品种稻米品质的差异达到显著水平。桂农占稻米的整精米率显著高于合美占、胜泰 1 号和玉香油占,其值分别为 39.68%, 36.16%, 32.53%, 28.83%;桂农占和玉香油占稻米的垩白度值较大,显著高于合美占和胜泰 1 号,其值分别为 15.64, 14.01, 12.14, 7.08;胜泰 1 号和玉香油占稻米的蛋白质含量较高,显著高于桂农占和合美占,其值分别为 13.08, 13.03, 12.73, 12.73;桂农占稻米的直链淀粉含量最高,显著高于其他 3 个品种,合美占稻米的直链淀粉含量最低,玉香油占和胜泰 1 号稻米的直链淀粉含量居中,其值分别为 18.15, 16.18, 14.93,

13.98。而且,灌溉模式和品种的互作效应对稻米蛋白质含量的影响达到显著水平。

表 1 不同处理水稻产量及其构成因子的差异

Tab. 1 Differences of yield and its component under different treatments

处理 Treatment	品种 Variety	有效穗/(穗/蔸) Valid panicle	总粒数/(粒/穗) Total grain	结实率/% Setting seed rate	千粒质量/g 1000-seed weight	收获产量/(t/hm ²) Harvest yield
常规灌溉 CI	桂农占	9.29	165.60	65.87	23.47	7.46
	玉香油占	9.08	152.60	80.11	22.33	6.92
	合美占	10.87	150.00	89.53	22.91	6.37
	胜泰 1 号	9.61	187.01	64.96	23.01	7.12
	平均	9.71a	163.80b	75.12a	22.93a	6.97a
半量灌溉 HACI	桂农占	9.35	166.54	71.29	22.39	7.64
	玉香油占	8.56	156.60	80.97	24.00	6.44
	合美占	9.40	172.72	92.93	23.69	6.23
	胜泰 1 号	7.86	198.63	64.78	22.07	6.50
	平均	8.79a	173.62a	77.49a	23.03a	6.71a
F 值	灌溉	0.17	15.31*	5.03	3.65	3.37
F value	品种	6.67*	9.98*	10.30**	5.43*	15.14*
	灌溉 × 品种	14.52**	6.96*	1.14	12.36**	7.04*

注:不同大小写字母和**, * 分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。表 2~4 同。

Note: Different capital and small letters and **, * mean significant at 1% and 5% levels respectively. The same as Tab. 2~4.

2.3 不同处理对各水稻品种的水分利用效率的影响

灌溉模式对各水稻品种的灌水量和水分利用率产生显著影响。从表 3 可以看出,半量灌溉处理水稻的灌溉用水量显著少于常规灌溉,其值分别为

3 392, 5174 m³/hm²,而水分利用率显著高于常规灌溉,其值分别为 2.97 和 2.02。不同水稻品种的灌溉用水量和水分利用率差异不显著。

表 2 不同处理稻米品质的差异

Tab. 2 Differences of grain qualities of rice under different treatments.

处理 Treatment	品种 Variety	糙米率/% Brown rice rate	精米率/% Milled rice rate	整精米率/% Head milled rice rate	垩白度 Chalkyness	蛋白质含量/% Protein content	直链淀粉含量/% Amylose content
常规灌溉 CI	桂农占	78.19	51.52	36.49	17.62	12.55	18.85
	玉香油占	78.52	49.07	27.23	14.82	13.10	16.00
	合美占	76.05	50.46	33.72	14.00	12.50	14.05
	胜泰 1 号	79.44	49.85	27.77	7.90	12.90	14.70
	平均	78.05a	50.22a	31.30b	13.58a	12.76b	15.90a
半量灌溉 HACI	桂农占	80.21	50.43	42.86	13.67	12.90	17.45
	玉香油占	76.20	49.08	30.44	13.21	12.95	16.35
	合美占	78.91	50.28	38.59	10.27	12.95	13.90
	胜泰 1 号	76.00	49.50	37.28	6.27	13.25	15.15
	平均	77.83a	49.82a	37.29a	10.85a	13.01a	15.71a
F 值	灌溉	8.77	5.69	7.86*	6.36	5.11*	1.15
F value	品种	1.16	4.55	12.10*	13.67*	9.77*	13.38*
	灌溉 × 品种	3.90	2.38	2.64	1.41	5.03*	1.30

2.4 不同灌溉模式下水稻产量及其构成因子与稻米品质的相关分析

稻米品质性状与水稻的收获产量及其构成因子与之间存在着显著或极显著的相关关系。从表 4 可

以看出,稻米的蛋白质含量与每穗总粒数存在极显著的正相关关系,而与有效穗数存在显著的负相关关系;稻米的直链淀粉含量与水稻的结实率存在显著的负相关关系,整精米率与水稻的收获产量存在

显著的正相关关系 ,而稻米的垩白度与水稻的收获 著的负相关关系。
产量存在显著的正相关关系 ,与每穗总粒数存在显

表 3 不同处理各品种的水分利用效率的差异

Tab.3 Differences of water use efficiency of rice under different treatments

处理 Treatment	品种 Variety	灌水量/(m ³ /hm ²) Amount of irrigation water	产量/(t/hm ²) Yield	水分利用率/% Water use efficiency
常规灌溉 CI	桂农占	5 474. 7	7. 46	2. 15
	玉香油占	4 919. 6	6. 92	2. 11
	合美占	4 593. 8	6. 37	2. 08
	胜泰 1 号	6 138. 0	7. 12	1. 74
	平均	5 174. 0	6. 97a	2. 02b
半量灌溉 HACI	桂农占	3 526. 2	7. 64	3. 25
	玉香油占	3 136. 4	6. 44	3. 08
	合美占	3 333. 8	6. 23	2. 80
	胜泰 1 号	3 571. 5	6. 50	2. 73
	平均	3 392. 0	6. 71a	2. 97a
F 值	灌溉	8. 23*	3. 37	6. 19*
F value	品种	3. 14	15. 14*	2. 55
	灌溉×品种	2. 68	7. 04*	1. 27

表 4 水稻产量及其构成因子与稻米品质性状的相关性分析

Tab.4 Correlations between rice yield & its components and grain qualities

	蛋白质含量 Protein content	直链淀粉含量 Amylose content	糙米率 Brown rice rate	精米率 Milled rice rate	整精米率 Head milled rice rate	垩白度 Chalkyness
收获产量 Harvest yield	- 0. 217 7	0. 417 5	0. 216 8	0. 247 2	0. 598 9*	0. 587 7*
有效穗 Valid panicle	- 0. 561 8*	- 0. 256 0	- 0. 033 1	0. 190 0	0. 128 3	0. 190 0
总粒数 Total grain	0. 736 8**	0. 050 8	- 0. 096 5	- 0. 419 9	0. 302 5	- 0. 537 2*
结实率 Setting seed	- 0. 184 1	- 0. 506 9*	- 0. 103 9	- 0. 078 5	- 0. 016 4	0. 178 1
千粒质量 1000-seed weight	- 0. 089 3	- 0. 018 0	0. 208 4	0. 318 8	- 0. 167 4	- 0. 083 3

3 讨论

传统意义的水稻淹水灌溉理论是建立在充分灌溉的基础上。在这种理论的支配下 ,水稻长期处于淹水状态 ,土壤内逐渐形成厌气状态 ,导致氧化还原电位急剧下降 ,使大量低价铁、锰、H₂S 及由各种有机物分解的有机酸出现 ,对水稻根系产生毒害 ,进而影响根系活力及对养分吸收。而干湿交替灌溉 ,土壤处于淹水 - 落干的状态 ,虽然氧化还原电位变动大 ,但不可能造成低氧强还原环境 ,这种通气良好的环境有利于水稻根系生长并保持较高的根系活力 ,增强了根系对养分的吸收能力 ,更加有利于水稻高产的形成^[18-19]。本研究结果表明 ,与常规灌溉 (CI) 相比 ,半量灌溉处理 (HACI) 不同水稻品种每穗总粒数和结实率都有一定程度的提高 ,然而 ,由于在水稻的返青期 ,气温过高 ,灌水量过少 ,导致部分基本苗死亡 ,从而对某些水稻品种的有效穗数产生一定的负面影响 ,仅有桂农占品种的收获产量有一定程度的提高。而且 ,桂农占品种产量较高的原因

也缘于其产量构成因素比较合理 ,有效穗数和每穗总粒数较多 ,籽粒较重 ,这与前人研究的结果基本一致^[17,19]。

试验结果还表明 ,与 CI 相比 ,HACI 处理显著提高了稻米的整精米率和蛋白质含量 ,可能是半量灌溉增强了子粒中的蔗糖合成酶等酶的活性 ,提高了淀粉积累速率和蛋白质合成数量^[20]。而且 ,半量灌溉处理还可以显著节约灌溉用水量 ,显著提高其水分利用效率 ,更加有利于水资源的高效利用。究其原因 ,主要是半量灌溉处理显著减少了田间水分的蒸发量和渗漏量而节约了耗水量 ,从而显著提高了水分利用效率。在本试验条件下 ,各水稻品种性状的表现趋势并不完全一致 ,可能与其品种特性也有一定的关系^[21-22] ,对此 ,还需要进一步深入研究。

参考文献:

[1] 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术 [M]. 北京: 中国农业科技出版社 ,1995: 3 - 50.
[2] Howell T A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture [J]. Agron J 2001 93: 281 - 289.

- [3] Gan Y T ,Lafond G P ,May W E. Grain yield and water use: relative performance of winter vs. spring cereals in east-central Saskatchewan[J]. Can J of Plant Sci 2000 , 80: 533 - 541.
- [4] 蒋静艳,黄耀,宗良纲. 环境因素和作物生长对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003 22(6): 711 - 714.
- [5] 李香兰,马静,徐华,等. 水分管理对水稻生长期 CH_4 和 N_2O 排放季节变化的影响[J]. 农业环境科学学报 2008 27(2): 535 - 541.
- [6] 刘慧,袁宏伟,朱方伟,等. 灌溉方式及腐植酸用量对温室内土壤 Cd 迁移的影响[J]. 农业环境科学学报 2010 29(7): 1310 - 1314.
- [7] 董蓓蓓,马淑花,曹宏斌,等. 我国农田总氮流失影响因素分析[J]. 农业环境科学学报 2011 30(10): 2040 - 2045.
- [8] 潘圣刚,曹凑贵,蔡明历,等. 氮肥运筹对水稻氮素吸收和稻田渗漏液氮素浓度影响[J]. 农业环境科学学报 2009 28(10): 2145 - 2150.
- [9] 黄新宇,徐阳春,沈其荣,等. 不同地表覆盖旱作水稻和水作水稻水分利用效率的研究[J]. 水土保持学报, 2003 17(3): 140 - 143.
- [10] Kumar R ,Sarawgi A K ,Ramos C ,et al. Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice [J]. Field Crops Res 2006 96: 455 - 465.
- [11] Jiang L G ,Dong D F ,Gan X Q ,et al. Photosynthetic efficiency and nitrogen distribution under different nitrogen management and relationship with physiological N-use efficiency in three rice genotypes [J]. Plant and Soil , 2005 271: 321 - 328.
- [12] Freney J R. Strategies to reduce gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture[J]. Nutr Cycl Agroecosyst 1997 48: 155 - 160.
- [13] Cabangon R J ,Tuong T P ,Castillo E G ,et al. Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield ,water productivity and nutrient-use efficiencies in typical lowland rice conditions in China[J]. Paddy Water Environ 2004 2: 195 - 206.
- [14] 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]. Agric Water Manag 2004 65: 193 - 210.
- [15] Liu X J ,Ai Y W ,Zhang F S ,et al. Crop production ,nitrogen recovery and water use efficiency in rice-wheat rotation as affected by non-flooded mulching cultivation (NFMQ) [J]. Nutr Cycl Agroecosyst 2005 71: 289 - 299.
- [16] 石英,沈其荣,茆泽圣,等. 旱作条件下水稻的生物效应及表层覆盖的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001 7(3): 271 - 277.
- [17] 程建平,曹凑贵,蔡明历,等. 不同灌溉方式对水稻产量和水分生产率的影响[J]. 农业工程学报 2006 22(12): 28 - 33.
- [18] Horie H ,Shiraiwa T ,Homma K ,et al. Can yields of lowland rice resume the increases that they showed in the 1980s? [J]. Plant Prod Sci 2005 8: 257 - 272.
- [19] 徐国伟,王朋,唐成,等. 旱种方式对水稻产量与品质的影响[J]. 作物学报 2006 32(11): 112 - 117.
- [20] 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[J]. 作物学报 2005 31(8): 1052 - 1057.
- [21] 张耀鸿,张亚丽,黄启为,等. 不同氮肥水平下水稻产量以及氮素吸收、利用的基因型差异比较[J]. 植物营养与肥料学报 2006 12(5): 616 - 621.
- [22] 尤小涛,荆奇,姜东,等. 节水灌溉条件下氮肥对粳稻产量和品质及氮素利用的影响[J]. 中国水稻科学 2006 20(2): 199 - 204.