

水分管理对免耕抛秧水稻根系生长及产量的影响

秦华东^{1,2} 江立庚^{1,*} 肖巧珍¹ 徐世宏³

(¹广西大学 作物栽培学与耕作学重点实验室, 广西 南宁 530005; ²广西大学 图书馆, 广西 南宁 530005; ³广西农业技术推广总站, 广西 南宁 530022; * 通讯联系人, E-mail: jiang@gxu.edu.cn)

Effect of Moisture Management on Rice Root Growth and Rice Grain Yield at Different Growth Stages under No Tillage

QIN Hua-dong^{1,2}, JIANG Li-geng^{1,*}, XIAO Qiao-zhen¹, XU Shi-hong³

(¹Key Laboratory of Crop Cultivation and Farming System of Guangxi University, Nanning 530005, China; ²Guangxi University Library, Nanning 530005, China; ³Guangxi Agricultural Technology Extension General Station, Nanning 530022, China; * Corresponding author, E-mail: jiang@gxu.edu.cn)

QIN Huadong, JIANG Ligeng, XIAO Qiaozhen, et al. Effect of moisture management on rice root growth and rice grain yield at different growth stages under no tillage. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(2): 209-212.

Abstract: The effect of different moisture management modes on root growth and rice grain yield under no tillage was studied. The results showed that dry-wet alternate irrigation had an obvious influence on rice grain yield, rice root growth, root length and physiology. The rice shoot dry weight and biomass per plant, root radius, root area, root number, root activity and superoxide dismutase (SOD) activity under dry-wet alternate irrigation were significantly higher than those under flooded irrigation. Dry-wet alternate irrigation significantly increased rice grain yield, which resulted from increased effective panicle number, spikelet number per panicle and seed setting rate, compared with flooded irrigation. The biomass per plant, root radins, root area, root number and SOD activity under dry-wet alternate irrigation were significantly higher than those under wetting irrigation. There were no significant difference in rice grain yield between the two treatments.

Key words: no tillage rice; moisture; root growth; yield; dry-wat alternate irrigation

秦华东, 江立庚, 肖巧珍, 等. 水分管理对免耕抛秧水稻根系生长及产量的影响. *中国水稻科学*, 2013, 27(2): 209-212.

摘 要: 研究了水分管理对免耕水稻根系生长和产量的影响。结果表明, 干湿交替灌溉对根系的伸长、生长、生理及分布具有较大影响, 水稻各生育期干湿交替灌溉处理水稻单株根干质量、单株生物量、根半径、根表面积、总根数、根系活力、超氧化物歧化酶活性均显著高于淹水淹灌。干湿交替灌溉处理实收产量显著高于淹水淹灌, 增产主要因子是有效穗数、每穗粒数和结实率。灌浆盛期干湿交替灌溉处理单株生物量、根半径、根表面积、总根数、超氧化物歧化酶活性均显著高于湿润淹灌, 水稻产量差异则不显著。

关键词: 免耕水稻; 水分管理; 根系生长; 产量; 干湿交替灌溉

中图分类号: Q945.17⁺1; S511.07 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7216(2013)02-0209-04

水稻对淹水和旱地环境的适应性均很强, 节水栽培潜力较大^[1]。水稻在水分胁迫的情况下产生了一系列的根系生理适应反应, 对提高植株水分生理利用效率起到促进作用^[2]。国内外研究表明, 水稻根系的生长发育与各种环境条件密切相关, 其中尤以水分、肥料、耕作措施、光照、温度影响较大^[3-6]。水分管理对根系生长影响较明显。张玉屏等^[7]认为土壤水分田间最大持水量的 70%~75% 时最有利于根系的生长发育, 根系活力较高。节水栽培条件下, 根系主要分布于中下层, 淹水田根系主要

分布于土壤上层。曾翔等^[8]认为湿润灌溉增大了水稻根系的密度, 提高了根系的活力。王栋等^[9]研究则表明免耕覆草旱作明显提高灌浆期水稻总根长和根数。研究还表明前期干旱对水稻根系生长发育影响较小, 后期干旱对根系生长发育具较大影响^[10]。这些报道主要围绕常耕生态条件下节水栽培对水稻根系的影响展开, 有关水分管理对免耕水稻不同生育期根系形态、生理特性及产量影响的报道还较少。为此, 我们利用根袋法对 3 种水分管理下免耕稻根系生长特性及产量进行了对比研

究,探明免耕条件下适宜的水分管理及其对根系特性的影响,为免耕栽培技术的大面积推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2008 年晚季在广西大学农学院试验基地进行。试验材料为三系籼型杂交水稻金优 253,种子由广西大学支农中心提供。试验田土壤基本理化性状如下:pH 值 6.57,有机质 22.6 g/kg,全 N 1.5 g/kg,速效磷 32.6 mg/kg,速效钾 113.5 mg/kg。试验在免耕条件下进行,前作为常耕抛秧水稻。根据水分管理设干湿交替灌溉(alternated irrigation, ALI)、湿润灌溉(wetting irrigation, WEI)和淹水淹灌(flooded irrigation, FI)3 种水分管理模式,每个处理 3 次重复,随机区组排列。抛秧前每小区埋入直径 15 cm、深 30 cm 的根袋 6 个(300 目的尼龙网袋)。小区面积 12.4 m²,小区四周筑高 30 cm、宽 20 cm 田基,田基盖塑料并入土 30 cm 以防肥水渗透。小区在筑好田基后喷农民乐 747,7 d 后灌水泡田,泡田 7 d 后抛秧。浸水 12 d 后的稻种按照 1 kg 稻种拌早育保姆剂 500 g 的比例进行处理,采用编织布隔层方式育秧,于 7 月 16 日播种,8 月 6 日当秧苗生长至 3~3.5 叶时选择均匀一致的健壮秧苗进行抛秧,小区内抛秧密度为 67.5 万/hm²基本苗,每个根袋抛秧生长一致的秧苗 1 株。其他管理措施按《广西免耕抛秧水稻栽培技术规程》进行。

3 个处理均按纯氮 195 kg/hm²、过磷酸钙 450 kg/hm²、氯化钾 225 kg/hm²施肥,折合每小区施 526 g 尿素,557 g 过磷酸钙和 279 g 氯化钾。磷肥作基肥一次性施用,氮肥按 $m_{\text{基肥}}:m_{\text{分蘖肥}}:m_{\text{穗肥}}=5:3:2$ 的比例施用,钾肥按 $m_{\text{基肥}}:m_{\text{分蘖肥}}:m_{\text{穗肥}}=6:2:2$ 的比例施用。其他管理措施按《广西免耕抛秧水稻栽培技术规程》进行。

水分控制:淹水淹灌,整个生育期田间始终保持约 3 cm 水层;干湿交替灌溉,抛秧时保持 1 cm 水层,自然落于 1 d 后(田间持水量为 70%)灌水继续保持 1 cm 水层;湿润灌溉,立苗期不建立水层,采用补水维持土壤湿润(田间持水量为 80%)。

1.2 测定指标与方法

在分蘖高峰期(抛秧后 25 d)、抽穗期和灌浆盛期(抽穗后 25 d)取样,每小区每次取 2 袋,用自来水小心冲洗收集全部根系,一袋计数根系数量和长度,计算根长密度,烘干称干质量。另一袋根系用于根系活力、超氧化物歧化酶活性的测定。采用 TTC(三苯基氯化四氮唑)还原法测定根系活力,交叉截取法测定总根长^[11],参照张宪政等^[11]的方法测定超氧化物歧化酶活性,参照文献^[12]的方法测定根表面积。

根长密度(RD)计算式^[13]: $RD=RL/RV$,根半径(R_R)= $(R_{FW}/RL \times \pi)^{1/2}$,根表面积(RS)计算式: $RS=2 \times \pi RR \times RL$ 。式中,RV 为根袋体积(cm³),R_{FW} 为根鲜物质量(g),RL 为总根长(cm), π 取 3.1416。

在成熟期,从每个小区的中心区收割 30 蔸,采用机器脱粒,晒干风选后称取风干质量,用烘干法测定样品的水分含量,根据水分含量计算稻谷的干质量,然后按 14% 的含水量计算稻谷产量。在测产取样的同时,每小区取 5 蔸代表性植株考种,考查水稻的产量构成。

1.3 数据处理

采用 SAS 9.0、Excel 2003 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 水分管理对免耕抛秧水稻根系生长的影响

2.1.1 单株根干质量、单株生物量

由表 1 可知,各生育期单株根干质量以干湿交替灌溉处理最高,湿润灌溉次之,淹水淹灌最低。干湿交替灌溉处理单株根干质量显著高于淹水淹灌处理,湿润灌溉处理分蘖高峰期和灌浆盛期单株根干质量显著高于淹水灌溉。分析表明,干湿交替灌溉对免耕抛秧水稻根系的生长有显著的促进作用。

与单株根干质量相似,各生育期单株生物量以干湿交替灌溉处理最高,湿润灌溉次之,淹水灌溉最低,干湿交替灌溉处理单株生物量显著高于淹水灌溉,灌浆盛期差异达极显著性水平,干湿交替灌溉处理灌浆盛期单株生物量显著高于湿润灌溉处理。分析表明,干湿交替灌溉对免耕抛秧水稻生物产量也有显著的促进作用。

2.1.2 根半径、根表面积

各生育期根半径以干湿交替灌溉处理最高,湿润灌溉次之,淹水灌溉最低,干湿交替灌溉处理灌浆盛期的根半径比湿润灌溉、淹水灌溉分别高 11.89% 和 31.25%,差异达显著水平,表明干湿交替灌溉对免耕抛秧水稻根系增粗影响较大。

干湿交替灌溉和湿润灌溉处理的单株根表面积显著高于淹水灌溉,干湿交替灌溉、湿润灌溉处理分蘖高峰期和抽穗期与淹水灌溉处理的差异达极显著性水平。干湿交替灌溉处理灌浆盛期的单株根表面积比湿润灌溉高 10.92%,差异达显著水平。说明干湿交替灌溉更有利于根系对养分的吸收,且在水稻生育后期表现更明显。

2.1.3 根长

淹水灌溉处理分蘖高峰期单株根长高于湿润灌溉、干湿交替灌溉处理,但差异不大。各生育期单条根长以淹水灌溉处理最高,湿润灌溉次之,干湿交替灌溉最低,淹水灌溉处理分蘖高峰期的单条根长比干湿交替灌溉、湿润灌溉分别高 17.69% 和 15.11%,差异达显著水平。说明淹水灌溉在水稻生育前期更有利于根系的伸长。

2.1.4 总根数、根长密度

除分蘖高峰期湿润灌溉处理的单株总根数略高于干湿交替灌溉外,干湿交替灌溉处理各生育期单株总根数均明显高于湿润灌溉,显著或极显著高于淹水灌溉处理,干湿交替灌溉处理灌浆盛期的单株总根数比湿润灌溉、淹水灌溉处理分别高 5.13%、13.94%,差异达显著和极

表 1 水分管理对免耕抛秧水稻不同生育期根系生长的影响

Table 1. Effect of moisture management on no-tillage and cast transplanting rice root growth at different growth stages.

生育时期 Growth stage	水分管理 Moisture management	单株根干质量 Root dry weight per plant/g	单株生物量 Biomass per plant/g	根半径 Root radins/mm	根表面积 Root area/cm ²	单株根长 Root length per plant/m
分蘖高峰期 Maximal tillering stage	DWAI	3.73 a	28.02 a	0.171 a	483.9 aA	43.55 a
	WEI	3.61 a	26.43 ab	0.166 a	454.0 aA	45.06 a
	FI	3.02 b	24.11 b	0.135 b	397.0 bB	46.83 a
抽穗期 Heading stage	DWAI	4.42 a	38.56 a	0.252 a	1064.3 aA	67.25 a
	WEI	4.17 ab	35.77 ab	0.241 a	1014.2 aA	67.01 a
	WLI	3.26 b	31.63 b	0.186 b	762.5 bB	65.28 a
灌浆盛期 Grain filling stage	DWAI	5.48 a	60.78 aA	0.273 a	1394.9 aA	81.36 a
	WEI	5.09 a	53.24 bAB	0.244 b	1257.6 bAB	82.07 a
	FI	4.25 b	46.31 cB	0.208 c	1057.1 cB	80.93 a

生育时期 Growth stage	水分管理 Moisture management	单条根长 Average root length/cm	单株总根数 Root number per plant	根长密度 Root length density /(cm·cm ⁻³)	根系活力 Root activity /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	超氧化物歧化酶活性 SOD activity /(U·g ⁻¹)
分蘖高峰期 Maximal tiller stage	DWAI	17.41 b	250.2 aA	0.80 b	72.43 aA	68.94 aA
	WEI	17.80 b	253.1 aA	0.83 ab	75.62 aA	61.73 bAB
	FI	20.49 a	228.6 bB	0.86 a	60.75 bB	45.62 cB
抽穗期 Heading stage	DWAI	18.06 a	372.4 aA	1.24 a	55.86 aA	72.33 aA
	WEI	18.52 a	361.8 aA	1.23 a	49.71 bAB	75.06 aA
	FI	18.97 a	344.2 bB	1.20 a	38.04 cB	56.72 bB
灌浆盛期 Grain filling stage	DWAI	15.22 a	534.7 aA	1.50 a	40.26 a	51.83 a
	WEI	16.14 a	508.6 bAB	1.51 a	37.55 ab	42.57 b
	FI	17.24 a	469.3 cB	1.49 a	34.68 b	46.16 ab

同一列中数字后跟相同大小写字母者表示差异未达 1% 和 5% 显著水平。
Different lowercase and uppercase letters after number indicate differences at $P<0.05$ and $P<0.01$ significance level. DWAI, Dry-wet alternate irrigation; WEI, Wetting irrigation; FI, Flooded irrigation.

显著性水平。3 个处理间根长密度的差异不大,干湿交替灌溉、湿润灌溉处理生育后期根长密度略高于淹水灌溉处理。

2.1.5 根系活力、超氧化物歧化酶活性

干湿交替灌溉、湿润灌溉处理各生育期根系活力均高于淹水灌溉,其中,在分蘖高峰期差异达极显著水平,抽穗期差异达显著水平;干湿交替灌溉处理抽穗期、灌浆盛期根系活力高于湿润灌溉,其中,在抽穗期差异达显著水平。表明干湿交替灌溉对免耕抛秧水稻根系活力具有明显的促进效果。

3 个处理根系的超氧化物歧化酶活性最高值出现在抽穗期。除灌浆盛期湿润灌溉处理根系 SOD 活性略低于淹水灌溉外,干湿交替灌溉、湿润灌溉处理各生育期水稻根系 SOD 活性均显著高于淹水灌溉,抽穗期差异达极显著水平,干湿交替灌溉处理分蘖高峰期、灌浆盛期显著高于湿润灌溉处理。表明干湿交替灌溉更有利于提高免耕抛秧水稻根系的抗氧化能力和维持根系质膜的相对稳定性。

2.2 水分管理对免耕抛秧水稻产量及产量构成因素的影响

干湿交替灌溉处理实收产量分别比湿润灌溉、淹水灌溉处理高 1.89% 和 5.89%,与淹水灌溉处理差异达显

著水平。
产量构成因素方面,干湿交替灌溉处理的有效穗数比湿润灌溉和淹水灌溉处理分别高 3.50% 和 6.75%,每穗粒数分别高 4.37% 和 6.81%,结实率分别高 0.74%、5.35%,千粒重分别高 5.87%、1.87%,其中与淹水灌溉处理的有效穗数、每穗粒数和结实率差异达显著水平。

3 讨论

前人研究表明^[14-15],在常规耕作条件下,干湿交替灌溉可增强水稻灌浆前期的生理活性,改善根系和冠层性能,有利于籽粒灌浆,显著提高水稻产量。产量增加的主要原因是干湿交替灌溉提高了水稻结实率。本研究结果表明,在免耕条件下,干湿交替灌溉水稻产量分别比湿润灌溉和淹水灌溉水稻高 1.89% 和 5.90%,其增产的主要原因是有效穗数较多和结实率较高。

本研究还表明,干湿交替灌溉促进了免耕水稻地下根系的生长,其在分蘖期、抽穗期和灌浆结实期的根系生长量较大,根系的活性较高。根系生长和地上部植株的生长是相互关联的。前人研究表明,根系的形态、生理活性对产量及产量构成因素有重大影响。陈春焕等^[16]认为对产量影响最大的是短根数和长根重,对产量影响最小的是伤流量。石庆华等^[17]研究表明水稻产量受根数、

表 2 水分管理对免耕抛秧水稻产量及其构成因素的影响

Table 2. Effect of moisture management on rice yield and its components under no tillage.

水分管理 Moisture management	有效穗数 Effective panicle number /($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗粒数 Spikelet number per panicle	结实率 Seed setting rate/%	千粒重 1000-grain weight/g	理论产量 Theoretic yield /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	实际产量 Harvest yield /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
DWAI	255.47 a	169.5 a	85.39 a	24.51 a	9.06 a	7.01 a
WEI	246.82 ab	162.4 ab	84.76 ab	23.15 b	7.87 ab	6.88 ab
FI	239.31 b	158.7 b	81.05 b	24.06 ab	7.41 b	6.62 b

同列数据后跟相同小写字母者表示差异未达 0.05 显著水平。
Mean values followed by the common lowercase letters were not different at 0.05 significance level. DWAI, Dry-wet alternate irrigation; WEI, Wetting irrigation; FI, Flooded irrigation.

根体积、根重影响较大,而根重与千粒重、穗数,根数与穗重、穗数等密切相关。根干物质量、根系数量及冠根比对产量有显著影响,其中根系数量与产量显著正相关^[16]。因此,可以认为,干湿交替灌溉的土壤环境为免耕水稻根系生长提供了有利的条件,并通过其地下根系的生长促进地上植株的生长和发育,实现了有效穗数和结实率的提高,并达到增产的目的。

与常耕栽培水稻相同,免耕水稻的高产高效栽培需要综合应用各种栽培措施。本研究仅对水分管理模式对免耕水稻根系生长及产量影响进行了研究,水分管理与其他栽培因子对免耕水稻的综合影响及其生理机理还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 余叔文. 不同生长时期土壤干旱对作物的影响. 作物学报, 1962(4):399-410.
[2] 朱庭芸. 水稻灌溉的理论与技术. 北京:中国水利水电出版社, 1998:79-92.
[3] Osaki M, Iyoda M, Yamada S, et al. Effect of mutual shading on carbon distribution in rice plant. *Soil Sci Plant Nut*, 1995, 41(2): 235-244.
[4] Sheurdzhen A. Alteration of physiological activity of system as affected by micro-fertilizers. *Soviet Agric Sci*, 1992, 6:10-13.
[5] Kujira Y. The effect of cultivation conditions on the root system of Koshihidari. *Agric Horti*c, 1990, 65(10): 1193-1195.
[6] 蔡昆争, 骆世明, 段舜山. 水稻根系在根袋处理条件下对氮养

分的反应. 生态学报, 2003, 23(6):1109-1116.
[7] 张玉屏, 李金才, 黄义德, 等. 水分胁迫对水稻根系生长和部分生理特性的影响. 安徽农业科学, 2001, 29(1):58-59.
[8] 曾翔, 李阳生, 谢小立, 等. 不同灌溉模式对杂交水稻生育后期根系生理特性和剑叶光合特性的影响. 中国水稻科学, 2003, 17(4):355-359.
[9] 王栋, 李大明, 李辉信. 免耕覆草旱作条件下水稻的生长特性. 中国水稻科学, 2009, 23(5):517-522.
[10] Ketcheson J. Conservation tillage in eastern Canada. *J Soil Water Conser*, 1977, 32:57-60.
[11] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1994.
[12] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏. 土壤条件对陆稻根系生长的影响. 土壤学报, 2002, 39(4): 590-598.
[13] 杨长明, 杨林章, 欧阳竹. 不同养分与水分管理对水稻植株根系形态及其活力的影响. 中国生态农业学报, 2004, 44(2):265-271.
[14] 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.
[15] 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.
[16] 陈春焕, 骆世明, 李鸿武, 等. 水稻根系与产量构成关系的研究. 华南农业大学学报, 1993, 14(2):18-23.
[17] 石庆华, 黄英金, 李木英, 等. 水稻根系性状与地上部的相关及根系性状的遗传研究. 中国农业科学, 1997, 30(4):61-67.
[18] 张传胜, 王余龙, 龙银成, 等. 影响籼稻品种产量水平的主要根系性状. 作物学报, 2005, 31(2):137-143.