

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

曾翔¹ 李阳生^{1,2,*} 谢小立¹ 肖国樱¹ 廖江林¹

(¹中国科学院亚热带区域农业研究所, 湖南长沙 410125; ²武汉大学生命科学院, 湖北武汉 430072; *通讯联系人)

Effects of Different Irrigation Patterns on Physiological Characteristics of Root and Photosynthetic Traits of Flag Leaf after Flowering Stage in Hybrid Rice

ZENG Xiang¹, LI Yang-sheng^{1,2,*}, XIE Xiao-li¹, XIAO Guo-ying¹, LIAO Jiang-lin¹

(¹Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; ²College of Life Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; * Corresponding author)

Abstract: The physiological characteristics of root and flag leaf in two hybrid rice, Honglianyou 6 and Liangyou 1193, after flowering stage under different irrigation patterns were studied. Root density and activity were higher under controlled damp irrigation than those of submerged irrigation. Chlorophyll contents in flag leaf under controlled damp irrigation were not different at flowering stage, but distinctly higher at mature stage compared with that under submerged irrigation. Net photosynthetic rate of flag leaf under controlled damp irrigation also significantly higher than that of submerged irrigation at reproductive stage. Compared with submerged irrigation, two hybrid rice combinations had higher community growth rate (CGR) and relative growth rate (RGR), and obtained higher grain yield under controlled damp irrigation. The higher yield might result from enhancement of the dry matter accumulation favorable to the grain development at reproductive stage under controlled damp irrigation.

Key words: hybrid rice; irrigation pattern; root; photosynthetic rate; physiological characteristics

摘要: 对杂交水稻组合红莲优6和两优1193在淹水灌溉和湿润灌溉两种灌溉模式下生育后期的根系和光合生理特性进行了比较分析。结果显示,湿润灌溉增大了水稻根系密度,提高了根系活力,相关分析显示根系密度与根系活力呈正相关($r_1=0.66$, $r_2=0.68$)。齐穗期剑叶叶绿素含量处理间差异不显著,但成熟期湿润灌溉显著高于淹水灌溉,推测湿润灌溉有利于剑叶功能期的延长和光合速率的提高。湿润灌溉条件下,群体生长率和相对生长率均显著高于淹水灌溉,表明湿润灌溉有利于水稻生殖生长期的干物质积累。上述结果可能是湿润处理条件下水稻单位面积的产量极显著高于淹水处理的主要原因。

关键词: 杂交水稻; 灌溉模式; 根系; 光合速率; 生理特性

中图分类号: S311; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2003)04-0355-05

水稻是湿生植物,起源于沼泽地,经过长期的系统演化,在结构和功能上都形成了对少氧或短期缺氧的特殊适应能力,具有“半水生性”^[1,2],但长期的淹灌对水稻的生长发育是不利的^[3]。杂交水稻生育后期根系和功能叶的早衰对其产量的影响已经引起人们的重视,并逐渐认识到根系的早衰是引起植株早衰的重要原因之一。

过去,节水灌溉在我国北方的单季稻上研究得比较多^[4],南方双季稻区水稻节水灌溉未得到足够重视。近年来,我国南方红壤丘陵地区水资源短缺日益严重,季节性干旱问题逐步引起重视。前人就节水栽培水稻的增产效应^[3~6]、节水效应^[7~11]、群体特征^[3,11]都做了广泛的研究,但是节水栽培对杂交水稻后期的根系特性和叶片光合特性的影响尚未见报道。本研究比较“湿润灌溉”和“淹水灌溉”对杂交水稻组合红莲优6和两优1193生育后期根系和

叶片光合生理特性的影响,现将初步的研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2002年4月至2002年9月在中国科学院亚热带区域农业研究所桃源实验站完成。该站位于湖南省桃源县漳江镇宝洞峪村(111°30'E, 28°55'N),地处武陵山区向洞庭湖平原过渡的山丘地带,海拔92.2~125.3 m,年日照时数1520 h,为典型的亚热带季风区。土壤为红壤和红壤性水稻土,土壤肥力:全磷0.055%,全钾1.24%,全氮0.145%,速效磷5.88 mg/kg,速效钾74.37 mg/kg,有效氮

收稿日期: 2002-12-19; 修改稿收到日期: 2003-04-15。

基金项目: 中国科学院创新工程方向项目(KSCX2-1-01-2)。

第一作者简介: 曾翔(1976-),男,在读硕士研究生。

0.013%, 有机质 2.52%。

1.2 供试组合与处理

供试组合为三系杂交稻组合红莲优6号和两系杂交稻组合两优1193, 均由武汉大学生命科学院遗传研究所提供。试验设计为灌溉模式 \times 品种两因素试验。灌溉模式设为长期淹水灌溉和湿润灌溉。淹水灌溉: 按常规的水稻灌溉方式, 即长期淹水灌溉, 保持5~10 cm的水层, 收获前15 d逐步落干。湿润灌溉: 采用“干干湿湿”交替的方法灌溉, 田间不建立水层, 收获前15 d不再灌溉。裂区设计, 灌溉模式为主区, 品种为小区。小区面积为6 m \times 6 m, 重复2次。主区间为水泥田埂。采用软盘育秧, 4月18日播种, 5月10移栽, 栽插规格为25 cm \times 25 cm, 单本栽植。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素含量和叶片净光合速率的测定

剑叶叶绿素含量测定采用 Arnon 的方法^[12], 齐穗后每隔5~10 d测定1次; 剑叶净光合速率测定采用美国产的 CI-301PS 便携式光合作用测定仪测定剑叶中部的(正面朝上)净光合速率, 齐穗后选择晴朗天气在上午9:00~10:30每隔5~10 d测定1次。

1.3.2 根系活力的测定

根系活力采用 α -萘胺法^[13]。根系取样采用整段土法, 用高压水冲洗干净, 于齐穗后每5~10 d每小区取5株代表性植株根系进行测定。

1.3.3 干物质量的测定

干物质量的测定于齐穗后每5~10 d每小区取

代表性植株5株, 于105℃烘箱中杀青30 min后于80℃下烘干至恒重, 于玻璃干燥器内冷却至室温后用1/100电子天平称重。相对生长率和群体生长率采用已知公式计算。

1.3.4 考种和测产

谷粒成熟时, 每小区取5株, 风干后考查总粒数、实粒数、结实率、千粒重等。各小区全收测产。

2 结果与分析

2.1 根系密度

试验结果表明(图1), 不论红莲优6还是两优1193在齐穗后不同生育时期的根系密度(地表以下25 cm单位土壤体积的根系干物质量)都存在明显的差异, 湿润条件下的水稻根系密度要大于淹灌条件下的根系密度。说明湿润灌溉能够促进水稻根系的生长, 延长根系的生命周期, 从而增大了水稻的根系密度。前人的研究认为当稻田无水层而保持湿润时, 由于土壤的热容量减小, 稻田土表、土层昼夜温差加大, 日平均温度提高, 日最高温度上升^[14]。这种增温效应可提高土壤微生物活性, 活化土壤养分, 从而促进根系的生长发育。本研究结果佐证了这一观点。

2.2 根系活力

水稻根对 α -萘胺的氧化力是根系活力的一个重要指标。从结果看(图2), 两种灌溉模式下水稻齐穗后的根系活力都呈下降趋势, 但是湿润处理的两个杂交水稻组合的根系活力在齐穗后的整个生育期都要高于淹灌处理。对湿润条件下水稻根系活力

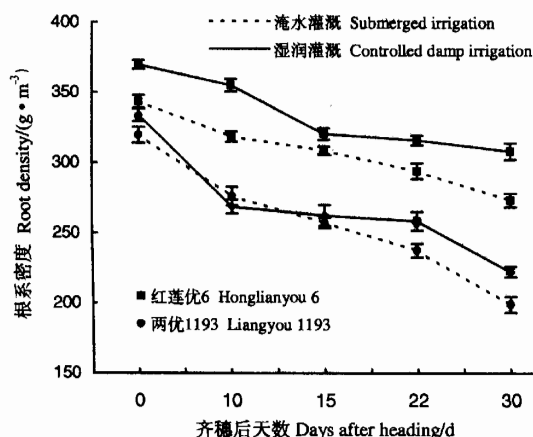


图1 不同灌溉模式下水稻生育后期根系密度变化

Fig. 1. Change of rice root density after flowering stage under different irrigation patterns.

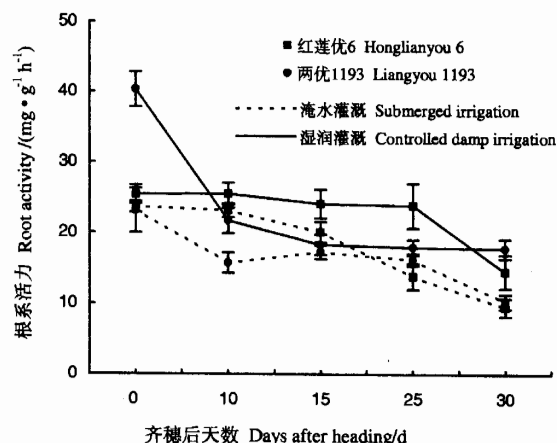


图2 不同灌溉模式下水稻生育后期根系的 α -萘胺氧化力变化

Fig. 2. Change of rice root activity after flowering stage under different irrigation patterns.

和根系密度的相关分析还表明两者呈正相关($r_1 = 0.66$, $r_2 = 0.68$)。由于湿润灌溉能够改变土壤氧化还原电位和通透性,提高土壤氧气含量^[15],这有利于水稻根系生长发育,从而使水稻根系的数量和质量都有所改善。

2.3 剑叶叶绿素含量和净光合速率

不同灌溉模式处理的剑叶叶绿素含量如表 1 所示。齐穗期和抽穗后 15 d,两种灌溉模式对水稻剑叶叶绿素含量影响的差异不明显,而成熟期差异显著($F_{\text{红莲优6}} = 96.1$, $P < 0.05$; $F_{\text{两优1193}} = 43.6$, $P < 0.05$)。水稻抽穗期到成熟期剑叶叶绿素的日降解速度处理间差异显著($F_{\text{红莲优6}} = 32.0$, $P < 0.05$; $F_{\text{两优1193}} = 21.2$, $P < 0.05$)。无论是红莲优 6 还是两优 1193,水稻抽穗后剑叶叶绿素含量的日衰减幅度湿灌小于淹灌,成熟期的剑叶叶绿素含量都是湿灌大于淹灌。这也为湿灌水稻后期具有较高的光合速率提供了物质基础。

由表 2 可见,湿灌条件下水稻齐穗后各个时期的剑叶净光合速率显著高于淹灌处理。水稻齐穗后剑叶净光合速率是水稻产量的重要保证,湿灌条件下产量的增加与此有很大关系。湿灌条件下水稻齐穗后剑叶有较高的净光合速率可能与其后期有比较大的根系密度和较高的根系活力有关。

2.4 群体生长率和相对生长率

群体生长率(CGR)表示单位时间内单位面积上所增加的干物质量。相对生长率(RGR)是指这段时间内的生长效率。从表 3 可知,在水稻抽穗后,湿润处理的 CGR、RGR 要高于淹灌处理。就 CGR 而言,湿灌处理分别比淹灌处理高 50.6% 和 23.1%,差异达极显著水平($F_{\text{红莲优6}} = 15507.7$, $P < 0.01$; $F_{\text{两优1193}} = 9112.5$, $P < 0.01$);就 RGR 而言,湿灌处理分别比淹灌处理高 20.5% 和 32.7%,差异也达到显著水平($F_{\text{红莲优6}} = 40.5$, $P < 0.05$; $F_{\text{两优1193}} = 171.1$, $P < 0.01$)。湿灌处理水稻抽穗后有较高的 CGR 和 RGR,表明其有较高的群体光合效率,有利于后期籽粒的充实。

2.5 产量和产量构成因子

由表 4 可知,不同灌溉模式对水稻产量和产量构成因子有较大的影响。湿灌处理的实际产量极显著高于淹灌处理($F_{\text{红莲优6}} = 3003.1$, $P < 0.01$; $F_{\text{两优1193}} = 3503.4$, $P < 0.01$),产量构成因素也较合理。红莲优 6 湿灌处理的各产量构成因子都要高于淹灌处理;两优 1193 湿灌处理在穗粒数和实粒数上低于淹灌处理,但是由于其单位面积的有效穗数要远远高于淹灌处理,所以其单位面积的总粒数和实粒数仍然要高于淹灌处理。有效穗数与水分处理

表 1 不同灌溉模式对水稻剑叶叶绿素含量的影响

生育期 Growth stage	红莲优 6 Honglianyou 6		两优 1193 Liangyou 1193	
	淹灌	湿灌	淹灌	湿灌
	Submerged irrigation	Controlled damp irrigation	Submerged irrigation	Controlled damp irrigation
齐穗期 Heading stage	3.66	3.71	3.54	3.45
齐穗后 15 d 15 days after heading	1.70	1.89	2.09	2.09
成熟期 Mature stage	0.95 b	1.26 a	1.34 b	1.62 a
日衰减幅度 Range of reduction per day	0.090 a	0.082 b	0.073 a	0.061 b

同一组合同一生育期比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。
In a row, different letters mean significant difference at 0.05 level, within a hybrid rice combination.

表 2 不同灌溉模式对水稻剑叶净光合速率的影响

生育期 Growth stage	红莲优 6 Honglianyou 6		两优 1193 Liangyou 1193	
	淹灌	湿灌	淹灌	湿灌
	Submerged irrigation	Controlled damp irrigation	Submerged irrigation	Controlled damp irrigation
齐穗期 Heading stage	41.37 b	51.21 a	32.40 B	45.16 A
齐穗后 15 d 15 days after heading	4.19 B	4.57 A	6.81 b	8.56 a
成熟期 Mature stage	2.74 b	2.93 a	3.15 B	4.31 A

同一组合同一生育期比较,不同大小写字母表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。表 3、表 4 同。

In a row within a hybrid rice combination, data followed by different lowercase and uppercase letters indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same as in tables below.

表3 不同灌溉模式对水稻生育后期群体生长率和相对生长率的影响

Table 3. Effects of different irrigation patterns on community growth rate(CGR) and relative growth rate(RGR) after flowering stage in rice.

项目 Item	红莲优6 Honglianyou 6		两优1193 Liangyou 1193	
	淹灌 Submerged irrigation	湿灌 Controlled damp irrigation	淹灌 Submerged irrigation	湿灌 Controlled damp irrigation
群体生长率 CGR	8.87 B	13.36 A	11.67 B	14.37 A
相对生长率 RGR	0.0088 b	0.0106 a	0.0113 B	0.0150 A

表4 不同灌溉模式对水稻产量和产量构成因子的影响

Table 4. Effects of different irrigation patterns on grain yield and its components in rice.

项目 Item	红莲优6 Honglianyou 6		两优1193 Liangyou 1193	
	淹灌 Submerged irrigation	湿灌 Controlled damp irrigation	淹灌 Submerged irrigation	湿灌 Controlled damp irrigation
穗粒数 Total grains per panicle	150.34 B	171.35 A	157.95	145.50
实粒数 Filled grains per panicle	127.50 B	152.01 A	132.12	127.91
结实率 Seed-setting rate/%	84.18 B	88.70 A	83.62 B	87.90 A
千粒重 1000-grain weight/g	27.24	27.64	30.90	31.22
有效穗 Effective panicle /($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	204.42 B	252.76 A	168.28 B	223.95 A
小区产量 Plot yield /kg	20.91	26.14	18.39	24.76
产量 Yield /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	6.21 B	7.76 A	5.46 B	7.35 A
理论产量 Theoretic yield /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	7.09	10.59	6.86	8.94

的关系最大,观察结果表明湿灌处理的有效穗数要显著高于淹灌处理($F_{\text{红莲优6}} = 128$, $P < 0.01$; $F_{\text{两优1193}} = 344.4$, $P < 0.01$),这也是湿灌能获得较高产量的重要原因。湿灌处理在生育后期的各种生理指标都要优于淹灌处理,干物质的积累和运转也要高于淹灌处理,所以其结实率也要高于淹灌处理,但是由于其库容量显著增大,千粒重的差异不显著。

3 讨论

湿润灌溉对水稻的增产作用,已经形成共识。许多研究者从生理^[4~6,9]和生态^[10,11]两方面探讨了其增产的机理。本研究表明水稻开花后,湿灌有利于植株在生育后期维持较高的根系活力从而保证了根系营养物质对地上部分的供应,防止叶片的早衰。使各种生理机能都有了保证,特别是光合作用和干物质的运转能顺利进行。湿灌水稻剑叶能在生育后期始终维持较高的光合速率,确保了水稻具有充足的“源”,从而促进了籽粒充实,提高了水稻产量。同时湿润灌溉促进了有效分蘖的物质生产,有效穗极显著高于淹灌水稻,增大了水稻“库”容,这也是湿灌水稻高产的原因之一。

淹灌水稻一个很重要的生理特征就是根系的早衰,根系的早衰是水稻早衰的主要原因,根系的代谢变化影响整个植株的代谢变化。淹灌水稻在齐穗后无论是根系数量还是根系质量都要低于湿灌水稻,

而且其衰老速度要快于湿灌水稻。淹灌水稻生育后期在伴随剑叶叶绿素含量迅速降低的同时剑叶光合速率也迅速降低,其群体生长率和相对生长率也小于湿灌水稻。这些都表明“源”不足可能是导致其产量降低的重要原因。

也有研究认为在旱作条件下,水稻根系由于衰老进程缓慢,代谢旺盛,与“库”争“源”,阻碍了籽粒充实,导致产量减低^[16]。而本研究表明水稻在湿灌条件下生育后期具有旺盛的根系生理活性是其高产的重要原因。推测造成这两种研究结果差异的主要原因是“源”是否充足。在湿灌条件下后期较高的群体光合速率保证了根系和籽粒对“源”的双向需求,而高质量的水稻根系也为植株提供了必要的营养物质,延缓了功能叶的衰老。但是,如果单纯以湿灌技术来增加土壤的含氧量,促进根系的生长,防止根系早衰,忽视必要的土壤养分支持就可能如同水稻旱作条件下出现叶片光合功能早衰的现象。因此,在湿灌条件下也必须强调水稻植株的氮素营养。总之,协调好根系与地上部分的关系,确保水稻植株既要具有旺盛生理活力的稻根系统,又要具有合理而高效的冠层系统,这是水稻获得高产的重要保证。

参考文献:

- 1 Yang S R (杨守仁). Discussion on rice semi-aquatic nature. In: Dissertation on Rice Special Topics(水稻专题论文集). Beijing:

- Agricultural Press(农业出版社), 1989. 1—12. (in Chinese)
- 2 Tanaka S. Rice Basal Physiology and Ecology(水稻的基础生理和生态). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press(上海科学技术出版社), 1987. 56—59. Translated by Zhu Q S(朱庆森译)(in Chinese)
 - 3 Ito O, Ella E, Kawano N. Physiological basis of submergence tolerance in rainfed lowland rice ecosystem. *Field Crops Res*, 1999, 64(1-2): 75—90.
 - 4 Chen G L(陈国林), Wang R M(王人民), Wang Z Q(王兆寿). Effects of different irrigation patterns on the yield and physiological characteristics of rice. *Chinese J Ecology* (生态学杂志), 1998, 17(3): 20—26. (in Chinese with English abstract)
 - 5 Peng S Z(彭世彰), Hao S R(郝树荣), Liu Q(刘庆). Study on the mechanics of yield-raising and quality-improving for paddy rice under water-saving irrigation. *Irrigation and Drainage* (灌溉排水), 2000, 19(3): 3—7. (in Chinese)
 - 6 Yang J C(杨建昌), Zhu Q S(朱庆森), Wang Z Q(王志琴). Effect of nitrogen nutrition on rice yield and its physiological mechanism under different status of soil moisture. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1996, 29(4): 58—66. (in Chinese with English abstract)
 - 7 Chen G L(陈国林), Wang Z Q(王兆寿). The effect of controlled moisture condition irrigation on rice growth and water requirement. *J Zhejiang Agric Univ* (浙江农业大学学报), 1997, 23(2): 123—127. (in Chinese with English abstract)
 - 8 Cheng W D(程旺大), Zhao G P(赵国平), Wang Y J(王岳钧), et al. Rice cultivation for water-saving and high-efficiency in Zhejiang Province. *Res Agric Modern* (农业现代化研究), 2000, 21(3): 197—200. (in Chinese with English abstract)
 - 9 Situ S(司徒淞), Zhang W(张薇). Water saving and high yield irrigation model on lowland paddy field. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 1991, 5(3): 127—132. (in Chinese with English abstract)
 - 10 Bouman B A M, Tuong T P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric Water Manage*, 2001, 49: 11—30.
 - 11 Tuong T P, Bhuigan S I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. *Agric Water Manage*, 1999, 40: 117—122.
 - 12 Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol-oxidase in beta vulgaris. *Plant Physiol*, 1949, 24: 1—5.
 - 13 Zhang X Z(张宪政). Research Methodology of Crop Physiology(作物生理研究法). Beijing: Agricultural Press(农业出版社), 1992. 136—141. (in Chinese)
 - 14 Peng S Z(彭世彰), Li S S(李寿声), Wu Z J(吴子敬). Mechanism of high yield and good quality of rice under water-saving irrigation. *J Hehai Univ* (河海大学学报), 1993, (1): 55—61. (in Chinese with English abstract)
 - 15 Qi X B(齐学斌), Pang H B(庞鸿宾). Present situation of research on the impact of water saving irrigation on farmland ecological environment and major problem. *Transactions of the CSAE*(农业工程学报), 2000, 16(2): 37—40. (in Chinese with English abstract)
 - 16 Cai Y P(蔡永萍), Yang Q G(杨其光), Huang Y D(黄义德). Effects of cultivated under paddy and upland condition on photosynthesis and senescence of flag leaf and activity of root system after heading. *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学), 2000, 14(4): 219—224. (in Chinese with English abstract)

欢迎订阅 2004 年《中国农业科学》(中、英文版)

《中国农业科学》中、英文版是中国农业科学院主办的全国性、综合性、学术性期刊。主要刊登农牧业基础科学和应用科学研究论文。主要栏目有作物遗传育种·种质资源、植物保护、生理生态·耕作栽培、土壤肥料·节水灌溉、园林园艺、贮藏·保鲜·加工、畜牧·兽医、综述与专论、研究简报、快讯等。读者对象主要是国内外农业科学研究所、农业院校,以及综合性大学等有关农业科学与管理人员。

《中国农业科学》中、英文版 2004 年均为月刊,大 16 开,国内外公开发行。中文版国内统一刊号:CN 11-1328/S,国际标准刊号:ISSN 0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。每期 160 页,定价 29.00 元,全年定价 348.00 元;英文版国内统一刊号:CN 11-4720/S,国际标准刊号:ISSN 1671-2927。邮发代号 2-851,国外代号:1591M。每期 80 页,国内定价 20.00 元,全年 240.00 元,国外定价 20.00 美元,全年定价 240.00 美元。广告经营许可证:京海工商广字第 0178 号。编辑部地址:北京中关村南大街 12 号。邮政编码:100081;电话:(010) 68919808,68975146,68976244;传真:68976244;电子邮件:zgnykx@mail.caas.net.cn;网址 <http://www.chinaagrisci.com>。