

土壤水分状况对水稻表层根系和产量的影响^[20]

李 华^{1,2}, 张玉屏², 杨艳萍³, 朱德峰²

(1. 扬州大学农学院, 江苏 扬州 225009; 2. 中国水稻研究所, 浙江 杭州 310006; 3. 南京农业大学农学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 以内2优6号和Ⅱ优7954为材料, 研究了不同土壤水分状况对水稻表层根系生长和活力及表层根系对产量的影响。结果表明: 内2优6号在轻度水分胁迫下产量与对照无显著差异, 在重度水分胁迫下产量下降15.2%。水分胁迫使Ⅱ优7954产量提高。内2优6号对水分胁迫较Ⅱ优7954敏感。轻度水分胁迫对表层根系干重没有显著影响, 在重度水分胁迫下, 内2优6号表层根系干重下降10.5%~31.6%, Ⅱ优7954下降13%。然而, 在土壤水分胁迫下, 表层根系活力提高。穗分化期切根对产量的影响大于开花期, 穗分化期切根主要影响每穗粒数, 而开花期的切根主要影响结实率。

关键词: 水稻; 水分; 表层根系; 产量

中图分类号: S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)01-0096-04

水稻根系一般较其他作物根系在土壤中的分布浅, 其80%~90%的根系分布在0~20 cm的土层内, 特别是0~5 cm的表土层分布最多^[1~3]。水稻不同生长期不同层次根系对生长和产量的形成起不同作用^[1,2,4~8], 因此在水稻超高产育种和栽培中十分重视根系构建。对不同层次根系的研究中, 有人认为深层根对高产形成很重要^[1,2,5], 有人认为中后期形成的根系与水稻产量关系更密切, 尤其是齐穗期^[6,7,9]。水稻根系生长与活力和土壤水分状况密切相关, 然而水稻水分状况对表层根系影响研究尚少。本实验研究了土壤水分状况对表层根系的影响, 并采用切根的方法研究了水稻表层根系对产量的影响, 为水稻节水灌溉和高产栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

供试材料为新育的超高产籼型杂交稻内2优6号和Ⅱ优7954。

1.2 试验设计

试验于2004年在中国水稻研究所试验区进行, 水稻移栽后保持浅水层至无效分蘖期, 从无效分蘖期到开花期进行3种不同程度的水分胁迫处理, 分别为对照淹水(CK): 保持5~8 cm水层灌溉; 轻度胁迫(LD): 100%的饱和含水量, 即土壤体积含水量

为45.5%; 重度胁迫(SD): 60%的饱和含水量, 即土壤体积含水量为27.3%。从处理开始到处理结束, 当地降雨量为172.4 mm。各处理在开花后保持浅水层, 直至收获前7天断水。3个重复, 随机区组排列, 小区面积为15 m², 各小区间田埂包膜, 以防侧漏。切根处理分别在穗分化期(即PI, 8月2日)和开花期(即FL, 8月26日)进行, 每处理选平均茎蘖数及生长一致的代表性植株3丛切根, 切根时以稻株为中心, 用半径为5 cm的环刀, 切断土表5 cm深的表层根系, 以不切根为对照(淹水对照为CK₀, LD对照为CK_L, SD对照为CK_S)。

水稻于5月21日播种, 6月20日移栽, 秧龄30 d。单本栽插。株行距为20 cm × 28 cm, 施纯氮180 kg/hm², 分基肥、蘖肥和穗肥, 分别为总氮量的50%、30%和20%。施过磷酸钙450 kg/hm², 全作基肥施用。施氯化钾150 kg/hm², 50%作基肥, 50%作分蘖肥。

1.3 测定项目与方法

土壤水分监测: 用英国Delta-T Devices公司生产的土壤水分测定仪监测。根系取样: 水稻表层根系主要指0~5 cm的表土层根系。取样时期为穗分化期(PI)和开花期(FL), 取样点为丛中和丛间。各时期按平均茎蘖数或平均有效穗数, 选择株高、长相具有代表性的丛, 每处理各3丛。采用直径(内径)为10

cm 的钢筒取土柱,取土深度为 5 cm,用尼龙网袋装好,放在水中浸泡 24 h,再用清水清洗干净,所得的根系在 80℃ 烘箱中烘干至恒重,称重。叶面积测定:穗分化期,开花期,分别取茎蘖数及长相有代表性的 3 丛稻株,用 LI-COR 公司生产的 LI-3000A 型叶面积仪测定每一丛的绿叶面积。

伤流量测定:参照水稻根系研究方法^[9],稍作改动。齐穗期(9月2日)在晴天上午9:00~10:00,在土表以上 20 cm 处剪断稻秆,贴上预先已称重的脱脂棉,包上保鲜膜,24 h 后取回,称棉花吸收的伤流量。

产量及其构成因子分析:成熟时每处理将切根的 3 丛稻株及 3 丛未切根的对照稻株取回考种分析,测定每丛穗数、每穗总粒数、结实率、千粒重。

2 结果与分析

2.1 产量及其构成因子

2.1.1 水分处理对水稻产量及构成因子的影响

不同水分胁迫处理的水稻单丛产量如表1。同一组合

在不同水分状况下,穗数没有显著差异。内2优6号在轻度水分胁迫下产量与对照无显著差异,但在重度水分胁迫下显著下降,下降幅度15.2%。产量下降的主要原因是穗粒数减少8.6%,千粒重降低5%。Ⅱ优7954在轻度和重度水分胁迫下,产量比对照分别提高8.4%和4.1%,其产量提高的主要原因是穗粒数和结实率提高,在轻度胁迫和重度胁迫下,每穗粒数分别比对照提高7.1%和6%,千粒重分别提高7.3%和6.5%。综上所述,不同组合对水分胁迫反应不同,内2优6号对水分胁迫比较敏感,中后期重度水分胁迫对产量影响较大,引起产量下降。而Ⅱ优7954中后期适度水分胁迫,有利于产量提高。

2.1.2 表层根系对产量及构成因子的影响 不同水分胁迫下切根对产量和产量因子的影响,两品种变化趋势一致,现以内2优6号为例(表2)说明。不同水分胁迫切根对产量的影响以轻度胁迫最大,其次为淹水,重度水分胁迫影响最小。重度胁迫下表层根系生长量较少,其对照的产量也较低,因而表层根切除后,对产量的相对影响较小。

表1 不同水分处理下水稻产量及构成因素

Table 1 Yield and its components of rice under different water conditions						
品种 Variety	处理 Treatments	产量(g/丛) Yield per cluster (g/cluster)	穗数 Panicles per cluster	每穗总粒数 Grains per panicle	结实率 Spikelet fertility rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)
内2优6号 Nei2you6	CK	53.9 _a	13.7 _a	189.0 _a	67.4 _b	30.9 _a
	LD	51.1 _a	13.2 _a	186.8 _a	68.2 _b	30.4 _a
	SD	45.7 _b	12.7 _a	172.7 _b	70.9 _a	29.4 _b
Ⅱ优7954 Ⅱyou7954	CK	44.2 _b	14.0 _a	178.1 _a	66.1 _b	26.8 _a
	LD	47.9 _a	13.3 _a	190.8 _a	70.9 _a	26.6 _a
	SD	46.0 _{ab}	13.3 _a	188.8 _a	70.4 _a	26.0 _b

表2 不同水分处理下不同时期切根对内2优6号产量的影响

Table 2 Effects of root cutting at different stages on yield components of Nei2you6 under different water conditions						
水分处理 Water treatment	切根期 Stage of cutting root	产量(g/丛) Yield per cluster (g/cluster)	穗数 Panicles per cluster	每穗总粒数 Grains per panicle	结实率 Spikelet fertility rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)
CK	CK ₀	53.9 _a	13.7 _a	189.0 _a	67.4 _a	30.9 _a
	PI	42.2 _b	13.0 _a	169.2 _b	63.9 _b	30.0 _a
	FL	48.2 _{ab}	13.5 _a	187.8 _a	62.7 _c	30.3 _a
LD	CK _L	51.1 _a	13.2 _a	186.8 _a	68.2 _b	30.0 _a
	PI	37.9 _b	12.9 _a	135.4 _b	74.9 _a	29.0 _b
	FL	46.6 _a	13.0 _a	185.0 _a	66.4 _b	29.2 _a
SD	CK _s	45.7 _a	12.7 _a	172.7 _a	70.9 _a	29.4 _a
	PI	43.5 _a	13.5 _a	166.2 _a	66.9 _c	29.0 _a
	FL	44.9 _a	13.0 _a	171.0 _a	69.1 _b	29.2 _a

从表2还可以看出,在切根时期对产量的影响方面,穗分化期切根对产量的影响比开花期大。淹水、轻度和重度切根的相对产量分别为78.2%、

74.2%和95.2%,平均为82.5%。而开花期切根的相对产量分别为89.3%、93.1%和98.1%,平均为93.5%。穗分化期切根引起产量下降的主要原因是

每穗粒数下降,同时结实率也有一定程度下降。而开花期切根对每穗粒数无明显影响,主要影响了花后籽粒的灌浆充实,使结实率下降,从而引起产量的下降。这表明穗分化期表层根系主要影响每穗粒数,对结实率也有一定影响,而开花期的表层根系主要影响结实率。

2.2 表层根生长量与根系活力

两品种无论在穗分化期还是开花期,轻度水分胁迫下表层根系干重与对照相比差异不显著。重度水分胁迫使内2优6号表层根系干重下降明显,下降幅度随胁迫时间的延长而加大,在穗分化期为10.5%,到开花期为31.6%。重度水分胁迫使Ⅱ优7954根系干重下降不显著,穗分化期和开花期都比对照

少13%左右,但开花期由于轻度水分胁迫下表层根系增加,重度水分胁迫根系干重显著少于轻度水分胁迫(表3)。这说明内2优6号表层根系对水分亏缺较Ⅱ优7954敏感,轻度水分缺乏对水稻表层根的发生和生长无不利影响,甚至能促进表层根的生长。伤流强度可作为根系活动能力强弱的指标。各水分胁迫处理,开花期单茎伤流强度如图1。水分胁迫使根系伤流强度增加,增加幅度随胁迫程度的加大而加大。内2优6号轻度和重度水分胁迫下根系伤流强度分别增加4%和17%。Ⅱ优7954分别增加16%和68%。也就是说在同等程度的水分胁迫下,Ⅱ优7954伤流强度增加的幅度大于内2优6号。

表 3 不同水分处理下表层根系干重				
Table 3 Dry weight of superficial roots of rice under different water conditions				
品种 Variety	生育期 Stage	表层根系干重(g/丛) Dry weight of superficial roots (g/cluster)		
		CK	LD	SD
内2优6号 Nei ² you ⁶	PI	5.476 _a	5.703 _a	4.903 _b
	FL	3.631 _a	3.536 _a	2.485 _b
Ⅱ优7954 Ilyou ⁷⁹⁵⁴	PI	4.284 _a	4.256 _a	3.724 _a
	FL	2.944 _{ab}	3.536 _a	2.561 _b

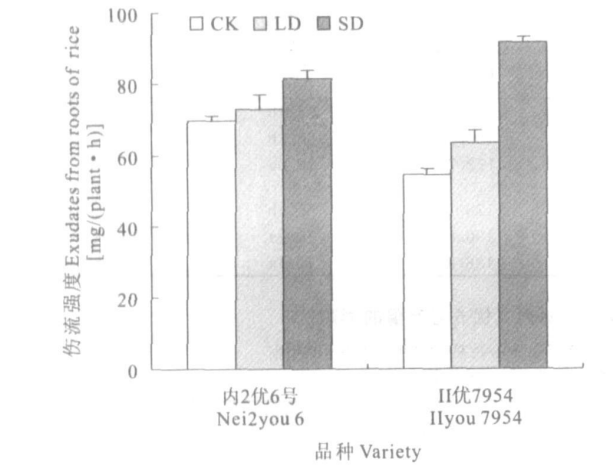


图 1 开花期单茎根系伤流强度
Fig.1 Exudates from roots of single plant at flowering stage

2.3 不同水分胁迫对水稻叶面积的影响

从图2可以看出,无论是在穗分化期还是在开花期,水分胁迫都使内2优6号叶面积减少,减少幅度与胁迫程度成正比。穗分化期轻度胁迫和重度胁迫叶面积分别比对照减少了5.2%和30.2%,开花期两种水分胁迫处理的叶面积分别比对照减少3.4%和23.4%。Ⅱ优7954在穗分化期,轻度、重度水分胁迫处理的叶面积分别下降4.1%、11.6%。到开花期

轻度水分胁迫处理下叶面积比对照高14.1%,重度胁迫比对照低11.6%。这说明轻度的水分胁迫对叶片无明显不利影响,甚至有一定的促进作用。持续淹水对水稻叶片生长并不总是有利。

3 小结与讨论

水分胁迫对水稻表层根的影响及表层根系对水稻产量的影响与品种有关,本实验两个品种轻度水分胁迫对水稻表层根系无明显影响,重度水分胁迫不利于水稻表层根生长。内2优6号中后期土壤水分胁迫对表层根量的影响要大于Ⅱ优7954。本试验证明内2优6号中后期的表层根量与产量相关性较高(PI期 $r^2=0.661$;FL期 $r^2=0.93$)。Ⅱ优7954的相关性低(PI期 $r^2=0.0008$;FL期 $r^2=0.3782$)。但总体趋势是轻度水分胁迫下表层根量多,产量高,重度水分胁迫使表层根量减少,其产量也减少。重度水分胁迫下,内2优6号的表层根量下降幅度大于Ⅱ优7954,内2优6号的产量下降幅度也大于Ⅱ优7954。穗分化期切根对产量的影响要大于开花期,这与切断水稻深层根系的影响一致^[5]。这可能与花后表层根系开始减少有关,这也是生产中穗分化期不宜缺水的原因之一。但是否可以将表层根量作为水分胁迫的指标还需以后进一步研究。

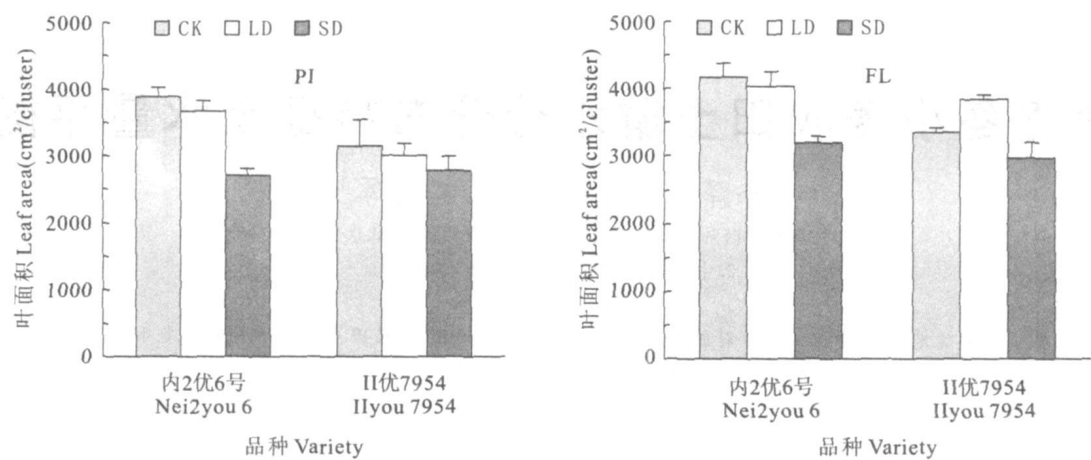


图2 不同水分处理下穗分化期和开花期叶面积
Fig.2 Leaf area of rice at panicle initiation and flowering stages under different water conditions

水分胁迫提高了水稻开花期的伤流强度。但影响水稻产量的原因是多方面的,也包括后期根系活力下降的速度^[10]。轻度水分胁迫对水稻叶面积无明显影响,重度水分胁迫使叶面积减小,这与前人研究结果一致^[11~13]。

参考文献:

[1] 蔡昆争, 骆世明, 段舜山. 水稻根系的空間分布及其与产量的关系[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2003, 24(3): 1-4.
[2] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星. 水稻根系生长及其对土壤紧密度的反应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 60-62.
[3] 刁操铨. 作物栽培学各论(南方本)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 28-29.
[4] KAWATA Shin-ichiro, Masuo SOEJIMA and Koou YAMAZAKI. The Superficial Root Formation and Yield of Hulled Rice[J]. Japan Jour Crop Sci, 1978, 47(4): 617-628.
[5] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星. 水稻深层根系对生长和产量的影响

[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 429-432.
[6] 凌启鸿, 张国平, 朱庆森, 等. 水稻根系对水分和养分的反应[J]. 江苏农学院学报, 1990, 11(1): 23-28.
[7] 刘桃菊, 戚昌游, 唐建军. 水稻根系建成与产量及其构成关系的研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1416-1419.
[8] 张玉屏, 朱德峰, 林贤青, 等. 田间条件下水稻根系分布及其与土壤容重的关系[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(2): 141-144.
[9] 林文, 郑景生. 水稻根系研究方法[J]. 福建稻麦科技, 1997, 15(4): 18-21.
[10] 郑燕玲, 王永锐. 水稻根系活力与稻谷生产能力[J]. 广州师范学院学报(自然科学版), 1996, (1): 54-59.
[11] Gloria S, Cabuslay, Osamu Ito, Arcelia A. Alejar. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit[J]. Plant Science, 2002, 163: 815-827.
[12] Wopereis M C S, Kropff M J, Maligaya A R, et al. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status[J]. Field Crops Research, 1996, 46: 21-39.
[13] 文汉, 聂凡. 干旱对水稻抽穗后旗叶衰老和产量构成因子的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(2): 135-137.

Effects of soil moisture on superficial roots and yield of rice

LI Hua^{1,2}, ZHANG Yu-ping², YANG Yan-ping³, ZHU De-feng²
(1. College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;
2. China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China;
3. College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 225009, China)

Abstract: Effects of soil moisture on superficial roots and yield of rice were studied by cutting roots at panicle initiation (PI) and flowering (FL) stage with hybrid cultivars Nei2you6 and Ⅱyou7954 in the field. The results indicated that the yield of Nei2you6 didn't decrease significantly under light water stress, but it was reduced by 15.2% under severe water stress. The yield of Ⅱyou7954 was increased under soil water stress. Nei2you6 was more sensitive than Ⅱyou7954 to soil water stress. The growth of superficial roots was slightly promoted by light water stress, but under severe water stress, the dry weight of superficial roots of Nei2you6 was reduced by 10.5%~31.6%, and that of Ⅱyou7954 was reduced by 13%. Under soil water stress, the activity of superficial roots was enhanced. Yield reduction by cutting superficial roots at PI was higher than at FL. Cutting root at PI mainly resulted in the decline of grain number per panicle, and at FL mainly resulted in the decline of spikelet fertility rate.

Key words: rice; soil moisture; superficial roots; yield