

# 水稻分蘖期水分胁迫及复水对根系生长的影响

郝树荣, 郭相平, 王为木, 张烈君, 王 琴, 王青梅, 刘展鹏

(河海大学现代农业工程系, 江苏 南京 210098)

**摘 要:** 以水稻为试验材料, 利用盆栽试验研究了水分胁迫及复水对根系形态、活力和干物质累积的影响。结果表明: 水分胁迫减少根系干物质累积, 根冠比、根系活力降低, 单株根系条数下降, 但平均根长大大增加; 复水后根重、根系条数增加, 根长在原有基础上进一步生长延伸, 且根系活力大大增加、超过对照水平。表明分蘖期胁迫后复水对水稻根系形态和吸收功能均具有超越补偿效应。

**关键词:** 水分胁迫; 复水; 水稻; 分蘖期; 根系

**中图分类号:** S 511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007) 01-0149-04

根系是作物的主要吸收器官, 其生长发育与土壤水分状况密切相关, 并影响地上部分生长发育和产量形成, 但由于根系生长的特殊性和研究技术手段的局限性, 与地上部研究相比, 对根系生长发育、生理变化的研究相对较少, 现有的研究大多数针对旱作物在水分胁迫期间根系发生的一系列生理、形态响应<sup>[1,2]</sup>, 而对干旱胁迫下水稻根的研究很少<sup>[3~9]</sup>, 对经历过干旱胁迫复水后根的生长、生理变化更鲜见报道。为此, 试验研究了水稻分蘖期遭受不同程度水分胁迫及复水后稻根的生理形态变化规律, 不仅有助于了解水稻生长对土壤水分条件的响应特征, 而且为水稻水分胁迫后复水补偿规律、机理和后效性的研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于 2005 年 4 月~10 月在河海大学进行。采用盆栽试验, 塑料盆底部直径 18 cm, 上部直径 24 cm, 高 25.5 cm。土壤为粘土, 田间持水量为 30.5%, 取自河海大学节水园区试验田。土壤经风干、打碎、过筛后, 与基肥混匀后装盆(基肥用量为每 kg 干土 0.15 g N、0.10 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 0.15 g K<sub>2</sub>O), 每盆装风干土 7.5 kg。供试水稻品种为‘K 优 818’。4 月 21 日开始育种, 三叶一心移植, 每盆移栽 5 穴, 每穴 1 株, 分蘖初留长势相近的 3 穴。分蘖期控水处理, 用雨棚防雨。

### 1.2 试验方案与方法

试验考虑水分胁迫程度和胁迫历时两因素, 胁迫程度设置轻旱、重旱两水平, 胁迫历时设置 5 天、

10 天两水平。另设复水时施肥处理(施 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 142.86 mg/kg 干土, 即纯 N 50 mg/kg 干土) 和对照。对照采用浅水勤灌, 保持土表水层 10~20 mm。试验共设置 7 个处理(表 1), 重复 4 次, 随机排列。

控水方法: 每天早晨用灵敏度为 1 g 的电子天平称重, 低于控水下限时补水至控水上限。

根、冠的获取方法: 先将含有土体的三株水稻取出, 然后放入水池中浸泡, 直到土柱变得松散, 然后用水冲洗根系, 并从茎基部剪下, 获得完整的冠和根。

鲜重、干重的测定: 取 3 株水稻, 将根、冠立即称重得鲜重; 然后在 105℃ 下杀青 10 min 后置 70℃ 恒温下烘至恒重, 用 1/10000 电子天平称重。

根长、根数和根冠比测定: 将根系放在背面贴有坐标纸的玻璃上测根长, 同时数根数, 根冠比用称重法测定。

根系活力测定: 将冲洗干净的根用吸水纸吸干, 剪取根尖部分约 2 cm, 用 TTC 法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分胁迫及复水对根系活力的影响

本试验发现水分胁迫使水稻根系活力降低, CK > 轻 5 > 重 5, CK > 轻 10 > 重 10, 而且胁迫越重根系活力越小; 复水后根系活力增加, 具有较高根系活力的植株能吸收更多的水分和无机矿物质, 为复水后水稻的补偿生长提供了条件。复水后根系活力的大小决定于水分胁迫历时, 重 5 > 轻 5 > CK, 轻 10 > 重 10 > CK, 短历时胁迫复水后重旱的根系活力大

收稿日期: 2006-03-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50309003)

作者简介: 郝树荣(1971-), 女, 回族, 河北怀来县人, 讲师, 在读博士生, 主要从事节水理论与技术研究。E-mail: srhao@mailsvr.hhu.edu.cn

于轻旱,长历时胁迫复水后轻旱的根系活力大于重旱,见表 2 所示。复水的同时施肥可以增加根系活力,并且重旱复水后施肥效果优于轻旱,对根系活力

的增加效果更明显。这可能主要因为重旱引起根系活力大大下降有关。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treatments	胁迫历时(d) Stress time	胁迫程度 Stress severity	含水量控制范围 Range of soil moisture	是否追肥 Fertilization
轻 5 Light 5	5	轻度 Light	70%~80%	否 No
轻 10 Light 5	10	轻度 Light	70%~80%	否 No
重 5 Heavy 5	5	重度 Heavy	60%~70%	否 No
重 10 Heavy 10	10	重度 Heavy	60%~70%	否 No
轻 5+肥 Light 5+fertilizer	5	轻度 Light	70%~80%	是 Yes
重 5+肥 Heavy 5+fertilizer	5	重度 Heavy	60%~70%	是 Yes
浅水勤灌保持土表水层 Keeping shallow water layer by frequent irrigation 10~20 mm				否 Yes

注:含水量为田间持水量的百分数。

Note: Water content is % of field water keep capacity.

表 2 水分胁迫及复水后水稻根系活力的变化 [mg/(g·h)]FW

Table 2 Change of water stress and rewatering on rice TTC reducing force

处理 Treatments	胁迫结束 Ending time of water stress	复水 5 天 5 days after rewatering	复水 10 天 10 days after rewatering
轻 5 Light 5	0.16	0.52	0.56
重 5 Heavy 5	0.09	0.70	0.54
轻 5+肥 Light 5+fertilizer	0.16	0.25	0.63
重 5+肥 Heavy 5+fertilizer	0.09	0.34	0.68
CK	0.26	0.40	0.50
轻 10 Light 10	0.36	0.65	0.39
重 10 Heavy 10	0.32	0.64	0.33
CK	0.40	0.51	0.39

## 2.2 水分胁迫及复水对根冠比的影响

试验表明,水分胁迫抑制水稻根、冠的生长,水稻根冠干物质重与土壤含水量均呈正相关;胁迫使根冠比降低,且胁迫越重根冠比越小,说明水分胁迫对稻根的抑制作用大于对冠的抑制作用。

复水促进水稻根冠干物质积累,且根干物质积累速率大于冠,导致根冠比有增加的趋势,复水初期重旱根系干物质的增长速率远大于轻旱,根冠比比轻旱的大,到复水后 10d,轻旱处理的根系干物质增长速率大于重旱,根冠比比重旱的大,见表 3 所示。复水的同时施肥可以大大增加根和冠的干物质积累,并且复水的前 5 天施肥处理的根冠比大大增加,之后根冠比又呈降低趋势,说明复水初期根比冠对施肥的反应更敏感,但随着时间的推移施肥对冠的生长促进作用更大,使复水后根冠比处于减少趋势。

## 2.3 水分胁迫及复水对水稻根系形态的影响

根系功能主要取决于根长<sup>[7]</sup>,根系长度对土壤

水分状况反应敏感。本试验表明,水分胁迫诱导根系下扎,以利于吸收到更深层土壤的水分满足作物生长要求,胁迫越重根系越长,复水后根系在原有基础上进一步生长延伸,根长远大于对照,为水稻补偿生长提供了可能,抗倒伏性增强且增加了后期的耐旱性。

水分胁迫使根数量大大降低,最大降低幅度达 59.4%(重 5 与 CK 比),复水促进根数大大增加,轻 10 处理复水 5 天后根数的增加速率达到了对照的 36 倍,见表 4 所示。

从形态上观测,胁迫处理根系细而长,主根系上根毛密浓,而对照根系较粗短,根毛相对较少。说明水分胁迫利于诱导根系产生更多数量的二级侧根与三级侧根,根表面积增加,根直径变小,这种细而长但根毛较多的根系能够扩大吸收范围,有效地吸收土壤中分布不均的水分,对抵御干旱十分有利<sup>[7]</sup>。

表 3 水稻分蘖期水分胁迫及复水后根冠干物质重及根冠比

Table 3 Accumulation of dry matter of rice root shoot and root /shoot ratio under water stress in tillering stage and rewatering

处理 Treatments	胁迫结束 Ending time of water stress			复水 5 天 5days after rewatering			复水 10 天 10days after rewatering		
	根干重 (g/株) Dry weight	冠干重 (g/株) Shoot weight	根冠比 Root /shoot	根干重 (g/株) Dry weight	冠干重 (g/株) Shoot weight	根冠比 Root /shoot	根干重 (g/株) Dry weight	冠干重 (g/株) Shoot weight	根冠比 Root /shoot
	轻 5 Light 5	3.28	17.44	0.19	4.81	27.89	0.17	9.86	33.27
重 5 Heavy 5	2.55	19.93	0.13	4.52	23.84	0.19	9.26	36.28	0.26
轻 5+肥 Light 5+fertilizer	3.28	17.44	0.19	10.85	28.84	0.36	11.51	39.14	0.29
重 5+肥 Heavy 5+fertilizer	2.55	19.93	0.13	8.19	23.51	0.36	10.77	34.97	0.31
CK	7.02	20.85	0.34	9.65	31.91	0.29	12.07	35.88	0.34
轻 10 Light 10	3.17	25.28	0.14	7.76	34.97	0.22	9.93	36.53	0.27
重 10 Heavy 10	2.63	26.95	0.10	9.60	37.59	0.26	10.30	40.08	0.26
CK	9.18	31.91	0.29	10.17	35.45	0.34	11.22	40.72	0.28

表 4 水分胁迫及复水后根数、根长的变化

Table 4 The change of root number and root length under water stress and rewatering

处理 Treatments	胁迫结束 Ending time of water stress		复水 5 天 5days after rewatering	
	根数 (条) Root number	根长 (cm) Root length	根数 (条) Root number	根长 (cm) Root length
	轻 5 Light 5	38.67	44.00	92.42
重 5 Heavy 5	36.00	45.00	71.07	51.00
轻 5+肥 Light 5+fertilizer	38.67	44.00	117.41	46.00
重 5+肥 Heavy 5+fertilizer	36.00	45.00	105.00	47.00
CK	88.67	35.00	95.00	41.00
轻 10 Light 10	42.33	41.00	101.05	42.05
重 10 Heavy 10	51.33	42.00	100.00	43.05
CK	97.67	38.00	99.25	40.00

### 3 讨论

1) 水分胁迫诱导根系向土壤深层下扎和水平方向扩展,并分生出逐级侧生毛细根群,扩大根系吸收土壤水分的范围,尽可能多地汲取土壤水分以满足作物生长发育的需求,此结论与以往研究相似<sup>[1,4]</sup>;复水后根长在原基础上进一步延伸,且根数大大增加,受旱时消失的浮根复水后加速生长,这些均使复水后根系的吸水吸肥能力增长。此外,胁迫阶段好气微生物活动旺盛,田间速效养分增加,根系有氧呼吸旺盛,积累了更多的由呼吸作用产生的中间产物,使复水后有机质的合成具有较充分的原料,为水稻复水后补偿效应的产生提供条件。

2) 水分胁迫抑制稻根的生长,胁迫越重抑制作用越强,复水使得根重大大增加,重旱后复水根系于

物质的增长速率远远大于轻旱和对照。此结论与 Carefoot 的试验一致<sup>[8]</sup>,即根重与土壤含水量呈正相关关系。

3) 根冠比是作物根冠所具备的吸收、合成、分配等基本功能的结构体现。一般根与冠的大小和功能是平衡的,但环境改变时平衡即被打破<sup>[1]</sup>。一般认为,旱长根水长冠,水分胁迫使根冠比增大,本试验结果与此不同<sup>[2,4]</sup>;胁迫抑制水稻根、冠的生长,并使根冠比降低,说明胁迫对稻根的抑制作用大于冠。根据李贤勇的研究根冠比与耐旱力呈正相关<sup>[9]</sup>,本试验结论是否与作物品种的抗旱性有关,还有待于进一步研究。

4) 根系活力直接影响植株对矿质营养和水分的吸收利用,从而对植株的生长发育起决定性作用。本研究发现水分胁迫使水稻根系活力降低,胁迫越

重活力越小,复水后根系活力增加,此结论与茆智的试验结论不同:水稻根在受旱初期表现为生长受阻<sup>[9]</sup>,然后根体积、根数才迅速扩展,产生活力较强的新根,表现出胁迫使根系活力增加的现象。而本试验在胁迫期间根数和根系活力均大大降低,可能与胁迫历时短有关。短历时胁迫下,稻根生长受阻,根数降低且未产生活力较强的新根,故表现为胁迫使根系活力降低的现象。另外徐孟亮的研究表明:水稻抗旱性强弱与TTC还原活力密切相关<sup>[3]</sup>,本试验结论是否还与试材品种抗旱性不高有关还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

[1] 郭相平,康绍忠,索丽生.苗期调亏处理对玉米根系生长影响

的试验研究[J].灌溉排水,2001,20(1):25-27.

[2] 杨贵羽,罗远培,李保国,等.不同土壤水分处理对冬小麦根冠生长的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):104-109.

[3] 徐孟亮,姜孝成,周广治,等.干旱对水稻根系活力与结实性状的影响[J].湖南师范大学自然科学学报,1998,9(3):64-68.

[4] 赵俊芳,杨晓光,陈斌.不同灌溉处理对旱稻根系生长及水分利用效率的影响[J].中国农业气象,2004,25(4):44-48.

[5] 李贤勇,何永歆,李顺武,等.水稻对干旱胁迫的农艺调节研究[J].西南农业学报,2005,18(3):244-249.

[6] 茆智,崔远来,李远华.水稻水分生产函数及其时空变异理论与应用[M].北京:科学出版社,2003.46-47.

[7] Ehlers W, Hamblin AP, Tennant D. Root system parameters determining water uptake of field crops[J]. Irrig Sci, 1991, 12: 115-124.

[8] Carefoot JM, Major DJ. Effect of irrigation application depth on cereal production in the semi arid climate of southern Alberta[J]. Irrig Sci, 1994, 15: 9-16.

## Effects of water stress in tillering stage and re-watering on rice root growth

HAO Shu rong, GUO Xiang ping, WANG Wei mu, ZHANG Lie jun,

WANG Qin, WANG Qing mei, LIU Zhan peng

( Hohai University, Nanjing 210098)

**Abstract**: Effect of water stress and re-watering after water stress on root conformation, activity and accumulation of dry matter of rice root were studied using pot cultivation. The results showed that accumulation of dry matter of rice root, root/shoot ratio, root activity and the number of root per seedling decreased, while mean root length increased greatly compared with full irrigation. After re-watering, accumulation of dry matter and number of root per seedling, root length and root activity increased greatly compared with full irrigation. It suggests that re-watering after water stress in tillering stage has overcompensatory effects on root conformation and absorbing activity.

**Keywords**: water stress; re-watering; rice; tillering stage; root