

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.05.011

水稻根冠功能对水分胁迫及复水的补偿响应*

郝树荣¹ 郭相平² 张展羽² 王为木²

(1. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098;

2. 河海大学水利水电学院, 南京 210098)

【摘要】 通过盆栽试验,研究了水分胁迫及复水对水稻根冠功能的补偿响应。结果表明:水稻旱后复水根冠功能的补偿效应明显,尤以分蘖末期短历时重旱、拔节初期短历时轻旱补偿效应最佳。旱后复水新生器官生理活性的提高是水稻产生补偿效应的主要贡献者。

关键词: 水稻 水分胁迫 补偿效应 根系活力 光合速率

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)05-0052-04

Compensation Effects of Water Stress and Re-watering on the Function of Root Shoot

Hao Shurong¹ Guo Xiangping² Zhang Zhanyu² Wang Weimu²

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-drainage and Agricultural Soil-water Environment in Southern China, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China

2. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract

A research was carried out to determine the compensation effects of water stress and re-watering on the function of root shoot by pot experiments. The results show that the post-drought re-watering has obvious compensation effects to rice on the function of root shoot, which is particularly significant after short-duration heavy drought at the late tillering stage and light drought at the early jointing stage. Post-drought re-watering mainly embodies compensation effects in improving the physiological activity of neonatal crop organ.

Key words Rice, Water stress, Compensation effects, Root activity, Photosynthetic rate

引言

作物生长既受遗传因素的影响,又受环境条件的制约。当环境发生变化时,作物将通过结构的变化和功能的调节作出响应,作物的生长动态可视为经过体内许多变化及自适应后最终表现出的综合效应。根的功能是吸收水分和营养物质,冠层的功能是进行光合作用,合成碳水化合物。根冠功能是互补的,二者互相依赖,共同满足各自及植株整体生长的需要,并构成作物整体功能系统^[1]。有关水分胁迫对作物生理影响的研究已很多^[1-4],而对经历过

干旱胁迫复水后根冠功能的研究不多^[5-7],尤其对水稻复水后的补偿规律、产生补偿的条件、补偿形式更缺乏深层次的研究。本研究通过盆栽试验对水稻经受干旱胁迫复水后的根冠功能的恢复情况进行探讨,以期为补偿效应研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与种植

水稻盆栽试验于2004~2006年的5~10月在河海大学节水园进行(北纬31°57',东经118°50'),土壤为粘壤土,田间持水量为30.5%(质量含水

收稿日期:2009-05-27 修回日期:2009-07-20

* 国家自然科学基金资助项目(50309003)

作者简介:郝树荣,副教授,博士,主要从事节水灌溉排水理论研究, E-mail: srhao@hhu.edu.cn

量)。经晒干、打碎、过筛后,均匀施肥,施肥量每千克干土折合纯 N 0.15 g、 P_2O_5 0.10 g、 K_2O 0.15 g。供试品种为“K 优 818”。盆底内径 18 cm,顶部内径 24 cm,高 25.5 cm,每盆装干土 7.5 kg。雨天用雨棚防雨。水稻三叶一心时移植,每盆移栽 5 穴,分蘖初每盆留长势相近的 3 穴,并开始控水处理。

1.2 试验设计

试验采用 3 因素 2 水平,即水分胁迫生育阶段:分蘖末期和拔节初期;胁迫历时:5、10 d;胁迫程度:轻旱、重旱。共设置 12 种处理,3 次重复,如表 1 所示。对照采用浅水勤灌、保持水层 10~20 mm,轻旱、重旱土壤含水量变化范围分别为田间持水量的 70%~80%、60%~70%。每天早晨用感量 1 g 的 DY20K 型电子天平称重,低于控水下限补水。

表 1 盆栽试验设计参数

Tab. 1 Parameters of potted experimental design

处理	胁迫历时/d	胁迫程度	含水量控制范围/%	
分蘖期	FL5	5	轻度	70~80
	FL10	10	轻度	70~80
	FS5	5	重度	60~70
	FS10	10	重度	60~70
拔节期	BL5	5	轻度	70~80
	BL10	10	轻度	70~80
	BS5	5	重度	60~70
	BS10	10	重度	60~70
CK	浅水勤灌、保持土表水层 10~20 mm			

1.3 观测项目

① 水稻根冠获取:先将含有土体的植株取出,放入水池浸泡,直到土柱松散,然后用水冲洗根系,并从茎基部剪下,获得完整的冠和根。② 干重测定:在 105℃ 下杀青 15 min 后置于 70℃ 恒温下烘干至恒重,用 1/10 000 电子天平称量。③ 根系活力测定:用去离子水洗净,吸水纸吸干,取根尖约 1 cm,称根样 0.1 g,用 TTC 法测定。④ 光合速率 P_n 测定:用 Lci-6400 型便携式光合仪在胁迫结束及复水后选择晴天测量。每次测量尽量保证在相同时间段测定相同叶片的相同叶位。

2 结果与分析

2.1 根冠功能的补偿规律和补偿条件

2.1.1 根系活力补偿的发生规律和补偿条件

(1) 分蘖末期胁迫及复水对根系活力的影响

分蘖期胁迫使根系活力降低,胁迫越重根系活力越小,如表 2 所示;复水 5 d 即有明显提高,显示

出超补偿效应,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条件。复水后根系活力决定于胁迫历时,短历时胁迫复水后重旱的根系活力大于轻旱,长历时胁迫复水后轻旱的根系活力大于重旱。

表 2 水稻分蘖期胁迫及复水对根系活力的影响(2005 年)

Tab. 2 Effect of water stress and re-watering on rice TTC-reducing force during rice tillering stage (2005)

处理	胁迫结束	mg/(g·h)		
		复水 5 d	复水 10 d	
分蘖	CK	0.262	0.403	0.502
	FL5	0.161	0.521	0.560
	FS5	0.117	0.656	0.579
复水	CK	0.403	0.502	0.393
	FL10	0.360	0.654	0.388
	FS10	0.324	0.635	0.334

(2) 拔节初期胁迫及复水对根系活力的影响

拔节期胁迫使水稻根系活力降低,胁迫越重活力越低,与分蘖期结论一致,如表 3 所示。与分蘖期不同之处在于,拔节期短历时轻旱后复水根系活力的补偿大于重旱。这可能是由于拔节期后,生长重心由地下转入地上,根系抗旱性降低,重旱对根系的抑制作用大,复水后根系活力的补偿不如轻旱。

表 3 水稻拔节期胁迫及复水对根系活力的影响(2005 年)

Tab. 3 Effect of water stress and re-watering on rice TTC-reducing force during rice jointing stage (2005)

处理	胁迫结束	mg/(g·h)	
		复水 5 d	复水 10 d
CK	0.474	0.430	0.406
BL5	0.467	0.449	0.445
BS5	0.340	0.440	0.439

2.1.2 光合补偿的发生规律和补偿条件

(1) 分蘖末期胁迫及复水对光合速率的影响

由表 4 可见,胁迫使 P_n 下降,下降幅度和胁迫程度、历时呈正相关。旱后复水, P_n 均迅速恢复,并超过对照水平,出现超越补偿。

从表 5 可见,短历时重旱较轻旱复水后 P_n 恢复得更快、恢复的程度更高,复水 23 d 重旱 P_n 达到轻旱的 1.16 倍;长历时胁迫后复水,轻旱较重旱 P_n 恢复得更快、更高。所以水稻分蘖期短历时重旱和长历时长旱的补偿效果最佳。

(2) 拔节初期胁迫及复水对光合速率的影响

从图 1 可以看出,拔节期 P_n 随胁迫历时的延长不断降低,且胁迫越重 P_n 越小;复水后 P_n 存在明显

表4 水稻分蘖期胁迫及复水对光合速率的影响(2005年)

Tab.4 Effect of water stress and re-watering on photosynthetic rate during rice tillering stage (2005)

处理	胁迫结束	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	
		复水 5 d	复水 10 d
分蘖	CK	16.22	3.19
	FL5	15.98	7.84
	FS5	15.04	5.94
复水	CK	14.07	3.19 *
	FL10	13.90	4.82 *
	FS10	10.93	3.44 *

注:表中带*的数据是13:00时测定的 P_n ,故有些偏低。

表5 水稻分蘖期旱后复水光合速率的变化(2004年)

Tab.5 Change of photosynthetic rate after re-watering at rice tillering stage (2004)

处理	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$			
	7月16日	7月19日	7月26日	8月2日
CK	10.76	15.22	17.05	8.95
FL5	11.64	20.16	18.99	7.55
FS5	11.67		19.24	8.77
FL10	13.95	21.00	22.25	10.33
FS10	10.83	18.48	26.18	7.57

注:各处理7月5日开始胁迫,FL5、FS5处理7月10日复水,FL10、FS10处理7月15日复水。

的短期补偿,BL5处理复水5d, P_n 出现超越补偿,BS5处理 P_n 与CK接近;复水10d后补偿效应不明显,尤其是BS5处理。图1中箭头表示复水日期。

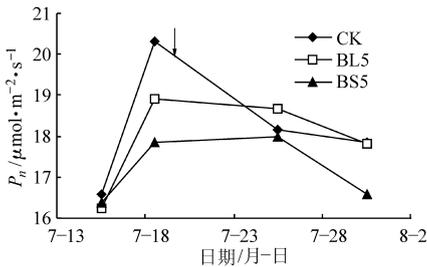


图1 水稻拔节期胁迫及复水对光合速率的影响(2005年)

Fig.1 Effect of water stress and re-watering on photosynthetic rate during rice jointing stage (2005)

2.2 光合速率补偿效应的机理分析

2.2.1 受过胁迫伤害的叶片复水后光合速率的变化规律

由表6可见,无论是分蘖期还是拔节期,胁迫前及胁迫期间长出的叶片,复水后 P_n 均低于CK,胁迫越重 P_n 越小。说明复水并未使胁迫抑制生长的叶片恢复原有的光合生产能力。

表6 水稻旱后复水老叶片光合速率的变化(2006年)

Tab.6 Change of photosynthetic rate of old leaves after re-watering (2006) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

日期	处理	光合速率
8月8日(复水11d)	FL10	10.23
	FS10	9.10
	CK	14.58
8月19日(复水22d)	FL10	6.82
	FS10	6.45
	CK	6.98
8月24日(复水13d)	BL10	12.60
	BS10	9.82
	CK	12.90
8月29日(复水18d)	BL10	7.38
	BS10	6.96
	CK	8.15

2.2.2 旱后复水新生叶片光合速率的变化规律

由图2可知,分蘖期胁迫复水后新生的叶片,在以后的生育阶段中 P_n 均大于CK,并且胁迫复水初期新生的叶片补偿程度最大,复水12d,重旱 P_n 是CK的1.24倍;复水22d,重旱 P_n 是CK的1.07倍;复水30d,重旱 P_n 是CK的1.02倍。另外分蘖期重旱处理复水后的补偿效应最明显,补偿程度明显大于轻旱。

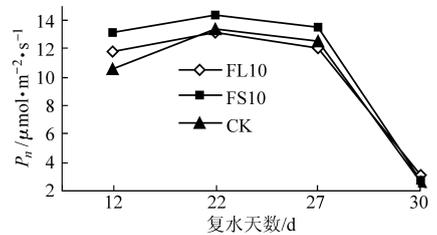


图2 水稻分蘖期胁迫复水后新生叶片光合速率的变化(2006年)

Fig.2 Change of photosynthetic rate of new leaves after water stress and re-watering during rice tillering stage (2006)

由表7可见,拔节期胁迫复水初期新生的叶片 P_n 明显大于CK,表现出超越补偿效应,而随复水时间的延长,补偿效应逐渐减弱,到复水18d,胁迫处理后新生叶片的 P_n 已小于CK,这与分蘖期不同。说明拔节期复水补偿能力不如分蘖期,只在复水初期表现明显,后期补偿有限。另外拔节期轻旱复水后光合补偿的强度明显大于重旱,这也与分蘖期有所不同。说明补偿效应是有严格条件限制的,它不仅与胁迫生育阶段有关,还与胁迫程度、历时有关。水稻分蘖期短历时重旱和拔节期短历时轻旱的补偿效应明显。

表7 水稻拔节期胁迫复水后新生叶片光合速率的变化(2006年)

Tab.7 Change of photosynthetic rate of young leaves after water stress and re-watering during rice jointing stage (2006)

日期	处理	光合速率 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
8月24日(复水13d)	CK	12.65
	BL10	14.30
	BS10	13.20
8月29日(复水18d)	CK	11.50
	BL10	11.40
	BS10	10.45

3 结论

(1) 水稻旱后复水补偿效应明显,尤以分蘖末

期短历时重旱、拔节初期短历时轻旱补偿效应最佳。因此,合理掌握胁迫因子组合对农业生产具有实际意义。

(2) 复水后光合速率的提高,不是受到胁迫的叶片光合机能的恢复,直接遭受胁迫的叶片,光合速率无论在胁迫期间还是复水后均呈降低趋势,旱后复水新生器官生理活性的提高才是作物产生补偿效应的主要贡献者,即作物能将遭受胁迫的信息传递给后继新生叶片,表现出某种“记忆效应”。因此要利用作物的补偿效应,必须严格控制水分胁迫的生育阶段,使胁迫发生在复水后有新生叶片长出的时期。

参 考 文 献

- 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.
Yang Guiyu, Luo Yuanpei, Li Baoguo, et al. Effect of different soil water conditions on growth of root and shoot of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2003,21(3):104~109. (in Chinese)
- 孙骏威,杨勇,黄宗安,等. 聚乙二醇诱导水分胁迫引起水稻光合下降的原因探讨[J]. 中国水稻科学,2004,18(6):539~543.
Sun Junwei, Yang Yong, Huang Zongan, et al. Reason for photosynthetic decline in rice from water stress induced by polyethylene glycol (PEG)[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2004,18(6):539~543. (in Chinese)
- 房江育,张仁陟. 无机营养和水分胁迫对春小麦叶绿素、丙二醛含量等的影响及其相关性[J]. 甘肃农业大学学报,2001,36(1):89~94.
Fang Jiangyu, Zhang Renzhi. Effects of mineral nutrition and water stress contents of chlorophyll and malondialdehyde of spring wheat and their correlation[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2001, 36(1): 89~94. (in Chinese)
- 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.
Guo Xiangping, Kang Shaozhong, Suo Lisheng. Effects of regulated deficit irrigation on root growth in maize[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(1):25~27. (in Chinese)
- 郝树荣,郭相平,王为木,等. 水稻分蘖期水分胁迫及复水对根系生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):149~152.
Hao Shurong, Guo Xiangping, Wang Weimu, et al. Effects of water stress in tillering stage and re-watering on rice root growth [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2007,25(1):149~152. (in Chinese)
- 丁端锋,蔡焕杰,王健. 玉米苗期调亏灌溉的复水补偿效应[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(3):64~67.
Ding Duanfeng, Cai Huanjie, Wang Jian. Study on compensative growth of maize under regulated deficit irrigation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006,24(3):64~67. (in Chinese)
- 郝树荣,郭相平,张展羽. 水分胁迫及复水对水稻冠层结构的补偿效应[J]. 农业机械学报,2010,41(3):52~55,61.
Hao Shurong, Guo Xiangping, Zhang Zhanyu. Compensation effects of water stress and rewatering on the structure of rice canopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3):52~55,61. (in Chinese)