

# 旱后复水对水稻生长的后效影响<sup>\*</sup>

郝树荣<sup>1</sup> 郭相平<sup>2</sup> 王文娟<sup>2</sup>

(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】** 通过盆栽和测坑试验,研究了水分胁迫后复水对水稻生育后期的后效性影响。结果表明:水稻前期旱后复水后效性明显,尤以分蘖末期短历时重旱、拔节初期短历时轻旱后效性最佳。前期适度的胁迫后复水使水稻后期保持了较大的光合面积,明显降低生育后期叶绿素的降解,使功能叶在生育后期维持较高的光合效率,有利于干物质累积。

**关键词:** 水稻 水分胁迫 复水 后效性

**中图分类号:** S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0076-04

## Aftereffects of Rewatering after Water Stress on the Rice Growth

Hao Shurong<sup>1</sup> Guo Xiangping<sup>2</sup> Wang Wenjuan<sup>2</sup>

(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 aftereffects of rewatering after water stress in the final rice growth stage by pot and test-pit experiments. The results show that the post-drought rewatering has obvious aftereffects in the initial rice growing stage, which is particularly significant after short-duration heavy drought at late tillering stage and light drought at early jointing stage. Moderate rewatering after water stress in initial rice growing stage can preserve large photosynthetic area, delay chlorophyll degradation, enable functional leaves to maintain high photosynthetic efficiency, which is eventually beneficial to dry matter accumulation during final rice growth stage.

**Key words** Rice, Water stress, Rewatering, Aftereffects

### 引言

有关水分胁迫对作物影响的研究已经很多,但绝大部分集中于水分胁迫的负面影响上,认为作物只是被动的受害者,出现水环境逆境时,由于本身存在一系列适应机制,如逃旱、避旱等,可在土壤有效水分消耗完之前提前成熟,以延续物种,从这种意义上讲,干旱使作物后期加速衰老、生育期缩短<sup>[1-2]</sup>。近年来研究发现,水分胁迫具有某种程度的正面效

应,即在一定生育阶段适度的水分胁迫可使复水后短期内作物的生理生长得以改善<sup>[3-6]</sup>,但是如果旱后复水使前期生长得到补偿、后期却加速衰老,即从作物整体水平上未必能达到生产上追求的节水不减产的目的。研究表明,作物籽粒产量中有70%~80%来自于抽穗后的光合作用<sup>[7]</sup>,作物后期功能对产量影响至关重要,有必要对作物前期胁迫对作物生育后期的后效性展开研究,这种后效性可能是作物在非充分灌溉下获得较高产量的生物学基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与种植

水稻盆栽试验于 2004 年 5 ~ 10 月在河海大学节水园区进行(北纬 31°57', 东经 118°50'), 土壤质地为粘壤土, 田间持水率 30.5% (重量含水率)。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<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.10 g、K<sub>2</sub>O 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, 分蘖初视苗情长势每盆留长势相近的 3 穴, 并开始控水处理。

测坑试验于 2004 年在江苏射阳县灌溉试验站进行。土壤为砂壤土, 田间持水率为 25.6%, 测坑面积为 6.67 m<sup>2</sup>。测坑上方设有挡雨棚。供试品种为 K 优 818。

### 1.2 试验设计

盆栽试验采用三因素二水平, 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 9 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、重旱土壤含水率变化范围分别为田间持水的 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。

测坑试验采用二因素二水平, 即水分胁迫生育阶段: 有单阶段胁迫和两个生育阶段连旱两种。单阶段胁迫选取分蘖末期和拔节初期; 两阶段连旱选在分蘖末期和拔节初期连旱; 胁迫程度: 轻旱、重旱, 如表 2 所示。

表 1 盆栽试验设计

Tab. 1 Potted experimental design

处理	胁迫历时/d	胁迫程度	含水率控制范围/%	
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			

注: 2004 年 FS5 处理试验盆漏水, 数据不准确。表中含水率为占田间持水量的百分数。

### 1.3 观测项目

叶面积: 量取每片绿色叶片的长度和最大宽度,

表 2 测坑试验设计

Tab. 2 Leaching-pond experimental design

处理	胁迫情况	处理	胁迫情况
1	CK	4	分蘖轻旱 + 拔节轻旱
2	分蘖轻旱	5	分蘖重旱 + 拔节轻旱
3	分蘖重旱	6	拔节重旱

注: 轻旱土壤含水率下限控制在 70% 田间持水率, 重旱土壤含水率下限控制在 60% 田间持水率, CK 为当地淹灌。

用叶面积拟合公式计算。株高: 水稻抽穗前株高为土面至每丛最高叶尖的高度, 抽穗后为土面至最高穗顶(不连芒)的高度。光合速率( $P_n$ )的测定: 用 Lei-6400 型便携式光合仪选择晴天测量。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。叶绿体色素的测定: 剪取稻株上数第一片完全展开叶 0.2 g, 用 96% 乙醇提取, WFZ800-D3B 型分光光度计检测吸光值。

## 2 结果与分析

### 2.1 旱后复水对水稻株高的后效影响

由图 1 所示, 胁迫复水处理株高达到最大的时间比 CK 滞后一周, 水稻后期株高的增长体现在穗节的生长, 因此复水能促进后期穗节的再伸长, 在 CK 株高停止生长时, 复水处理穗节仍在继续伸长。穗长的明显增加、库容量的提高, 使产量提高成为可能, 可见旱后复水对株高有明显的后效影响。从表 3 也可看出, 除连旱和拔节期重旱处理穗长和 CK 相差不大外, 其他处理穗长均大于 CK, 说明水稻分蘖期旱后复水的后效性大于拔节期。

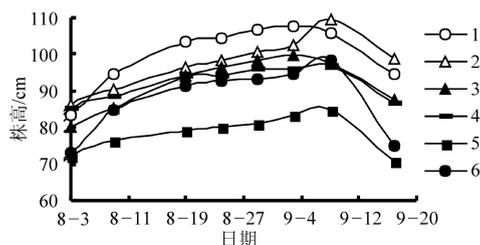


图 1 2004 年水稻测坑试验株高动态变化

Fig. 1 Dynamics of rice height in the leaching-pond experiment in 2004

表 3 2004 年水稻测坑试验的穗长

Tab. 3 Spike length of rice in leaching-pond experiment in 2004

处理	1	2	3	4	5	6
穗长/cm	21.2	24.5	25.1	21.9	20.7	22.4

### 2.2 旱后复水对水稻叶面积的后效影响

从图 2 可以看出, 在 CK 下部叶片枯萎脱落叶片数降低时, 复水处理保持了更多的绿叶片数量, 有

充足的叶片生产更多的光合产物,为产量的提高打下良好的冠层条件,且分蘖期重旱有利于保持后期叶片数的后效性大于轻旱,而拔节期轻旱的后效性大于重旱。由图3可见,分蘖期胁迫复水处理在抽

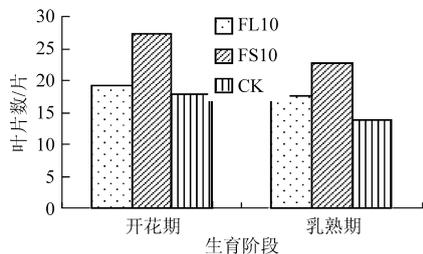


图2 2004年水稻盆栽试验叶片数变化动态

Fig. 2 Dynamics of rice leaf number in potted experiment in 2004

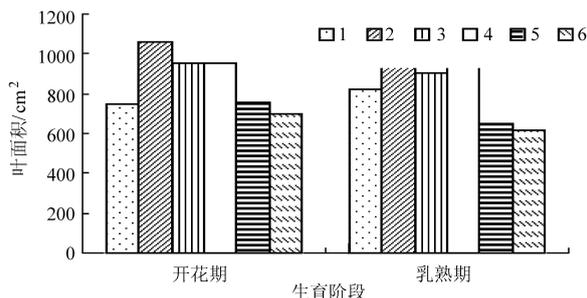


图3 2004年水稻测坑试验叶面积变化动态

Fig. 3 Dynamics of rice leaf area in the leaching-pond experiment in 2004

### 2.3 旱后复水对水稻光合速率的后效影响

分蘖期旱后复水处理延长了上部叶片的功能期,使后继生育阶段(8月31日抽穗期)的 $P_n$ 高于CK,如表4示,光合生理活性提高,在一定程度上延缓了穗位叶片的衰老,有利于穗的生长和灌浆充分。研究认为,抽穗后叶片制造的光合产物对产量的贡献率达70%~80%<sup>[7]</sup>,且稻谷产量越高,越依赖于抽穗后的光合。

拔节期旱后复水对后继阶段 $P_n$ 也有影响。从

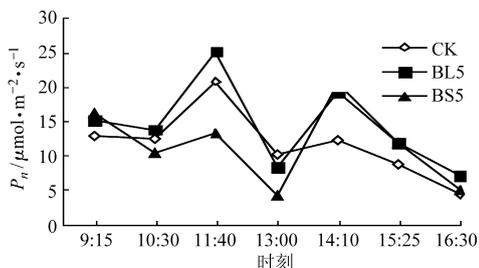


图4 水稻拔节期胁迫对抽穗期光合速率日变化的影响(2004年盆栽)

Fig. 4 Effect of water stress to daily photosynthetic rate during rice heading stage (potted experiment in 2004)

### 2.4 旱后复水对叶片光合色素的后效影响

叶绿素含量的变化常被认为是衡量叶片衰老的良好指标<sup>[8]</sup>。旱后复水处理均使灌浆期叶绿素含量增加(表5、表6),表明前期胁迫可明显降低生育后期叶绿素的降解,使功能叶在生育后期仍维持较

穗开花和乳熟期保持了更大的叶面积,说明苗期旱后复水延缓了后期叶片的衰老、延长叶片的光合时间,有利于穗生长和灌浆。拔节期旱后复水处理的后效性不如分蘖期明显。

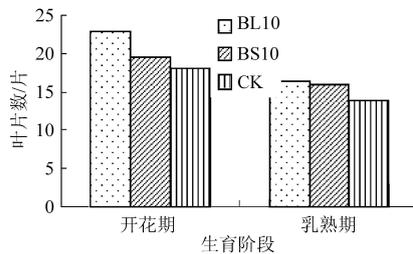


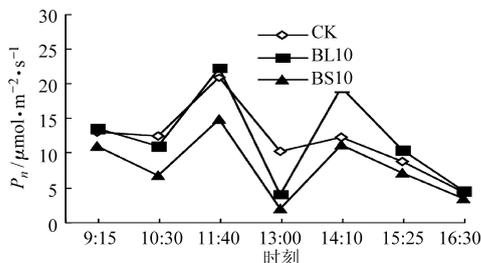
图4水稻抽穗期 $P_n$ 日变化可以看出,轻度短历时胁迫处理 $P_n$ 全天均大于CK,表现出很强的后效性,这对水稻穗数、穗粒数的增加有很好的促进作用;而重度胁迫处理 $P_n$ 几乎全天低于CK。说明拔节期重旱不但对水稻生长有明显的抑制作用,复水后只有短历时的部分补偿,而且后期 $P_n$ 也明显小于CK,所以拔节期应避免重度胁迫。

表4 水稻分蘖期旱后复水光合速率的变化(2004年盆栽)

Tab. 4 Change of photosynthetic rate after rewatering at rice tillering stage (potted experiment in 2004)

处理	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	
	8月2日	8月31日
CK	8.95	20.87
FL5	7.55	26.40
FS5	8.77	
FL10	10.33	28.71
FS10	7.57	25.00

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。



高的光合效率,有利于干物质累积。

## 3 结论

(1) 水稻前期适度的胁迫后复水,可使生育后期光合容量增加、延缓衰老、生育期延长,这与一般

表5 水稻分蘖期旱后复水对叶片光合色素的影响(2004年盆栽)

Tab.5 Effect of rewatering after drought treatments to leaf photosynthetic pigment content during rice tillering stage (potted experiment in 2004) mg/g

时期	处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a + b	类胡萝卜素
8月14日	CK	1.938	0.541	2.479	0.471
	FL5	2.017	0.603	2.620	0.521
	FL10	2.643	0.759	3.403	0.634
	FS10	1.904	0.593	2.497	0.477
	CK	0.337	0.075	0.412	0.159
9月30日 灌浆期	FL5	1.116	0.225	1.341	0.344
	FL10	0.692	0.145	0.837	0.263
	FS10	0.561	0.118	0.679	0.267

注:8月14日为胁迫5d的处理复水35d,胁迫10d的处理复水30d。

认为的干旱促进植株衰老的结论有所差异。由于作物在灌浆-成熟期需要大量的光合产物以向籽粒转移供应,而此时植株的上部叶片也在衰老中,光合功能不断衰退,易导致产量下降,因此作物后期的光合

表6 水稻拔节期旱后复水对叶片Chl(a+b)含量的影响(2004年盆栽)

Tab.6 Effect of rewatering after drought treatments to leaf chlorophyll content during rice jointing stage (potted experiment in 2004) mg/g

处理	胁迫结束	复水5d	灌浆期
CK	3.954	2.555	0.468
BL5	4.698	2.459	1.082
BS5	4.168	2.365	1.582
CK	3.435	2.651	0.468
BL10	3.024	3.093	1.069
BS10	2.340	2.383	0.505

能力与产量大小直接相关。本试验结果表明,水稻前期适度的胁迫后复水不仅使水稻后期保持了较大的光合面积,而且可明显降低生育后期叶绿素的降解,使功能叶在生育后期维持较高的光合速率,有利于干物质累积。

(2) 水稻分蘖期、拔节期适度的水分胁迫后复水有明显的后效性,尤以分蘖末期短历时重旱、拔节初期短历时轻旱最佳。因此,合理掌握胁迫因子组合对农业生产具有实际意义。

#### 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)
- 文汉,聂凡. 干旱对水稻抽穗后期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.  
Wen Han, Nie Fan. Effects of drought on senescence of flag leaf and yield factors in rice[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2000,27(2):135~137. (in Chinese)
- 陈晓远,罗远培. 土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响[J]. 中国农业科学,2001,34(4):403~409.  
Chen Xiaoyuan, Luo Yuanpei. The influence of fluctuated soil moisture on growth dynamic of winter wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(4):403~409. (in Chinese)
- 黄占斌. 干湿变化与作物补偿效应规律研究[J]. 中国生态农业学报,2000,8(1):30~33.  
Huang Zhanbin. A study on drought-wet changing environment and compensative effect rules of crops[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2000, 8(1):30~33. (in Chinese)
- Messina F J, Durham S L. Trade-off between plant growth and defense, a comparison of sagebrush populations[J]. Oecologia, 2002, 131(1):43~51.
- 山仑,苏珮,郭礼坤,等. 不同类型植物对干湿交替环境的反应[J]. 西北植物学报,2000,20(2):164~170.  
Shan Lun, Su Pei, Guo Likun, et al. The response of different crops to drying wetting cycle in field[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2000, 20(2):164~170. (in Chinese)
- 房全孝,陈雨海,李全起,等. 土壤水分对冬小麦生长后期光能利用及水分利用效率的影响[J]. 作物学报,2006,32(6):861~866.  
Fang Quanxiao, Chen Yuhai, Li Quanqi, et al. Effects of soil moisture on radiation utilization during late growth stages and water use efficiency of winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(6):861~866. (in Chinese)
- 张薇,司徒淞,王和洲. 节水农业的土壤水分调控与标准研究[J]. 农业工程学报,1996,12(2):23~27.  
Zhang Wei, Situ Song, Wang Hezhou. Study on soil moisture regulating and criterion for water saving agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12(2):23~27. (in Chinese) (下转第49页)

- Society of Agricultural Engineering, 1994, 10(4):26~31. (in Chinese)
- 9 姬长英,潘君拯. 湿软土壤上履带板的推力计算[J]. 农业工程学报,1994,10(4):33~36.  
Ji Changying, Pan Junzheng. Pull predication for a single track shoe[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1994,10(4):33~36. (in Chinese)
- 10 姬长英,潘君拯. 土壤条件和载荷条件对水田土壤流变参数的影响及应力-应变-时间图[J]. 农业机械学报, 1983, 14(3):35~44.  
Ji Changying, Pan Junzheng. Effects of soil conditions and load conditions on rheological coefficients of paddy-field soils and stress-strain-time graph [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1983, 14(3):35~44. (in Chinese)
- 11 潘君拯. 载荷条件及流变参量对水田履带式行走装置下陷量的影响[J]. 农业机械学报,1984,15(4):7~12.  
Pan Junzheng. Effect of load conditions and rheological parameters on sinkage of tracked vehicles in paddy fields [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1984,15(4):7~12. (in Chinese)
- 12 姬长英,赵池航. 动载式水田土壤流变仪的研制[J]. 农业机械学报,2004,35(2):88~91.  
Ji Changying, Zhao Chihang. Development of rheometer for paddy soils under dynamic loading [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(2):88~91. (in Chinese)
- 13 沈杰,余群. 湿软土壤压力-下陷-时间关系的建立[J]. 农业机械学报,1983,14(4):15~19.  
Shen Jie, Yu Qun. Pressure-sinkage-time equation for wet soil [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1983,14(4):15~19. (in Chinese)
- 14 李汝莘,高焕文,苏元升. 土壤容重和含水量对耕作阻力的影响[J]. 农业工程学报,1998,14(1):81~85.  
Li Ruxin, Gao Huanyuan, Su Yuansheng. Effect of soil bulk density and moisture content on the draft resistance [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998,14(1):81~85. (in Chinese)
- 15 张锐,李建桥,周长海,等. 推土板表面形态对土壤动态行为影响的离散元模拟[J]. 农业工程学报,2007,23(9):13~19.  
Zhang Rui, Li Jianqiao, Zhou Changhai, et al. Simulation of dynamic behavior of soil ahead of the bulldozing plates with different surface configurations by discrete element method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(9):13~19. (in Chinese)
- 16 张锐,李建桥,许述财,等. 推土板切土角对土壤动态行为影响的离散元模拟[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(4):822~827.  
Zhang Rui, Li Jianqiao, Xu Shucai, et al. Simulation on dynamic behavior of dry soil ahead of the bulldozing plate with different cutting angles by DEM [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007,37(4):822~827. (in Chinese)
- 17 罗定照. 插入水田土壤中垂直平板向前运动的流变力学研究[J]. 农业机械学报,1986,17(4):18~25.  
Luo Dingzhao. The rheological research on the performance of the vertical plate moving horizontally in paddy field soil and their application [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1986, 17(4):18~25. (in Chinese)
- 18 罗大海,诸葛茜,蒋崇贤. 水田土壤流变理论研究及其应用[J]. 武汉工学院学报:信息与管理工程版,1990,12(2):1~9.  
Luo Dahai, Zhu Geqian, Jiang Chongxian. Rheological properties of paddy field soil and their application [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 1990,12(2):1~9. (in Chinese)
- 19 吉尔 W R, 范德伯奇 G E. 耕作和牵引土壤动力学[M]. 耕作和牵引土壤动力学翻译组,译. 北京:中国农业机械出版社,1983.

(上接第79页)

- 9 吴合洲,马均,王贺正,等. 超级杂交稻的生长发育和产量形成特性研究[J]. 杂交水稻,2007,22(5):57~62.  
Wu Hezhou, Ma Jun, Wang Hezheng, et al. Growth and developmental characteristics and yield formation of super hybrid rice [J]. Hybrid Rice, 2007, 22(5):57~62. (in Chinese)
- 10 Cruz-Aguado J A, Rode's R, Ortega E, et al. Partitioning and conversion of  $^{14}\text{C}$ -photoassimilates in developing grains of wheat plants grown under field conditions in Cuba [J]. Field Crops Research, 2001,69(3):191~199.
- 11 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)