

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.03.011

水分胁迫及复水对水稻冠层结构的补偿效应*

郝树荣¹ 郭相平² 张展羽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】 通过盆栽和测坑试验,研究了水分胁迫及复水对水稻冠层结构的补偿影响。结果表明:水分胁迫在抑制水稻茎秆、叶片、叶面积延伸生长的同时,能有效地诱导冠层结构,为旱后复水补偿效应的产生提供条件。旱后复水促进了后期穗节的伸长、延缓后期叶片衰老速率、苗后期胁迫使作物对再次受旱的适应能力增强。但补偿效应是有条件的,苗后期重旱和拔节初期轻旱补偿效应最佳,应避免两阶段连旱和拔节期重旱。

关键词: 水稻 水分胁迫 复水 冠层结构 补偿效应

中图分类号: S274.1; S511.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)03-0052-04

Compensation Effects of Water Stress and Rewatering on the Structure of Rice Canopy

Hao Shurong¹ Guo Xiangping² Zhang Zhanyu²

(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

Research was carried out to determine the compensation effects of water stress and rewatering on the structure of rice canopy by pot and test-pit experiments. The results showed that water stress inhibited the number of leaves and leaf area, and effectively induced the rice canopy structure that was beneficial to the compensation effect of post-drought watering. By post-drought watering, the panicle nodes were elongated, senescence speed of leaves was restrained, and rice adaptabilities to next drought were increased. The compensation effects of rewatering are best after heavy drought at late stage of seedlings and light drought at early stage of jointing. Continuous drought by two rice growth stages and heavy drought at jointing stage should be avoided.

Key words Rice, Water stress, Rewatering, Canopy structure, Compensatory effects

引言

水稻在整个生长发育过程中经历着干湿交替的水分状况,其生长和产量的表现是对多变水环境适应和调节的结果。以往研究多侧重于胁迫对作物生理生态的负面影响^[1-2],而胁迫下作物除了通过短时生理生化过程或关闭气孔、改变叶片体态等消极行为外,还能对根冠结构加以有效的诱导,对水分胁迫产生积极的反应;另外对经历过胁迫复水后作物

形态结构的补偿规律和补偿条件,更缺乏深入的研究。本文通过盆栽和测坑试验,研究水分胁迫及复水对水稻冠层结构的补偿效应,以期对最优灌溉模式的分析和作物补偿效应的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与种植

水稻盆栽试验于2004~2006年5~10月在河海大学节水园区进行,土壤质地为粘壤土,田间持水

收稿日期:2009-05-18 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,主要从事节水灌溉理论与技术研究,E-mail: srhao@hhu.edu.cn

量 30.5% (重量含水量)。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,分蘖初视苗情每盆留长势相近的 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,田间持水量为 25.6%,测坑面积为 6.67 m²。测坑上方设有挡雨棚。

1.2 试验设计

盆栽试验采用 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:轻早、重早。共设置 12 种处理,3 次重复,盆栽试验设计参数如表 1 所示。每天早晨用感量 1 g 的 DY20K 型电子天平称量,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	因素		
	生育阶段	胁迫历时 /d	胁迫程度 (含水量控制范围/%)
FL5	分蘖末期	5	轻早(70~80)
FL10		10	轻早(70~80)
FS5		5	重早(60~70)
FS10		10	重早(60~70)
BL5	拔节初期	5	轻早(70~80)
BL10		10	轻早(70~80)
BS5		5	重早(60~70)
BS10		10	重早(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。表中含水量为占田间持水量的百分数。

测坑试验采用 2 因素 2 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:轻早、重早,测坑试验设计参数如表 2 所示。

1.3 观测项目

(1) 叶面积:量取每片绿色叶片的长度和最大宽度,用叶面积拟合公式计算,叶面积 = 校正系数 × 叶长 × 叶宽。

(2) 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的高度。

(3) 分蘖和叶片数:定株观测每丛苗数和叶片数。

表 2 测坑试验设计参数

Tab. 2 Parameters of leaching-pond experimental design

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

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

2 结果与分析

2.1 株高对胁迫及复水的补偿响应

水稻从高秆变为矮秆,取得了产量的突破,但在矮秆品种中,产量和株高常呈现显著的正相关,适当增加株高可扩大植株的生长空间,改善通风透光条件^[1,3]。

FL5、FL10 胁迫期间株高增加量只相当于 CK 的 29.2%、29.6%,生长变慢使茎秆粗壮。有研究表明,水分胁迫下稻茎中通气组织削弱,输导和贮藏组织增加,稻茎中柱内皮层、大小导管数目和直径均增加,茎秆基部节间充实度提高 20.3%~41.7%^[4],后期水稻不会因倒伏而减产。复水 8 d 后,FL5、FL10、FS10 茎秆伸长率从 0.52、0.47 和 0.5 cm/d 增大为 1.67、1.75 和 1.05 cm/d,是对照的 2.93、2.87、1.73 倍,株高增加出现超越补偿,如图 1 所示,图中箭头表示复水日期。

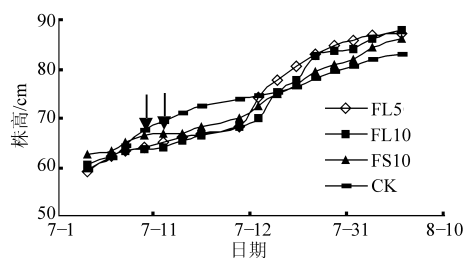


图 1 胁迫及复水对水稻株高变化动态的影响(2004 年盆栽)

Fig. 1 Effect of water stress and rewatering on rice height (potted experiment in 2004)

从测坑试验发现,两阶段连旱对株高的抑制大于单阶段胁迫,而单阶段胁迫中,拔节期重旱的株高最低,甚至小于分蘖期和拔节期连轻旱处理,复水后补偿效应也不明显,如图 2 所示,所以水稻不宜在拔节期重旱,也不宜两阶段连旱,此与张明炷测坑试验结论相同^[5]。

由图 2 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,所以复水对株高的补偿不仅体现在复水后短期内株高的生长速率(RGR)明显提高,而且复

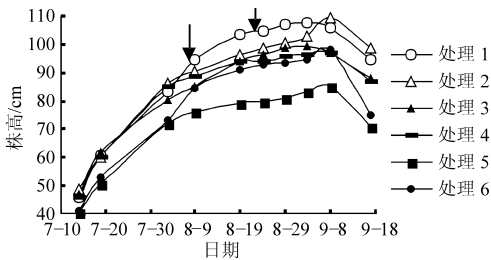


图2 2004年水稻测坑试验株高变化动态

Fig. 2 Dynamics of rice height in the leaching-pond experiment in 2004

水还促进了后期穗节的再伸长,在CK株高停止生长时,复水处理穗节仍在继续伸长,穗长增加、库容量提高,使产量补偿成为可能,如表3所示,除连旱和拔节重旱处理穗长和CK相差不大外,其他处理穗长均大于CK。

2.2 分蘖数对胁迫及复水的补偿响应

有研究表明,无效分蘖在死亡前从有效分蘖吸

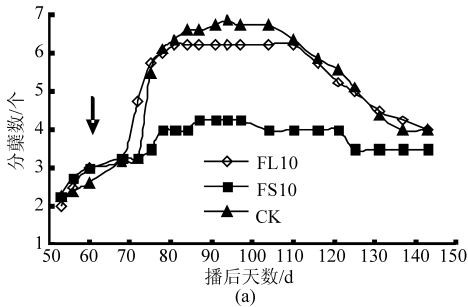
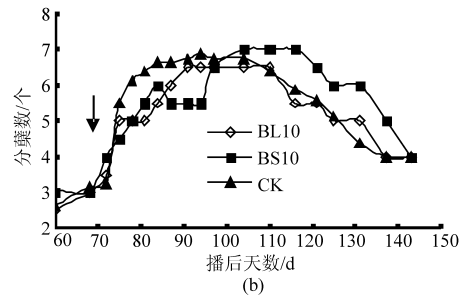


图3 2006年水稻盆栽试验茎蘖变化动态

Fig. 3 Dynamics of rice tiller number in the potted experiment in 2006

(a) 水稻分蘖期胁迫前后茎蘖变化动态 (b) 水稻拔节期胁迫前后茎蘖变化动态



2.3 叶片数对胁迫及复水的补偿响应

由图4所示,胁迫抑制新叶的产生、促使老叶黄萎,使叶片数减少,胁迫越重越明显。复水后新叶出叶速率增加,总叶片数提高,分蘖期复水对叶片的促生作用明显优于拔节期。并且分蘖重旱处理复水后出叶速率远大于轻旱处理和CK,拔节期只有轻旱复水处理才有部分新叶长出。说明营养生长期,旱后复水对新叶的出叶速率有明显补偿,且重旱补偿效

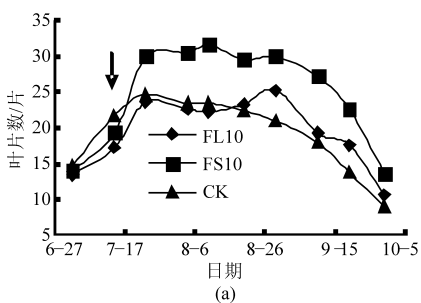


图4 2004年水稻盆栽试验叶片数变化动态

Fig. 4 Dynamics of rice leaf number in potted experiment in 2004

(a) 水稻分蘖期胁迫前后叶片数变化动态 (b) 水稻拔节期胁迫前后叶片数变化动态

表3 水稻测坑试验的穗长

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

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

收的同化物质为其向有效分蘖输出的2~3倍^[6],适当的分蘖可形成良好的个体与适宜的群体,是获得高产的基础。

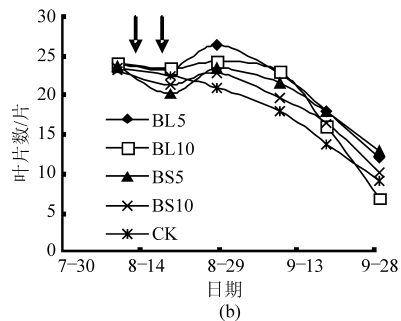
水稻分蘖末期水分胁迫有效地减少了无效分蘖,减少程度与胁迫程度正相关,胁迫结束时FL10分蘖数是CK的98%,FS10分蘖数仅为CK的62.7%,差异极显著。CK处理在拔节期达到高峰苗,之后无效分蘖大量死亡。可见主茎对分蘖的养分供应是以拔节为界的。因此拔节期胁迫使小于3个叶子分蘖的数量明显减少,复水后分蘖数量不再增加,即拔节期复水对分蘖影响不大,如图3所示。

应最佳。

2.4 叶面积对胁迫及复水的补偿响应

刘晓英等认为胁迫对作物生长的影响主要是通过对叶面积的影响而实现的^[7]。张林青等称光合速率大致相同的条件下,叶面积大小和功能期的长短直接影响经济产量^[8]。因此土壤水分变动下叶面积消长动态对补偿的研究很有价值。

水分胁迫对叶片的扩展生长有明显的抑制,抑



制程度与胁迫程度呈正相关。FL10 胁迫期间叶面积 RGR 为 1.76%，只相当于 CK 的 47%，而 FS10 胁迫期间 RGR 几乎为零，如图 5 所示。叶面积的降

低，可减少水分的支出，减缓作物水势下滑速度，使旱后复水补偿生长成为可能^[6]。

旱后复水对叶面积有明显的补偿，主要体现在

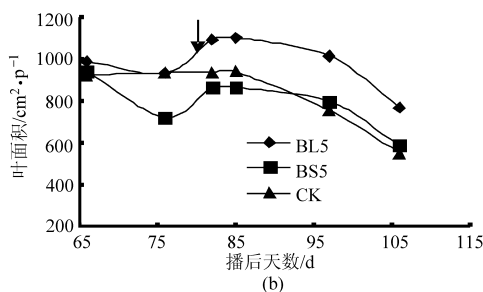
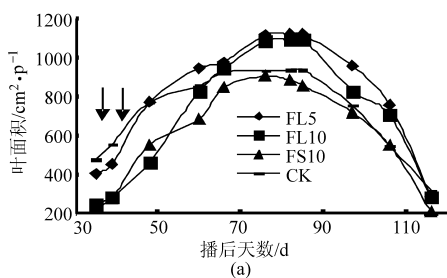


图 5 水分胁迫及复水对水稻叶面积变化动态的影响(2004 年盆栽)

Fig. 5 Effect of water stress and rewating on rice leaf area (potted experiment in 2004)

(a) 分蘖期胁迫及复水对叶面积变化动态的影响 (b) 拔节期胁迫及复水对叶面积变化动态的影响

以下 3 个方面:① 复水后叶面积的 RGR 较胁迫期间大幅度提高,并在复水后一段时间内大于同期 CK,如 FL5、FL10、FS10 处理 RGR 分别是 CK 的 1.62、1.47、1.83 倍。② 分蘖期复水处理在抽穗开花和乳熟期保持了更大的叶面积,说明分蘖末期旱后复水延缓了后期叶片的衰老,有利于穗生长和灌浆。③ 复水处理对再次受旱的适应力增强。分蘖期、拔节期连轻旱,复水补偿效果明显,9 月 10 日叶面积即达到分蘖重旱处理的水平,9 月 17 日叶面积超出了分蘖重旱处理,说明前期胁迫锻炼了作物的抗性和对恶劣环境的适应性,再次发生胁迫时,生长受抑制程度降低,复水的补偿反弹更为显著。但是这种补偿效应是有条件的,发生在分蘖和拔节两阶段轻旱的基础之上,分蘖期重旱与拔节期轻旱的连旱处理,不但复水补偿效应有限,而且后期叶面积衰老得快,如图 6 所示。

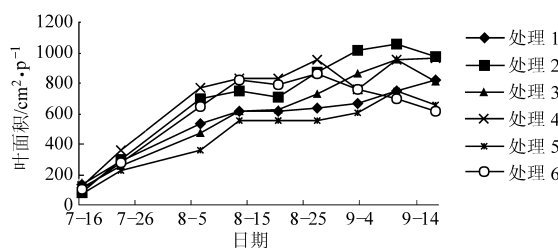


图 6 2004 年水稻测坑试验叶面积变化动态

Fig. 6 Dynamics of rice leaf area in the leaching-pond experiment in 2004

因倒伏造成减产;分蘖末期胁迫有效抑制了无效分蘖的滋生,提高了光合产物的有效利用率和分蘖成穗率,为产量的提高打下基础。

(2) 复水对作物冠层结构有明显的补偿。复水促进了后期穗节的伸长,使产量补偿成为可能;复水延缓了后期叶片的衰老,延长上部叶片的功能期,使抽穗开花和乳熟期保持更大的叶面积,有利于穗的生长和灌浆;另外分蘖末期胁迫使水稻对再次受旱的适应能力增强,复水的补偿更为明显。

(3) 补偿是有条件限制的,分蘖末期重旱和拔节初期轻旱补偿效应最佳,水稻应避免两阶段连旱和拔节期重旱。

3 结论

(1) 水分胁迫在抑制作物生长的同时,能有效诱导冠层结构,为旱后复水补偿效应的产生提供条件。胁迫使茎基部节间变短变粗、茎蘖壮大,水稻不

参 考 文 献

- 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)
- 邵玺文,刘红丹,杜震宇,等. 不同时期水分处理对水稻生长及产量的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(1):193 ~ 196.
Shao Xiwen, Liu Hongdan, Du Zhenyu, et al. Effects of water disposal on growth and yield of rice [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(1):193 ~ 196. (in Chinese)
- 张秀峰,陈温福,迟岳鑫,等. 水稻株型特征与产量构成关系的研究[J]. 垦殖与稻作,2005(3):16 ~ 19.
Zhang Xiufeng, Chen Wenfu, Chi Yuexin, et al. Study on relationships between properties of plant type and yield components in rice [J]. Reclaim and Rice Cultivation, 2005(3):16 ~ 19. (in Chinese)

- Chai Shengfeng, Zhang Guoquan. The research on vegetable quality security control system based on Bayesian statistics[J]. Application of Statistics and Management, 2007, 26(6): 966~970. (in Chinese)
- 6 GB/T 2828.1—2003 计数抽样检验程序,第一部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划[S].
GB/T 2828.1—2003 Sampling procedures for inspection by attributes—Parts 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection[S]. (in Chinese)
- 7 肖慧,张玉柱. GB/T 2828.1—2003《计数抽样检验程序,第一部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》理解与实施[M]. 北京:中国标准出版社,2003.
- 8 言茂松. 贝叶斯风险决策工程[M]. 北京:清华大学出版社,1989.
- 9 茆诗松. 贝叶斯统计[M]. 北京:中国统计出版社,1999.
- 10 苏德清. 可靠性标准及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
- 11 姜礼平,张志华. 成败型产品成功率鉴定试验的一种 Bayes 方法[J]. 工程数学学报,2000,17(4): 25~29.
Jiang Liping, Zhang Zhihua. A Bayesian method of reliability qualification test in binomial case [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2000,17(4): 25~29. (in Chinese)
- 12 GB/T 13664—2006 低压输水灌溉用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材[S].
GB/T 13664—2006 Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) pipes for low-pressure conveyance in irrigation [S]. (in Chinese)
- 13 GB/T 19472.1—2004 埋地用聚乙烯(PE)结构壁管道系统第1部分:聚乙烯双壁波纹管材[S].
GB/T 19472.1—2004 Polyethylene structure wall pipeline system for underground usage—Part I: polyethylene double wall corrugated pipes[S]. (in Chinese)
- 14 GB/T 10002.1—2006 给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材[S].
GB/T 10002.1—2006 Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) pipes for water supply[S]. (in Chinese)
- 15 GB/T 19812.1—2005 塑料节水灌溉器材单翼迷宫式滴灌带[S].
GB/T 19812.1—2005 Plastic equipment for water saving irrigation—drip tape with labyrinth on one side [S]. (in Chinese)
- 16 GB/T 19812.2—2005 塑料节水灌溉器材压力补偿式滴头及滴灌管[S].
GB/T 19812.2—2005 Plastic equipment for water saving irrigation—pressure compensating emitter and emitting pipe[S]. (in Chinese)
- 17 GB/T 19795.1—2005 农业灌溉设备旋转式喷头:第1部分:结构和运行要求[S].
GB/T 19795.1—2005 Agricultural irrigation equipment—rotating sprinklers—Part 1: design and operational requirements[S]. (in Chinese)

(上接第55页)

- 4 崔国贤,沈其绒,崔国清,等. 水稻旱作及对旱作环境的适应性研究进展[J]. 作物研究, 2001(3):70~74.
- 5 张明炷,李远华,崔远来. 非充分灌溉条件下水稻生长发育及生理机制研究[J]. 灌溉排水,1994,13(4):6~10.
Zhang Mingzhu, Li Yuanhua, Cui Yuanlai. Studies on the growth and physiological mechanism of rice cultivated under the condition of deficit irrigation [J]. Irrigation and Drainage,1994,13(4):6~10. (in Chinese)
- 6 郝树荣. 作物干旱胁迫及复水的补偿效应研究[D]. 南京:河海大学,2008.
Hao Shurong. Compensatory effects of drought stress and rewatering on crops [D]. Nanjing: Hohai University, 2008. (in Chinese)
- 7 刘晓英,罗远培,石元春. 水分胁迫后复水对冬小麦叶面积的激发作用[J]. 中国农业科学, 2001,34(4):422~428.
Liu Xiaoying, Luo Yuanpei, Shi Yuanchun. The stimulating effects of rewatering in subjecting to water stress on leaf area of winter wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(4):422~428. (in Chinese)
- 8 张林青,马爱京. 高产水稻群体茎蘖组成和叶面积指数及其关系的研究[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(2):179~183.
Zhang Linqing, Ma Aijing. Study on the constitution of LAI and stems and tillers and their relationship in early stage of high-yielding population in rice [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2004,19(2):179~183. (in Chinese)