

旱涝快速转换对分蘖后期水稻生理特性的影响

郭相平,袁 静,郭 枫,陈治平

(河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 采用测筒试验研究了水稻分蘖期旱涝快速转换前后的光合特性和生理活性.结果表明:旱涝快速转换后轻度淹涝处理,叶片的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(C_s)得以逐渐恢复.重度淹涝叶片的 P_n 、 T_r 和 C_s 均显著低于对照,且随着时间的推移呈下降趋势.旱后轻涝和旱后重涝处理的叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素(CAR)的质量分数和叶绿素(a+b)的质量分数均低于对照.旱涝快速转换后轻度淹涝处理丙二醛(MDA)的质量摩尔浓度与对照差异不显著,而重度淹涝处理则极显著高于对照.旱后轻涝处理有利于根系活力(TTC还原强度)的提高,表现出超补偿效应,而旱后重涝处理的根系活力则显著降低.

关键词 水稻;旱涝快速转换;生理特性

中图分类号 S511.071

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2008)04-0516-04

随着我国资源性缺水 and 水质性缺水程度的日益加剧以及洪涝灾害的频繁发生,如何高效安全地利用好水资源尤其是雨水资源,已逐步得到人们的重视.近年来水稻节水灌溉领域主要集中于对稻田土壤水分控制下限指标的研究^[1-2].研究^[2-3]表明,水稻对干旱和淹水胁迫均具有较强的适应性.若考虑雨后蓄水深度、蓄水历时等耐淹指标,在降低土壤水分控制下限的同时,通过提高雨后蓄水上限,扩大稻田的储水库容,可以截留更多的雨水,即‘蓄水控灌’模式.

这种蓄雨型灌溉模式,在改变地表径流量和提高降雨利用效率的同时,会出现作物在接近灌溉下限(干旱胁迫状态)时,由于雨后设计滞蓄水深较大,在大雨量降雨情况下,可能导致作物在短时间内由干旱胁迫快速转向淹水胁迫的情况.已有成果^[4]表明,前期淹灌处理的水稻,对淹水胁迫具有较强的适应性.但干旱胁迫会导致水稻产生一系列适应干旱的机制,如通气组织的退化^[5]等,可能导致其抗淹涝胁迫能力的降低.目前对于这种旱涝快速转换是否会对水稻的生理、生态指标产生不利影响,进而导致产量的降低,尚不清楚.本文主要对分蘖期水稻在旱涝快速转换前后的光合速率、叶绿素质量分数、丙二醛的质量摩尔浓度、根系活力等生理指标的变化进行研究,以期对‘蓄水控灌’模式的研究提供理论支撑.

1 试验材料与方法

试验于2007年6月~2007年7月在河海大学节水园区的节水与农业生态试验场进行.试验区位于江苏省南京市江宁区,地理坐标为北纬 $31^{\circ}86'$,东经 $118^{\circ}60'$,属于亚热带湿润气候,无霜期237 d,年平均气温 15.7°C ,最高月平均气温 28.1°C ,年均降雨量1021.3 mm,年均蒸发量900 mm,年均日照总时数2212.8 h.

水稻供试品种为杂交中稻K优818.试验土取自临近稻田耕作层,土壤类型为黏壤土,土壤饱和含水率(质量含水率)为38.2%,有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷质量比分别为5.857%,62.9 mg/kg,47.4 mg/kg,0.33 g/kg,10.37 mg/kg,pH值8.10.经晒干、打碎、过筛后,均匀施肥,施肥量每千克土折合纯N 0.15 g, P_2O_5 0.10 g, K_2O 0.15 g.试验采用测筒栽培,测筒直径0.52 m,高0.8 m,底部密封,安置于水稻田间.依据大田种植密度16.67万穴/hm²,筒内种植4穴,每穴2株.

于水稻分蘖初期开始水分干旱胁迫,设计不同旱后淹涝胁迫组合,共2个处理(不含对照CK):旱后轻涝、旱后重涝,分别用HQ和HZ表示,对照CK为淹水灌溉.轻涝处理考虑了传统淹灌分蘖期的允许最大淹

水深度^[6],江淮地区、太湖流域 20 年一遇暴雨后可能的蓄水深度.采用随机区组试验设计,各处理重复 3 次.试验方案见表 1.

试验安排于 7 月 26 日开始干旱胁迫处理,7 月 31 日胁迫 5 d 结束并进行旱涝快速转换处理.

测定指标及方法为:(a)土壤含水率.无水层情况下,利用 FDR 于 9 时测定.(b)水位.有水层情况下,利用刻度尺观测测筒内水位.(c)净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(C_s).采用英国 ADC 公司生产的 Lci-001 型便携光合仪测定.测试叶片为水稻最新完全展开叶,重复 3 次,取平均值.(d)叶绿素、丙二醛(MDA).叶绿素质量分数测试方法参照文献[7] 丙二醛的质量摩尔浓度测试方法参照文献[8].(e)根系活力.剪取根尖部(新生长)0.5~1.0 cm,采用 TTC 法^[8]测定.

2 试验结果与分析

2.1 旱涝快速转换对水稻叶片光合速率、蒸腾速率等指标的影响

光合作用是作物生长的物质基础,旱涝快速转换后水稻光合作用的变化趋势对干物质累积和产量具有重要影响.由图 1 可见,旱涝快速转换条件下,不同处理之间叶片光合速率(P_n)存在差异,表现为 $P_n(\text{CK}) > P_n(\text{HQ}) > P_n(\text{HZ})$,且随淹涝历时的延长,HQ 处理叶片 P_n 逐渐升高并接近对照,与干旱后复水的效果类似;复水后光合速率低于对照,可能主要是前期干旱的滞后效应所致.HZ 处理 P_n 出现明显下降趋势,淹涝 7 d 后,仅有对照的 63.2%,这可能是旱后重涝处理使水稻叶片叶绿体结构受到破坏所致.

蒸腾速率(T_r)与气孔导度(C_s)的变化趋势基本类似.如图 2,3 所示:干旱胁迫抑制了植株的 T_r 和 C_s ,旱涝快速转换后短历时内各处理叶片的 T_r 和 C_s 均低于 CK,随淹涝历时的延长,HQ 处理的 T_r 和 C_s 逐渐恢复,而 HZ 处理出现明显下降趋势,这可能是由于淹涝滞水时间较长,植株内营养和激素水平发生改变,叶片萎蔫和保持膨压诱导气孔关闭^[9]所致.

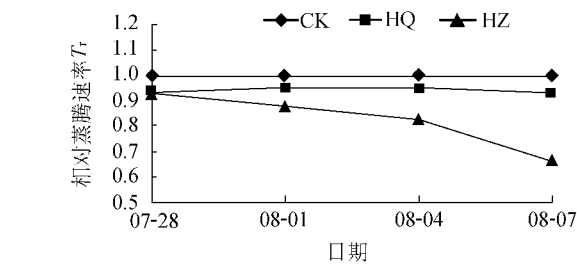


图 2 旱涝快速转换前后水稻叶片相对蒸腾速率的变化
Fig.2 Variation of relative transpiration rate under rapid shift from drought to waterlogging

由图 4 可见:干旱胁迫使得不同处理叶片水分利用效率 $E_{wu}(P_n/T_r)$ 均低于 CK.旱涝快速转换后,各处理之间趋于一致,均与 CK 接近.随淹涝历时的延长,HQ 处理 E_{wu} 逐渐超过 CK,而 HZ 处理出现下降趋势.进一步分析发现,HZ 处理 E_{wu} 下降主要是光合速率降低所致,表明深水淹涝对植株的生长产生了抑制作用.

2.2 旱涝快速转换对叶绿素和丙二醛的质量摩尔浓度的影响

2.2.1 旱涝快速转换对叶片叶绿素质量分数的影响

由表 2 可见:干旱胁迫期间,叶片叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和类胡萝卜素 (CAR) 质量分数均低于对照,表明干旱胁迫抑制了叶片叶绿素的合成或加速了叶绿体结构的分解;旱涝快速转换后,HQ 处理叶片的叶绿素质量分数与淹涝前接近,其中 Chla, CAR 较淹涝前略有提高,但均低于 CK;HZ 处理除 CAR 外,Chla,

表 1 水稻旱涝快速转换试验设计方案

Table 1 Test scheme of rice under rapid shift from drought to waterlogging

处理编号	水分处理	控水下限	淹涝上限/mm
CK	淹水灌溉	20 mm	50
HQ	旱后轻涝	60% θ_s	15
HZ	旱后重涝	60% θ_s	300

注 控制土壤水分的土层深度为 0~20 cm θ_s 为土壤饱和含水率.

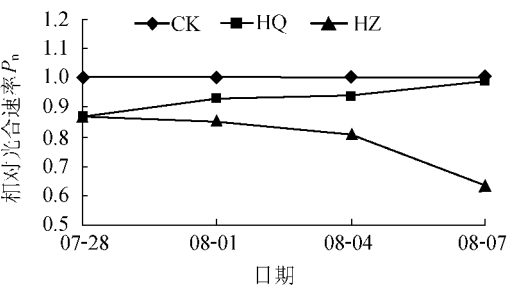


图 1 旱涝快速转换前后水稻叶片
相对光合速率的变化

Fig.1 Variation of relative photosynthesis rate under rapid shift from drought to waterlogging

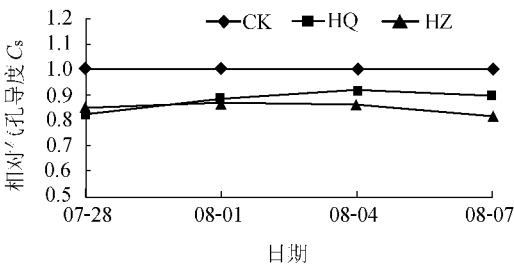


图 3 旱涝快速转换前后水稻叶片相对气孔导度的变化
Fig.3 Variation of relative stomatal conductance rate under rapid shift from drought to waterlogging

Chlb 均低于淹涝前.淹涝 7 d 后各处理 Chla,Chlb,CAR 质量分数和 Chla + Chlb 质量分数均有所降低,与黄璜^[10]的试验结果类似.

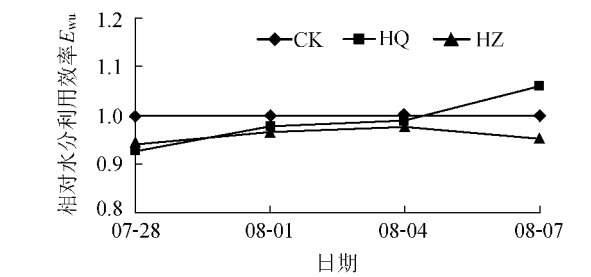


图 4 旱涝快速转换前后叶片相对水分利用效率的变化
Fig.4 Variation of relative water use efficiency under rapid shift from drought to waterlogging

2.2.2 旱涝快速转换对叶片中丙二醛的质量摩尔浓度的影响

丙二醛为细胞膜质过氧化指标,它既是过氧化产物,又可强烈地与细胞内各种成分发生反应,使各种酶和膜系统造成严重损伤,其的质量摩尔浓度的高低表明了叶片细胞膜脂的过氧化程度^[2].由表 3 可见 水分干旱胁迫处理的水稻叶片丙二醛的质量摩尔浓度均有所升高,但与对照差异不显著;旱涝快速转换后,HQ 处理叶片 MDA 的质量摩尔浓度在短期内低于 CK,表明干旱胁迫后轻度淹水可以抑制叶片的衰老,而 HZ 处理则显著高于 CK 淹水 7 d,HQ 叶片 MDA 的质量摩尔浓度接近 CK,而 HZ 处理则极显著高于对照.这表明,经历干旱胁迫后,立即遭受轻度淹涝胁迫不会对水稻叶片造成严重损伤,而重度淹涝则会加剧叶片细胞膜脂的过氧化程度,加速水稻叶片的衰老.这与光合作用的变化趋势相同.

2.3 旱涝快速转换对水稻根系活力的影响

根系活力是水稻根系吸收营养物质能力的体现.由表 4 可见 水分干旱胁迫使水稻根系活力降低,与 CK 差异均达到显著水平.旱涝快速转换后,随着淹涝历时的延长,HQ 处理根系活力相对有所增加,直到超过 CK,产生了超补偿效应,与作物旱后恢复至充分正常供水的情况一致.而 HZ 处理则显著降低,表明旱后重涝不仅没有使干旱造成的抑制趋势得以改变,而且加剧了根系功能的降低,对后期的补偿生长不利.

表 3 水稻分蘖期旱涝快速转换前后丙二醛(MDA)质量摩尔浓度
Table 3 MDA molality in tillering stage of rice under rapid shift from drought to waterlogging

处理 编号	$m(\text{MDA})/(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$		
	干旱胁迫 3 d	淹涝胁迫 1 d	淹涝胁迫 7 d
CK	9.92 a	11.62 aA	10.30 aA
HQ	11.24 a	11.31 aA	10.36 aA
HZ	11.39 a	13.49 bA	13.90 bB

注 不同大写字母表示同一列数值在 $P_{0.01}$ 水平上的差异显著性;
不同小写字母表示同一列数值在 $P_{0.05}$ 水平上的差异显著性.

表 2 水稻分蘖期旱涝快速转换前后叶绿素质量分数
Table 2 Mass fraction of chlorophyll in tillering stage of rice under rapid shift from drought to waterlogging mg/g

日期	处理方式	处理 编号	$w(\text{Chla})$	$w(\text{Chlb})$	$w(\text{Chla} + \text{Chlb})$	$w(\text{CAR})$
07-28	干旱胁迫 3 d	CK	1.69	0.34	2.03	0.44
07-28	干旱胁迫 3 d	HQ	1.41	0.35	1.76	0.38
07-28	干旱胁迫 3 d	HZ	1.49	0.35	1.84	0.37
08-01	旱后淹涝 1 d	CK	1.56	0.35	1.91	0.42
08-01	旱后淹涝 1 d	HQ	1.43	0.33	1.76	0.40
08-01	旱后淹涝 1 d	HZ	1.41	0.32	1.73	0.39
08-07	旱后淹涝 7 d	CK	1.48	0.35	1.83	0.40
08-07	旱后淹涝 7 d	HQ	1.33	0.31	1.64	0.35
08-07	旱后淹涝 7 d	HZ	1.25	0.30	1.55	0.31

表 4 水稻分蘖期旱涝快速转换前后根系活力的变化
Table 4 Variation of root activity in tillering stage of rice under rapid shift from drought to waterlogging

处理 编号	根系活力/ $(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1})$		
	干旱胁迫 3 d	淹涝胁迫 1 d	淹涝胁迫 7 d
CK	0.550 aA	0.530 aA	0.410 aA
HQ	0.373 bA	0.466 aA	0.413 aA
HZ	0.362 bA	0.342 bA	0.235 bB

注 不同大写字母表示同一列数值在 $P_{0.01}$ 水平上的差异显著性;
不同小写字母表示同一列数值在 $P_{0.05}$ 水平上的差异显著性.

3 结论与讨论

a. 干旱胁迫抑制叶片光合速率.恢复淹水后,在一定水深范围内,光合作用得以逐渐恢复,但淹水深度过大,淹水胁迫会抑制叶片的光合速率、蒸腾速率和气孔导度,其中叶绿素质量分数减小、活性降低^[9] 和气孔导度下降可能是叶片光合速率降低的主要因素.

b. 淹涝胁迫对叶绿素质量分数的影响具有二重性.一般认为,淹涝胁迫加速叶片衰老,抑制叶绿素合成,并加速其分解,使叶绿素质量分数降低.本试验中,重度淹涝胁迫下叶绿素质量分数的降低主要是淹涝胁迫引起大量自由基积累,致使叶绿体结构松懈,分解速度加快所致^[9].而轻度淹涝处理后,叶片的光合速率逐渐恢复并趋向对照,叶绿素质量分数的降低可能是旱后浅水淹涝促使植株生长加快,其叶片扩展补偿效应超

过了叶绿素合成的补偿效应,出现了叶绿素‘稀释’现象所致^[11],其结论有待于进一步探讨.

c. 旱涝快速转换对植株叶片衰老的影响与旱后淹涝程度(水深)密切相关.分蘖期干旱胁迫对叶片的衰老并无显著影响,旱涝快速转换后,轻度淹水处理叶片中丙二醛(MDA)的质量摩尔浓度出现低于对照的现象,表明浅水层的淹涝未对水稻叶片造成损伤,只是在重度淹涝胁迫(深水层)条件下,才导致 MDA 的质量摩尔浓度增加,加剧叶片细胞膜脂的过氧化程度,加速水稻叶片的衰老.这与王惠群等^[12]的结论相符.

d. 干旱胁迫使根系活力降低,这与郝树荣等^[13]的研究结果一致.旱涝快速转换后,浅水淹涝对水稻根系活力的恢复可产生积极影响,甚至产生超越补偿效应,表明恢复淹水有利于根系吸收能力的提高.深水淹涝则表现为明显的抑制效应.

e. 对于长江和淮河流域,20 年一遇日降雨量为 200 mm 左右,在节水灌溉模式下,可将土壤从饱和含水量的 60% 增加到淹水 150 mm 左右.此淹水深度对水稻的生理指标并没有明显抑制作用.从最终产量来看,轻涝处理为 654.04 kg/hm²,重涝处理为 565.66 kg/hm²,较对照分别减少 9.62% 和 21.83%,所以应避免旱后由暴雨引起的重度淹涝胁迫.从光合速率变化趋势分析,在旱后轻涝条件下,蓄水控灌模式对水稻产量的影响主要是前期干旱胁迫较重所致.因此,若合理控制灌溉下限指标,在江淮地区实施蓄水控灌具有可行性.

参考文献：

[1] 彭世彰,李荣超.覆膜旱作水稻干物质生产-光截获模型研究[J].中国水稻科学,2002,16(4):372-374.

[2] 郭相平,张烈君,王琴,等.拔节孕穗期水分胁迫对水稻生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):125-129.

[3] 李阳生,李绍清.淹涝胁迫对水稻生长发育的生理特性和产量性状的影响[J].武汉植物学研究.2000,18(2):117-122.

[4] 高德友,赵新华,段祥茂,等.抽穗期洪涝对水稻产量及其构成因素的影响[J].耕作与栽培,2001,12(5):31-47.

[5] 王维,杨建昌,朱庆森.控水条件下水稻旱育秧苗的形态生理特性[J].江苏农业研究,2001,22(1):16-20.

[6] 房宽厚,赖伟标.农田灌溉与排水[M].北京:水利电力出版社,1993.

[7] 张宪政,谭桂茹,黄元极,等.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1989.

[8] 邹琦.植物生理学实验指导[K].北京:中国农业出版社,2001.

[9] 李玉昌,李阳生,李绍清.淹涝胁迫对水稻生长发育危害与耐淹性机理研究的进展[J].中国水稻科学,1998,12(增刊):70-76.

[10] 黄璜.稻田抗洪抗旱的功能:III 深灌对水稻叶片生理生化特性的影响[J].湖南农业大学学报,1999,25(4):267-270.

[11] 郝树荣,郭相平,王为木,等.水稻拔节期水分胁迫及复水对叶片叶绿体色素的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(4):397-400.

[12] 王惠群,孙福增,彭克勤,等.淹水处理对水稻叶片膜脂过氧化作用及细胞透性的影响[J].湖南农业大学学报,1996,22(3):222-224.

[13] 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.

Effects of rapid shift from drought to waterlogging stress on physiological characteristics of rice in late tillering stage

GUO Xiang-ping, YUAN Jing, GUO Feng, CHEN Zhi-ping
(College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : Pot experiments were conducted to study the effects of drought stress and waterlogging stress on photosynthetic and physiological characteristics of rice during the late tillering stage. The results show that the photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r) and stomatal conductance (C_s) recover gradually when drought stress is followed by mild waterlogging stress (HQ), but they remain significantly lower under severe waterlogging stress (HZ) than they do under flooding irrigation (CK) and they continue deceasing with time. Under both HQ and HZ treatment, the mass fractions of the chlorophyll (a + b), chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid are all lower than they are under CK. The malondialdehyde (MDA) molality shows no significant difference under HQ or CK, but it is significantly higher under HZ treatment. The root activity (TTC-reducing intensity) increases significantly under HQ treatment compared with that under CK, indicating that there is an over-compensation effect, but it decreases significantly under HZ treatment.

Key words : rice ; rapid shift from drought to waterlogging ; physiological characteristics