

水稻拔节期水分胁迫及复水对叶片叶绿体色素的影响

郝树荣 郭相平* 王为木 张烈君 王 琴

(河海大学现代农业工程系 ,江苏 南京 210098)

摘要 通过盆栽试验 ,对水稻拔节期不同程度、不同历时的水分胁迫及复水后叶片叶绿体色素含量变化及其机理进行了研究 .结果表明 :胁迫历时对叶绿体色素的影响大于胁迫程度对叶绿体色素的影响 .短历时(5 d)胁迫会增加叶绿素含量 ,复水后会降低叶绿素含量 ,且重度胁迫复水后对叶绿素的补偿效应强于轻度胁迫复水后对叶绿素的补偿效应 ;长历时(10 d)胁迫会降低叶绿素含量 ,复水后会增加叶绿素含量 ,且轻度胁迫复水后对叶绿素的补偿效应强于重度胁迫复水后对叶绿素的补偿效应 .水分胁迫会增加叶绿素 a 与 b 的质量比 ,复水后会降低叶绿素 a 与 b 的质量比 .类胡萝卜素含量的变化趋势与叶绿素含量的变化趋势一致 .

关键词 水分胁迫 ;复水 ;水稻 ;拔节期 ;叶绿素 ;类胡萝卜素

中图分类号 :S274 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2006)04-0397-04

光合作用是植物代谢的基础 ,其实现主要依赖于叶绿体色素 .叶绿体色素在光合作用过程中不仅对光能的吸收与转化具有重要作用 ,而且在环境变化过程中能动态地调整它们之间的比例关系 ,合理地分配和耗散光能 ,保证光合系统的正常运转 .因此 ,水分变化条件下作物叶绿体色素变化规律的研究是光合作用与相关环境因素关系研究的基础 .前人^[1-4]研究大多集中于水分胁迫期间不同胁迫程度对叶绿体色素含量的影响方面 ,且研究结论不一 .机理分析不深入 ,而水分胁迫历时及胁迫后复水条件下叶绿体色素的变化尚未见报道 .本文根据盆栽试验测定的水稻拔节期不同胁迫程度、不同胁迫历时及胁迫复水后叶片叶绿体色素含量 ,探讨水分胁迫对叶片叶绿体色素的直接影响和后效作用 .

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2004 年 5 ~ 10 月在河海大学试验田进行 .试验所用塑料盆底部直径为 18 cm、上部直径为 24 cm、高为 25.5 cm ,土壤取自河海大学节水园区 ,土壤质地为黏土 ,田间持水量为 30.5% .基肥用量为每 kg 干土 0.15 g N ,0.1 g P₂O₅ 和 0.15 g K₂O ,每盆装风干土 7.5 kg .供试水稻品种为“ K 优 818 ”.5 月 20 日开始育苗 ,三叶一心时移植 ,每盆移栽 5 穴 ,每穴 1 株 ,分蘖初留长势相近的 3 穴 .拔节期开始控水处理 ,雨天用雨棚防雨 .

1.2 试验方案与方法

试验设计 考虑水分胁迫程度和胁迫历时 2 个因素 ,胁迫程度设置轻旱和重旱 2 个水平 ,胁迫历时设置 5 d 和 10 d 2 个水平 .另设复水时施肥处理(每 kg 干土施 142.86 mg NH₄NO₃)和对照处理 .其中对照处理采用浅水勤灌方式 ,保持土表土层 10 ~ 20 mm ,不追肥 ,其他 6 个处理的试验设计见表 1 .所有处理均重复 4 次 .

控水方法 每天早晨用感量 1 g 的电子天平称重 ,低于控水下限时补水至控水上限 .

表 1 试验设计				
Table 1 Design for experiment				
处理方式	胁迫 历时/d	胁迫 程度	含水 量/%	是否 追肥
轻 5	5	轻度	70 ~ 80	否
轻 10	10	轻度	70 ~ 80	否
重 5	5	重度	60 ~ 70	否
重 10	10	重度	60 ~ 70	否
轻 10 + 肥	10	轻度	70 ~ 80	是
重 10 + 肥	10	重度	60 ~ 70	是

收稿日期 2005-12-07
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) ,河北怀来人 ,讲师 ,博士研究生 ,主要从事节水理论与技术研究 .
* 通讯联系人 :郭相平 .

叶绿体色素的测定:首先选取稻株上数第1片完全展开叶并剪下中间一段,剪碎混匀后称取0.2 g碎叶,然后用96%乙醇提取叶绿体色素,用WFZ800-D3B型分光光度计检测470 nm、649 nm和665 nm波长下的吸光值,最后计算叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素的质量分数。

2 结果分析

2.1 水分胁迫及复水对叶绿素质量分数的影响

2.1.1 水分胁迫历时对叶绿素质量分数的影响

如表2所示,短历时胁迫处理的叶绿素质量分数大于对照处理的叶绿素质量分数,复水后短历时胁迫处理的叶绿素质量分数小于对照处理的叶绿素质量分数。此结果表明,短历时胁迫在减少叶绿素合成或增加水解的同时,也限制了作物营养体(包括叶片面积和厚度)的增大,叶绿素质量分数增大是浓缩效应所致。复水后叶片扩展生长大大加快,其补偿效应远强于对叶绿素合成的补偿效应。

由表2可知,长历时胁迫并未出现短历时胁迫下叶片浓缩效应所致的叶绿素质量分数升高的现象,说明长历时胁迫更加抑制了叶绿素的生物合成,加速了叶绿素的分解。复水5 d后,对照处理的叶绿素质量分数有所下降,而复水处理的叶绿素质量分数却呈增大态势,说明长历时胁迫后复水对叶绿素的补偿效应强于对叶片扩展的补偿效应。

2.1.2 水分胁迫程度对叶绿素质量分数的影响

胁迫期间轻旱叶绿素质量分数大于重旱叶绿素质量分数,说明重旱对叶绿素合成的抑制作用更大。短历时胁迫复水后,重旱叶绿素降低速率(43.3%)小于轻旱叶绿素降低速率(47.7%),说明重旱后复水对叶绿素的补偿效应强于轻旱后复水对叶绿素的补偿效应。长历时胁迫复水后,轻旱叶绿素质量分数恢复速率(2.3%)大于重旱叶绿素质量分数恢复速率(1.8%),轻10叶绿素质量分数大于对照叶绿素质量分数,而对照叶绿素质量分数大于重10叶绿素质量分数,如表2所示。这说明长历时重旱对叶绿素的破坏程度大,复水虽对叶绿素有所补偿,但补偿有限,不能弥补胁迫造成的损失,叶绿素质量分数未达到对照水平。因此,水稻拔节期应避免长历时重度胁迫。

2.1.3 复水后施肥对叶绿素质量分数的影响

复水同时施肥的叶绿素恢复速率均大于对应不施肥处理的叶绿素质量分数恢复速率,复水后5 d重10+肥处理的叶绿素恢复速率为28.3%,大于重10处理的叶绿素恢复速率(1.8%),说明复水后施肥可增大补偿效应。

复水5 d后,处理轻10与轻10+肥的叶绿素质量分数恢复速率没有明显区别;复水10 d后,施肥处理的叶绿素质量分数仍持续增加,而对应不施肥处理的叶绿素质量分数已缓慢下降。这说明复水后施肥对补偿效应的作用未立即显现,存在5 d左右的响应滞后时间。

2.2 胁迫及复水后 $m(\text{叶绿素a})/m(\text{叶绿素b})$ 的变化规律

试验结果表明,干旱情况下 $m(\text{叶绿素a})/m(\text{叶绿素b})$ 显著提高,复水后 $m(\text{叶绿素a})/m(\text{叶绿素b})$ 呈下降趋势(图1),但不同胁迫历时,此比值的变化机理不同。

在短历时胁迫下,叶绿素a和叶绿素b的质量分数均会增大, $m(\text{叶绿素a})/m(\text{叶绿素b})$ 的增大是由于叶绿素a增大幅度更大所致。在长历时胁迫下,叶绿素a和叶绿素b的质量分数均会减小, $m(\text{叶绿素a})/m(\text{叶绿素b})$ 的增大是由于叶绿素a减小幅度更小所致。以上2种情况

表2 胁迫结束及复水5 d后的叶绿素质量分数

Table 2 Mass fraction of Chl(a+b) at the end of water stress and 5 days after rewatering

处理方式	胁迫结束时的 叶绿素质量分数/%	复水5 d后的 叶绿素质量分数/%
轻5	0.4698	0.2459
重5	0.4168	0.2365
CK5	0.3954	0.2555
轻10	0.3024	0.3093
重10	0.2340	0.2383
轻10+肥	0.2922	0.2970
重10+肥	0.3014	0.3868
CK10	0.3435	0.2651

注:CK5为控水5 d的对照处理;CK10为控水10 d的对照处理。

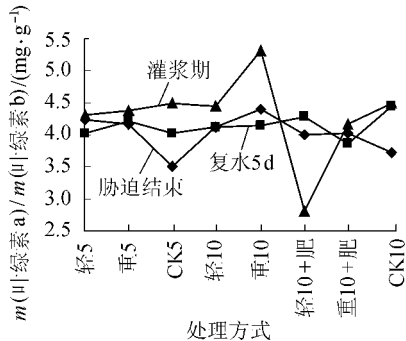


图1 水分胁迫及复水对 $m(\text{叶绿素a})/m(\text{叶绿素b})$ 的影响
Fig.1 Effect of water stress and rewatering on $m(\text{Chl a})/m(\text{Chl b})$

说明,水分胁迫会使叶绿素 a 相对含量增加.在干旱胁迫下,光能常常过剩,叶绿素 a 相对含量的增加可用叶绿素 a 荧光发射耗散过剩光能,防止胁迫对作物造成大的伤害.

短历时胁迫复水后,叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量分数均会减少, $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 的下降是由于叶绿素 b 减少幅度小于叶绿素 a 减少幅度所致.长历时胁迫后复水,叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量分数均会增加, $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 的下降是由于叶绿素 b 增加幅度更大所致.这说明复水会使叶绿素 b 相对含量增加,相应光系统 II 的活性增大,有利于光合作用补偿效应的产生.

2.3 胁迫及复水后类胡萝卜素质量分数的变化规律

图 2 反映了水分胁迫及复水对类胡萝卜素质量分数的影响.从图 2 可以看出,类胡萝卜素质量分数的变化与叶绿素的变化趋势基本一致,即短历时胁迫类胡萝卜素质量分数增加,复水后质量分数降低;长历时胁迫类胡萝卜素质量分数降低,复水后质量分数增加.水分胁迫下以叶绿素为基数的 $m(\text{类胡萝卜素})/m(\text{叶绿素})$ 变化很小.这一结论与“耐旱性较强的水稻品种受旱时此比值保持不变 [5]”一致.

3 讨 论

叶绿体色素在作物体内有一个不断更新的过程,旧色素不断分解,新的又不断合成,水分、光照、温度等外界环境条件均能影响叶绿体色素的含量.

a. 关义新等^[1,3,4]认为,水分胁迫会使叶绿素含量降低,且重度胁迫降低幅度大于轻度胁迫降低幅度^[6-7],即叶绿素含量与水分胁迫程度呈负相关;而房江育等^[2]认为,中度胁迫下叶绿素质量分数无显著变化,重度胁迫下呈极显著变化.本试验不但考虑了水分胁迫程度,而且考虑了胁迫历时及胁迫后复水对叶绿素含量的影响.试验结果表明,稻叶叶绿素含量对水分胁迫历时的敏感程度要比对胁迫程度的敏感程度高.在短历时胁迫下,无论重旱还是轻旱,叶绿体色素质量分数均会升高,复水后叶绿体色素质量分数均会降低;在长历时胁迫下,无论重旱还是轻旱,叶绿体色素质量分数均会降低,复水后叶绿体色素质量分数均会升高.(a)短历时水分胁迫下 MDA(丙二醛)含量增大,说明短历时水分胁迫下轻旱也会使氧化作用加强、叶绿素合成受阻,叶绿素含量升高是由于水分胁迫使叶片失水、含水量降低、叶片扩展生长受阻,产生浓缩效应所致.复水后叶片扩展生长大大加快,其补偿效应远强于对叶绿素合成的促进补偿效应.(b)长历时水分胁迫使叶绿素合成受阻、类胡萝卜素活性降低,类胡萝卜素抗氧化功能下降使活性氧在作物体内的累积和叶绿素的分解加快,导致叶绿素含量降低.复水后类胡萝卜素活性的升高,提高了对活性氧的淬灭能力,促进了叶绿素的合成,且此效应强于复水导致的叶面积扩展效应,造成叶绿素含量升高.这说明长历时胁迫后复水对叶绿素的补偿效应强于对叶片扩展的补偿效应.

b. 虽然叶绿素 a 和叶绿素 b 均可作为集光色素捕获光能,但只有部分叶绿素 a 能作为反应中心色素.目前对水分胁迫下 $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 变化规律的研究结果很不一致.例如,孙骏威等^[3]认为 $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 呈上升趋势,而关义新等^[1,4]认为 $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 呈下降趋势.本试验结果与孙骏威等^[3]的试验结果一致.但孙骏威等^[3]认为,水分胁迫下 $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 呈上升趋势是由于叶绿素 b 降解速度超过叶绿素 a 降解速度所致.本试验结果表明,此比值的变化与水分胁迫历时有关,短历时胁迫下,叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量分数均会增加, $m(\text{叶绿素 a})/m(\text{叶绿素 b})$ 增加是由于叶绿素 a 增加幅度更大造成的.

c. 类胡萝卜素是植株体内重要的内源自由基清除剂,它可捕获体内的单线态氧而减轻自由基对植株的伤害和叶绿素的光氧化^[8].关义新等^[1]认为,水分胁迫下类胡萝卜素质量分数会降低;井春喜等^[9]认为,轻旱类胡萝卜素质量分数会上升,重旱类胡萝卜素质量分数会降低.本试验发现,类胡萝卜素质量分数与水分胁迫历时有关,短历时胁迫类胡萝卜素质量分数会增加,长历时胁迫类胡萝卜素质量分数会降低.短历时胁迫,类胡萝卜素质量分数的增加会提高淬灭活性氧的能力,减少叶绿素的分解和细胞内氧自由基的积累;长历时

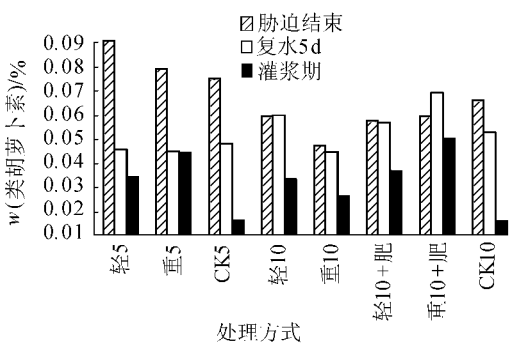


图 2 水分胁迫及复水对类胡萝卜素质量分数 $w(\text{类胡萝卜素})$ 的影响
Fig.2 Effect of water stress and rewatering on mass fraction of CAR

胁迫,类胡萝卜素质量分数降低会导致抗氧化功能降低、活性氧累积加速,因而叶绿素含量的降低与活性氧的损伤程度有关。

参考文献:

- [1] 关义新,徐世昌,陈军,等.土壤干旱下喷施乙醇胺对玉米生理特性及产量的影响[J].作物学报,1995,21(4):425-428.
- [2] 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.
- [3] 孙骏威,杨勇,黄宗安.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.
- [4] 张明生,谢波,谈锋,等.甘薯可溶性蛋白、叶绿素及ATP含量变化与品种抗旱性关系的研究[J].中国农业科学,2003,36(1):13-16.
- [5] 蒋明义,杨文英,徐江,等.渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用[J].植物学报,1994,36(4):289-295.
- [6] 赵天宏,沈秀瑛,杨德光,等.水分胁迫及复水对玉米叶片叶绿素含量和光合作用的影响[J].杂粮作物,2003,23(1):33-35.
- [7] 刘玲玲,李军,李长辉.马铃薯可溶性蛋白、叶绿素及ATP含量变化与品种抗旱性关系的研究[J].中国马铃薯,2004,18(4):201-204.
- [8] 汪炳良,徐敏,史庆华,等.高温胁迫对早熟花椰菜叶片抗氧化系统和叶绿素及其荧光参数的影响[J].中国农业科学,2004,37(8):1245-1250.
- [9] 井春喜,张怀刚,师生波,等.土壤水分胁迫对不同耐旱性春小麦品种叶片色素含量的影响[J].西北植物学报,2003,23(5):811-814.

Effects of water stress and rewatering at shooting stage of rice on chlorophyll pigments in leaves

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

(Department of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract Pot experiments were performed for study of the variation mechanism of chlorophyll pigments in rice leaves at different grades and for different durations of water stress after rewatering. Some conclusions are drawn: the duration of water stress is of greater effect on chlorophyll pigment than the grade of water stress; the water stress of short duration (5 d) leads to the increase of content of chlorophyll, while rewatering reduces the content of chlorophyll, and the compensation effect on chlorophyll by rewatering at high-grade water stress is greater than that at low-grade water stress; long duration (10 d) of water stress decreases the chlorophyll content, while it is increased after rewatering, and the compensation effect on chlorophyll content by rewatering at low-grade water stress is greater than that at the high-grade water stress; water stress increases the ratio of chlorophyll a and chlorophyll b, while rewatering decreases the ratio; the variation of carotenoid content accords with that of chlorophyll content.

Key words water stress; rewatering; rice; shooting stage; chlorophyll; carotenoid