

文章编号: 1003-8701(2005)05-0007-04

盐碱胁迫下水稻齐穗期剑叶光响应特性的研究

杨 福,梁正伟,王志春,陈 渊

(中国科学院东北地理与农业生态研究所,长春 130012)

摘 要: 采用 LI-6400P 型光合仪测定了盐碱胁迫下水稻品种吉优 1 号齐穗期剑叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)对不同模拟光强的响应。结果表明,无论是盐碱胁迫还是非盐碱胁迫,水稻剑叶的 P_n 、 G_s 、 T_r 在低光强($0\sim 200 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下随光强的增加呈直线上升趋势,而 C_i 呈直线下降趋势;在中光强($200\sim 800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下 P_n 、 G_s 、 T_r 随光强增加上升趋势缓,而 C_i 缓慢降低;在高光强($>800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下 P_n 、 G_s 、 T_r 均达到最大值,并保持平衡或略有下降,而 C_i 降到最低并保持平衡。但与非盐碱胁迫相比盐碱胁迫使 P_n 、 G_s 、 T_r 、 C_i 整体下降。盐碱胁迫降低了水稻的光饱和点和光补偿点。

关键词: 水稻;盐碱胁迫;光强;生理特性

中图分类号: S511.01

文献标识码: A

本研究在不同盐碱胁迫下测定了水稻齐穗期人工模拟光强-光合响应及影响因子。由于在植物光合生理研究中叶片气孔导度、气孔限制值、胞间 CO_2 浓度的变化是光合速率变化的主要原因,因而考察了光强、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、蒸腾速率与光合速率之间的关系。为进一步了解水稻在盐碱胁迫下对环境的响应程度提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料和试验设计

盆栽试验于 2003~2004 年在长春市郊人工防雨棚中进行。供试水稻品种为吉林省农业科学院选育的吉优 1 号,生育期 135 d。

试验盆栽用无孔塑料盆,上口直径为 30 cm,下口直径 23 cm,每盆装土 12 kg。水稻盆栽试验所用肥料为山东丰源复合肥有限公司生产的通用型复合肥,N、 P_2O_5 、 K_2O 各含 15%。插秧前每盆施用复合肥 9 g 作基肥。分蘖期每盆施尿素 1 g。4 月 20 播种,5 月 25 日插秧。选取叶龄一致的秧苗,每盆插 4 穴,每穴 2 株。灌溉水为民用小井,井深 30 m。

试验用盐碱土取自吉林省大安市典型苏打盐碱土,取土深度为地表 0~40 cm。取土时充分混合,过筛,晾干。土壤化学性质为:pH 10.34,EC 1.506 ds/m,CEC 27.36 mmol/kg,交换性 Na^+ 25.49 mmol/kg,ESP 93.17%。非盐碱土取自吉林农业大学试验站农田土壤。

将盐碱土与非盐碱土按不同比例混合,设 3 个盐碱胁迫处理 SS_0 (ck)、 SS_1 和 SS_2 ,3 次重复。

表 1 供试土壤化学性质

处理	pH	EC(ds/m)	CEC(mmol/kg)	交换性 Na^+ (mmol/kg)	ESP(%)
SS_0	6.92	0.324	24.50	0.59	2.41
SS_1	8.85	0.500	21.84	5.65	25.67
SS_2	9.22	0.653	19.14	10.17	53.13

收稿日期: 2005-05-15

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-19-3-02)

作者简介: 杨 福(1965-),男,副研究员,主要从事水稻耐盐碱机理研究。

1.2 测定项目和方法

在水稻齐穗期于每个处理分别选定生长相对一致的 5 株并挂牌标记。用美国产 LI-6400P 型便携式光合测定系统对标记稻株的剑叶分别测定各盐碱处理在 0、50、100、200、400、600、800、1 000 和 1 200 $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光强下的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr)等生理指标。光补偿点按在低光强($<200 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下的净光合速率对光强直线回归方法计算。测量过程中环境条件变化幅度如下:气温(26.79 ± 3.51) $^{\circ}\text{C}$;叶温 (28.45 ± 2.57) $^{\circ}\text{C}$;湿度 $53.73\% \pm 2.36\%$;空气中 CO_2 浓度 $341.67 \pm 12.78 \mu\text{mol/mol}$ 。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫下水稻剑叶净光合速率对光强的响应

从图 1 可见,在低光强($0 \sim 200 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下无论是 SS_0 还是盐碱处理 SS_1 、 SS_2 ,其净光合速率均随光强的增加而近乎直线上升,而且 SS_1 、 SS_2 的上升速率略慢于 SS_0 ;在中光强($200 \sim 800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下 SS_0 、 SS_1 和 SS_2 净光合速率的增加变缓;在高光强($>800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下净光合速率近乎达到最大值,然后略有下降的趋势。但在各种光强下, SS_0 的净光合速率均高于盐碱处理 SS_1 、 SS_2 ,且净光合速率最大值分别是 14.2、11.4 和 10.6 ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), SS_1 、 SS_2 净光合速率最大值分别比 SS_0 降低 19.7% 和 25.3%。 SS_0 光饱和点在 1 000($\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)左右,补偿点 13.39, SS_1 、 SS_2 的光饱和点在 800($\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)左右,补偿点分别为 17.18 和 24.45 ($\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)。从以上分析得知,盐碱胁迫明显地抑制了水稻剑叶的光合作用,使净光合速率明显下降(表 2)。

2.2 盐碱胁迫下水稻剑叶气孔导度对光强的响应

从图 2 可见,盐碱胁迫下水稻剑叶气孔导度对光强的响应与盐碱胁迫下净光合速率对光强响应的变化趋势基本一致。在低光强 ($0 \sim 200 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下 SS_0 、 SS_1 和 SS_2 水稻剑叶气孔导度随光强的增加而呈直线增大, SS_1 增加幅度略低于 SS_0 , SS_2 明显低于 SS_0 、 SS_1 增加的幅度;在中光强($200 \sim 800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下 SS_0 、 SS_1 和 SS_2 气孔导度随光强增强而增大的幅度明显变缓, SS_0 的气孔导度大于 SS_1 、 SS_2 ; 在高光强 ($>800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下各盐碱处理气孔导度达到最大值,然后略有下降的趋势,其最大值分别为 0.171、0.159 和 0.132($\text{molH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), SS_1 、 SS_2 气孔导度最大值比 SS_0 分别降低 7.0% 和 22.8%。气孔是叶片蒸腾过程中水蒸气从体内排到体外的主要通道,也是光合作用吸收空气中 CO_2 的主要入口。光强增强导致 P_n 增大,消耗 CO_2 量增大,叶片自身通过调节气孔增大 G_s 来加速空气中 CO_2 向叶肉细胞的扩散。但总的来说,盐碱胁迫下水稻剑叶气孔导度随光强的增强而增大,但 SS_1 、 SS_2 盐碱处理的气孔导度总是低于 SS_0 ,说明盐碱胁迫对水稻剑叶气孔导度有明显的抑制作用。

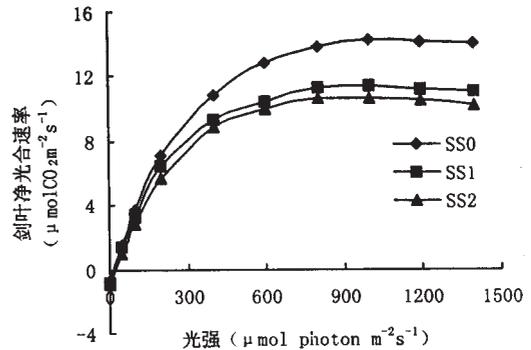


图 1 盐碱胁迫下剑叶净光合速率对光强的响应

表 2 盐碱胁迫下水稻光合反应特性

处理	最大光合速率 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	光饱和点 ($\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	光补偿点 ($\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
SS_0	14.2	1 000	13.39
SS_1	11.4	800	17.18
SS_2	10.6	800	24.45

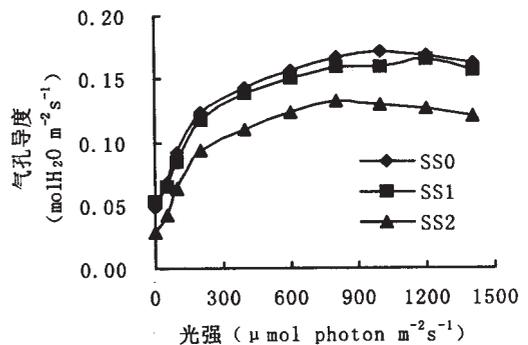


图 2 盐碱胁迫下剑叶气孔导度对光强的响应

2.3 盐碱胁迫下水稻剑叶胞间 CO_2 对光强的响应

各处理 SS_0 、 SS_1 、 SS_2 胞间 CO_2 浓度 (C_i) 随光强的增强而减小 (图 3)。光强从 $0 \sim 200 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 过程中, C_i 有一个急速下降的过程, 光强从 $200 \sim 600 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ C_i 下降趋于缓慢, 当光强超过 $800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之后, C_i 基本保持恒定。光强增大的初始阶段也是剑叶光合作用快速增加时期, 必然大量消耗 CO_2 的量, 导致 C_i 的急速降低, 超过一定光强后, 光合速率达到最大后保持平稳状态, 光合消耗 CO_2 的量与外界扩散达到动态平衡, C_i 趋于稳定。但 SS_1 、 SS_2 盐碱处理的 C_i 随光强的变化始终是低于 SS_0 , C_i 大小的顺序是 $\text{SS}_0 > \text{SS}_1 > \text{SS}_2$ 。说明盐碱胁迫对水稻剑叶 C_i 阻碍作用。

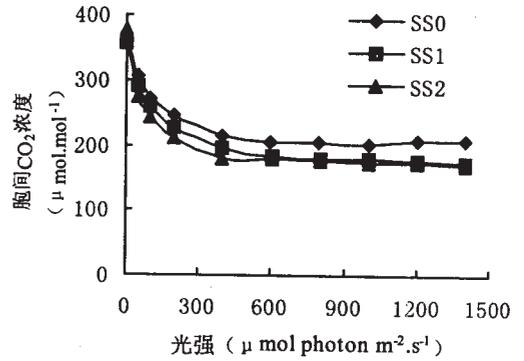


图 3 盐碱胁迫下剑叶胞间 CO_2 浓度对光强的响应

2.4 盐碱胁迫下水稻剑叶蒸腾速率对光强的响应

盐碱胁迫下水稻剑叶蒸腾速率对光强的响应与盐碱胁迫下净光合速率对光强响应的变化趋势十分接近 (图 4)。在低光强 $0 \sim 200 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 下各处理 SS_0 、 SS_1 、 SS_2 T_r 随光强增强而急剧增加, 从光强 $200 \sim 800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ T_r 上升趋于缓慢, 光强高于 $800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时 T_r 达到最大值, 并趋于平稳, 这表明光强增强, P_n 增大, 叶片对 CO_2 的需求量增大, G_s 增大, 叶片蒸腾失水增多。但 SS_1 、 SS_2 盐碱处理蒸腾速率 (T_r) 均小于 SS_0 。说明盐碱胁迫对水稻剑叶的蒸腾速率 (T_r) 有明显的影 响。

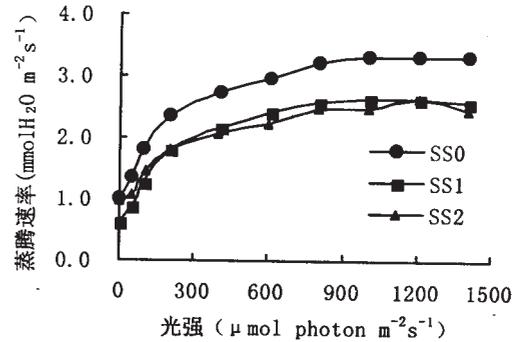


图 4 盐碱胁迫下水稻剑叶蒸腾速率对光强的响应

3 讨 论

盐碱胁迫使水稻光合速率降低。经过盐碱胁迫的水稻剑叶光合作用的光响应曲线表现光合速率的整体下降。很多人认为, 导致光合速率降低的原因是气孔因素和非气孔因素。环境条件不适宜, 往往降低光饱和点和光饱和时的光合速率, 并提高光补偿点。本文的结果与前人研究取得了一致的结论: 盐碱胁迫使水稻叶片光饱和点 (light saturation point) 降低, 光补偿点 (light compensation point) 升高, 也就是说盐碱胁迫降低了水稻叶片对强光和弱光的利用能力。

光是光合作用的能量来源, 是形成叶绿素的必要条件。光与光合作用的各生理特性有着密切的关系, 如气孔导度、细胞间隙 CO_2 浓度和蒸腾速率等。本试验中在 $0 \sim 800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光强下, 各盐碱处理水稻剑叶随着光强的增加, 光合速率、气孔导度、蒸腾速率平行上升, 而胞间 CO_2 浓度却降低。这说明光合速率的增加不是由于气孔导度 (G_s) 的增加而使胞间 CO_2 浓度增加所致, 而是由于光强增强, 叶片吸收光能增多, 光化学反应加快, 增加了 CO_2 同化力所致, 这是一种非气孔因素的限制。当光强 $> 800 \mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时光合速率和气孔导度随着光强的增加达到最大并保持平衡状态, 而胞间 CO_2 浓度也下降到最低点并保持平衡状态。说明叶绿体基质中 CO_2 同化能力达到极限不能再增加的缘故。以上分析表明, 水稻剑叶光合速率随光强的变化并没有受到气孔导度的限制, 而是通过光强影响叶绿体基质同化 CO_2 能力来影响光合作用的。这一结果与寇洪萍等研究相同。

蒸腾作用取决于叶内外的蒸气压大小。光照是影响蒸腾作用的最主要外界条件。它不仅提高大气的温度, 同时也提高叶温, 一般叶温比气温高 $2 \sim 10^\circ\text{C}$ 。大气温度的升高增强水分蒸发速率, 叶面温度高于大气温度, 使叶内外的蒸气压差增大, 蒸腾速率更快。此外, 光照促使气孔导度增加, 减少内部阻

力,从而增强蒸腾作用。

参考文献:

- [1] 潘瑞炽. 植物生理学(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社,2002,19-20.
- [2] Berry J A, et al. Environmental regulation of photosynthesis. In: Govind J ed. Photosynthesis(Vol II). New York:Academic Press, 1982.
- [3] 李美茹,等. 光强对四种亚热带森林植物叶片抗氧化能力的调节[J]. 植物生态学报,2001,(25):460-464.
- [4] 寇洪萍,等. 不同株型水稻品种种子粒形成期光合特性研究[J]. 吉林农业大学学报,2004,26(2):125-129.
- [5] 王仁雷,等. 盐胁迫下水稻叶绿体中 Na^+ 、 K^+ 积累导致叶片光合速率下降[J]. 植物生理与分子生物学学报,2002,28(5):385-390.
- [6] 严建民,等. 水稻光合对不同光强的响应及品种间差异[J]. 中国水稻科学,1992,6(2):53-56.
- [7] 孔东,等. 不同盐分条件下油菜光合日变化特性研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):111-115.
- [8] 吕金印,等. 干旱对小麦灌浆期旗叶光合等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(6):77-78.

Studies on Light Response Characteristics of the Flag Leaves at Full Heading Time of Rice under Saline-alkali Stress

YANG Fu, LIANG Zheng-wei, WANG Zhi-chun, et al.

(Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China)

Abstract: The physiological characteristics of flag leaves of rice variety “Jiyou 1” at full heading time under saline alkali stress, such as net photosynthesis rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr), intercellular CO_2 and concentration (C_i) were measured with LI-6400 Potable Photosynthesis System under simulated light intensities from 0 to 200 $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$. The results showed that in any case P_n , G_s and Tr increased sharply as the light intensity enhanced from 0 to 1 500 $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$, whereas C_i decreased significantly. P_n , G_s and Tr increased slowly and C_i reduced slowly as the light intensity enhanced from 200 to 800 $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As the light intensity exceeded 800 $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$, P_n , G_s and Tr reached maximum respectively and tended to dynamic balanced or decreased slightly, while C_i reduced to minimum and kept a balance. Compared with the control, P_n , G_s , Tr and C_i of saline alkali stressed rice entirely decreased. The light saturation point and light compensation point of photosynthesis were significantly lowered under saline alkali stress.

Key words: Rice; Saline alkali stress; Light intensity; Physiological characteristics

“农友”——吉林省农业科学院

www.cn-ny.org www.jaas.com.cn

“农友”网创建于2000年,由吉林省农业科学院创办,2001年被农业部授予“全国优秀农业科技网站”。2003年末对“农友”网站进行了全面改版,增加了大量内容。包括农科院信息发布及数据库模块:农科院电子政务系统、院科技成果数据库、农业图书、农业期刊数据库、农业期刊全文检索数据管库、出版农业刊物等;农业信息服务及科技咨询模块:农业统计数据库、农业科技咨询(双向)、农业论坛(双向)、农民远程教育(双向)、三农专题、世界农业博览、农业快讯、农业气象、农事聊天(双向)、农业综合开发等;农业市场信息模块:供求信息(双向)、市场分析预测、种子专栏、产品展示、市场行情;农业科技信息:动植物医院、农业环境与资源、种养须知、农业结构调整、农业图片新闻、特色专业、特产、农机、种植业、养殖业、蔬菜、园艺、加工、水产养殖等;农业基础信息:农业旅游、营养与健康、吉林市、县概况、农业法律法规。

“农友”的宗旨是:农民之友,小康路上伴您行,为您架起科技致富的桥梁!

服务于“三农”,服务于涉农企业,提高农民科技文化素质,用科技指导农业生产,增加农民收入,是我们办网的最终目的。

“农友”网愿与各界朋友充分合作,为农村经济发展、为全体农民致富奔小康做出更大的贡献。

地址:吉林省公主岭市西兴华街六号

电话:0434-6283128 6283135

E-mail:sadm@cjaas.com