

# 高温对水稻剑叶生长和气孔导度影响

张玉屏<sup>1</sup> 朱德峰<sup>1\*</sup> 林贤青<sup>1</sup> 向 镜<sup>1</sup> 张 浩<sup>2</sup>

(1. 中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室, 浙江 杭州 310006; 2. 长江大学 农学院, 湖北 荆州 434025)

**摘要:** 为探讨高温对剑叶生长及气孔导度的影响, 采用人工气候箱模拟抽穗期高温, 对不同的早稻品种采用不同温度处理。结果表明: (1) 在一定温度范围内, 温度越高, 叶片伸长越长, 胜泰1号叶片伸长量最大, 籼小占叶片伸长量最小; (2) 大气温度升高, 叶片温度明显升高, 4个品种处理间变化趋势一致, 且无显著性差异, 叶片温度变化与气温变化一致, 叶片温度略低于气温; (3) 温度升高, 气孔导度明显增加, SPAD值增大, 特别是气温从36℃升到38℃时, 气孔导度几乎成直线增长, 蒸腾作用增强; (4) 4个品种中粤香占对高温敏感性较小, 耐高温性较强。

**关键词:** 高温; 早稻; 剑叶; 气孔导度

中图分类号: S511 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)01-0001-04

## Effect of High Temperature Stress on Leaf Growth and Stomatal Conductance in Rice

ZHANG Yu-ping<sup>1</sup>, ZHU De-feng<sup>1\*</sup>, LIN Xian-qing<sup>1</sup>,  
XIANG Jing<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; 2. Yangtze University Agronomy College, Jingzhou 434025, China)

**Abstract:** In this study, different early rice varieties were studied in different temperature treatments, and the effect of high temperature stress on leaf growth and stomatal conductance in rice were probed. The results showed that: (1) in a certain temperature range, the higher the temperature, the longer the leaf elongation. The value of leaf elongation of Shengtai No. 1 was the maximum, and that of Xianxiaozhan was the minimum. (2) Leaf temperature increased significantly. The changing trend of four varieties was the same, and leaf temperature was slightly lower than the air temperature. (3) The stomatal conductance and the value of SPAD were increasing, especially when the temperature rose from 36℃ to 38℃, the stomatal conductance almost grew sharply, and the transpiration strengthened. (4) Yuexiangzhan was less sensitive to high temperature and its heat resistance was stronger.

**Key words:** high temperature; early rice; flag-leaf; stomatal conductance

温度是水稻生长发育的主要生态因子之一。近年来, 温室效应造成全球气温上升, 世界种植业面临高温挑战。我国南方稻区双季早稻开花灌浆期、早熟中稻抽穗扬花期往往处于盛夏高温季节, 遭遇

收稿日期: 2011-08-12 修回日期: 2011-10-27

基金项目: 国家自然科学基金(60901081)、公益性行业(农业)科研专项(201003016)、中国水稻产业体系项目(2011-2015)和省三农五方(2011)

作者简介: 张玉屏(1974—), 女, 助理研究员, 主要从事水稻超高产和节水栽培技术研究, E-mail: cnrriyp@163.com;

\* 通讯作者: 朱德峰, 研究员, E-mail: zhudf@mail.zj.hz.cn。

35 ℃ 以上高温危害的机率非常高,高温热害风险很大,严重影响水稻生产。水稻高温热害是水稻开花期间高温直接造成籽粒结实率下降引起减产和品质下降的高温灾害,单季稻高温热害主要发生在长江中下游稻区和西南稻区,近年华北稻区也有发生。据对浙江省 2009—2010 年气象资料分析,早稻开花期出现日高温超 32 ℃ 占开花期总日数的 60% 左右。后期高温对水稻生长发育影响很大,导致水稻高温逼熟,减产幅度 10% ~ 30%,成为水稻生产的主要胁迫因子之一<sup>[1-2]</sup>。

不少学者曾围绕水稻高温的形成指标、危害程度、形态特征及缓解高温危害途径进行了大量研究。如谭中和<sup>[3]</sup>和杨天明<sup>[4]</sup>分析了夏季高温分布特征及其对水稻生长的影响;卢冬梅<sup>[5]</sup>、李敏<sup>[6]</sup>、上海植生所<sup>[7]</sup>和娄伟平<sup>[8]</sup>研究过高温对水稻产量及其结构的影响;汤日圣、谢晓金等<sup>[9-14]</sup>研究了高温对叶绿素、剑叶氮等生理方面的影响;但不同高温热害对早稻重要功能叶剑叶的影响的研究报道不多,且缺乏对受害植株恢复状况的系统监测。本文采用人工气候箱模拟高温条件,比较水稻花期不同高温持续时间对植株叶片生长及气孔导度的影响,以期为后期高温逆境条件下延缓水稻植株衰老提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

试验于 2010—2011 年在中国水稻研究所试验网室,采用盆栽、人工气候箱模拟高温逆境的方法进行。供试品种为生育期一致的早稻品种合美占、粤香占、胜泰 1 号和籼小占。土壤为粘土,有机质含量 1.9%。试验用盆高 22 cm,直径 18 cm,每盆装过筛均匀干土 6 kg,每盆种植生长一致的秧苗 2 丛,每丛 2 本。4 月 7 日播种,5 月 7 日移栽,在剑叶正要抽穗期(7 月 2 日)将供试盆栽植株选生育期一致的每个品种 2 盆移入人工气候箱进行高温处理,高温设置为 38、36、34、32 ℃,空气相对湿度控制在 70% 左右,处理时间为 4 d,温度设置见表 1。处理结束后将全部盆栽植株放回网室自然条件下(平均温度 27.7 ℃,最低温 25.7 ℃,最高温 32.7 ℃,相对湿度 67%)管理,在处理期间测定剑叶生长速度,叶片光合特性,且成熟后收获计产。两年结果相对一致,主要以 2011 年的结果作分析说明。

表 1 人工气候箱中设定的温湿度

Tab.1 The temperature and humidity of this experiments in an artificial climate chamber

人工气候箱 Artificial climate chamber	平均温度/℃ Average temperature	7-9/℃	9-14/℃	14-16/℃	16-17/℃	相对湿度/% Relative humidity
1(CK)	27	28.5	32	28.5	25	70
2	29	30.5	34	30.5	27	70
3	31	32.5	36	32.5	29	70
4	33	34.5	38	34.5	31	70

### 1.2 测定项目及方法

- 1.2.1 叶片生长速度 以刚出生的剑叶为样本,从高温处理当天测定叶片长度,计算叶片生长速率。
- 1.2.2 叶片温度 以剑叶为样本,用 Fluke 572 精密红外测温仪测定剑叶在不同温度处理下的叶片温度。
- 1.2.3 叶片气孔导度 以剑叶为样本,在剑叶全部抽出展开期也即处理结束出箱时(7 月 5 日)用英国产的 AP<sub>4</sub> 导度仪测定不同温度处理下的气孔导度。
- 1.2.4 叶片 SPAD 值 以剑叶为样本,在高温处理过程中每隔 2 d 用日本产的 SPAD 502 测定叶片 SPAD 值。

## 2 结果与分析

### 2.1 对叶片生长特性的影响

后期功能叶片与水稻产量密切相关。功能叶片的长度也对整个株型的发展起着重要作用。本研究表明:温度对叶片伸长有一定的影响(图 1),高温处理第 1 天,叶片伸长量最大,4 个品种叶片伸长平均达 5.1 cm,而第 2 天、第 3 天叶片伸长平均达 4.1 cm 和 3.6 cm;从温度对叶片伸长的影响来看,温度越高,叶片伸长越长,在 38、36、34、32 ℃ 情况下,叶片伸长分别为 5.2、4.6、4.1、3.4 cm,4 个品种叶片伸长变化趋势一致;但不同品种间伸长量存在差异,胜泰 1 号叶片伸长量最大达 4.6 cm,籼小占叶片伸长量最小

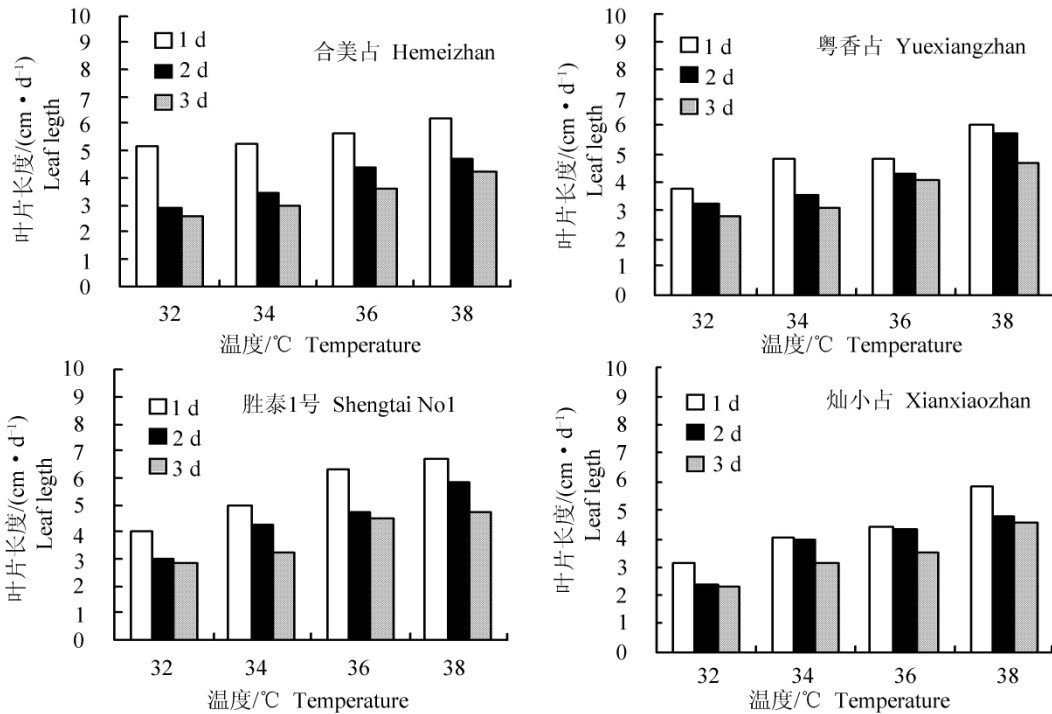


图 1 高温对叶片伸长的影响

Fig. 1 The effect of high temperature on leaf length

为 3.9 cm 合美占和粤香占伸长达 4.3 cm。

### 2.2 对叶片温度的影响

叶片温度升高, 同化能力降低, 植株的呼吸速度加快, 会影响水稻花粉发育, 灌浆期缩短, 对水稻颖花结实和产量产生影响。本研究表明: 大气温度升高, 叶片温度明显升高。在 38, 36, 34, 32 °C 情况下, 叶片温度分别为 31.4, 30.3, 29.2, 28.4 °C。4 个品种处理间变化趋势一致, 无显著性差异。叶片温度变化与气温变化一致, 叶片温度略低于气温 (图 2)。所以, 水稻花期遇到高温, 叶片温度会升高, 呼吸作用加强, 可能导致早衰。这与 Junwhan Kim<sup>[14]</sup> 研究结果相一致。生产上最有效的办法是实行根外喷施磷酸二氢钾溶液, 能增强稻株对高温的抗性, 减轻高温对叶的伤害。

### 2.3 对气孔导度的影响

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道, 气孔导度表示的是气孔开张的程度, 与蒸腾作用成正比, 与气孔阻力呈反比。对叶片的光合作用、呼吸作用及蒸腾作用有一定的影响。4 个品种随着外界温度的升高, 叶片温度升高, 气孔导度明显增加, 特别是外界从 36 °C 升到 38 °C 时, 气孔导度几乎成直线增长, 蒸腾作用增强 (图 3)。品种间存在

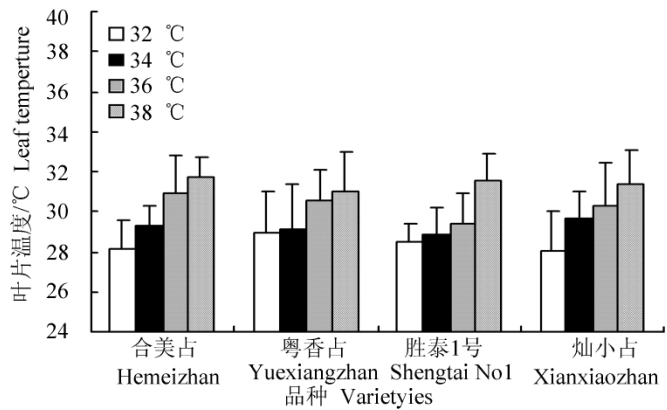


图 2 高温对叶片温度的影响

Fig. 2 The effect of high temperature on leaf temperature

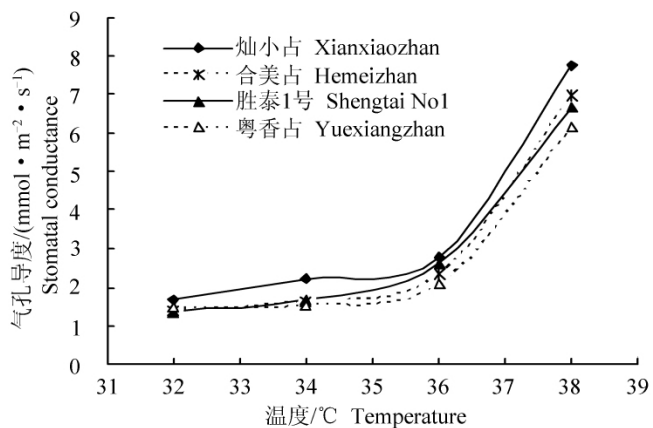


图 3 高温对叶片气孔导度的影响

Fig. 3 The effect of high temperature on stomatal conductance

一定差异 粳小占的气孔导度随温度变化最为明显 粤香占敏感性较弱 适应高温能力较强。

## 2.4 对 SPAD 值的影响

由于水稻籽粒中一半以上的碳水化合物来自剑叶的光合作用,水稻叶片的 SPAD 值与叶绿素含量密切相关。在高温处理过程中每隔 2 d 测定剑叶的 SPAD 值,由图 4 可知,温度越高,SPAD 值越高,与 32 °C 温度下相比,34、36、38 °C 处理下,SPAD 值分别增加 0.9、3.3 和 4.3。而不同品种间以胜泰 1 号 SPAD 值随温度增加最快,粤香占 SPAD 值随温度增加最慢。说明粤香占对高温敏感性较小,耐高温性较强。

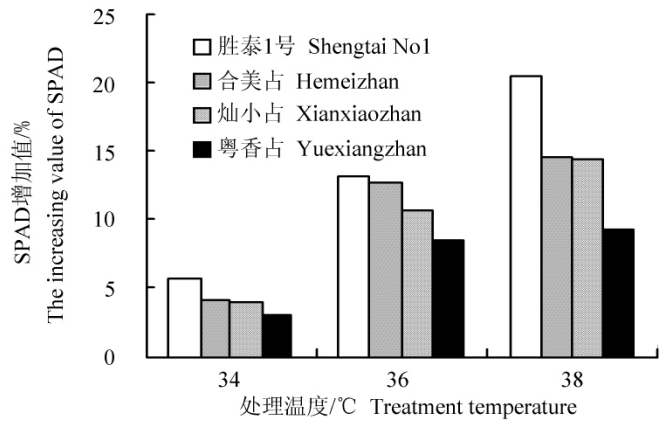


图 4 高温对叶片 SPAD 值的影响

Fig. 4 The effect of high temperature on SPAD VALUE

## 3 讨论与结论

水稻后期高温伤害既可单独发生,也可与其他生态因素结合,产生不同的危害形式。生产上防御和缓解水稻花期高温危害,对提高产量和改善品质均具有重要意义。水稻品种和栽培技术不同,高温热害程度存在很大差异,表明水稻高温热害可控可防<sup>[15-16]</sup>。在 32、34、36、38 °C 时,叶片长度、叶片温度、叶片气孔导度及叶片 SPAD 值都随温度升高而变大。3 个品种处理间变化趋势一致,但粤香占的气孔导度及 SPAD 值均随温度升高变化小。可能该品种对高温敏感性较小,耐高温性较强。当然还需要进一步从生理、农艺等性状上证明该品种高温耐性。水稻高温抗性资源鉴定中还没有发展出象对水稻低温冷害抗性资源鉴定那样成型的方法,这可能与对高温危害机理的研究还不够深入有关。本研究为高温抗性资源鉴定提供参考。

光合作用是对高温最敏感的过程之一,叶绿素是光合作用中吸收并传递光能的主要色素。有的研究者认为高温胁迫加速了叶片叶绿素含量的下降,这主要是剑叶展开以后遇高温会加速叶绿素的降解,促使叶片早衰。本研究中,在剑叶生长过程中遇高温,叶绿素含量不降反而上升,这可能与剑叶生长过程中对高温适应调节能力有关,进一步说明了可以从农艺措施上让水稻高温热害可控可防。

### 参考文献:

- [1] 金志凤, 杨太明, 李仁忠, 等. 浙江省高温热害发生规律及其对早稻产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 628-631.
- [2] Shaobing Peng, Jianliang Huang, John E. et al. Rice yield decline with higher night temperature from global warming[J]. PNAS, 2004, 7: 9971-9975.
- [3] 谭中和. 杂交籼稻开花期高温危害及对策的研究[J]. 作物学报, 1985, 11(2): 103-108.
- [4] 杨太明, 陈金华. 江淮之间夏季高温热害对水稻生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(27): 8530-8531.
- [5] 卢冬梅, 刘文英. 夏秋季高温干旱对江西省双季晚稻产量的影响[J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 46-48.
- [6] 李敏, 马均, 傅泰露, 等. 大田生长期全程高温胁迫对杂交水稻生育后期生长发育及产量形成的影响[J]. 杂交水稻, 2009, 24(4): 65-71.
- [7] 上海植生所. 高温对早稻开花结实的影响及其防治[J]. 植物学报, 1976, 18(4): 323-329.
- [8] 姜伟平, 孙永飞, 毛裕定. 孕穗期气象条件对水稻每穗总粒数和结实率的影响[J]. 中国农业气象, 2007, 28(3): 296-299.
- [9] 汤日圣, 郑建初, 陈留根, 等. 高温对杂交水稻籽粒灌浆和剑叶某些生理特性的影响[J]. 植物生理与分子生物学报, 2005, 31(6): 657-666.
- [10] 艾天成, 李方敏, 周治安, 等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 6-8.
- [11] 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 等. 高温胁迫对水稻剑叶氮代谢的影响[J]. 杂交水稻, 2007, 22(4): 57-61.
- [12] 谢晓金, 李秉柏, 程高峰, 等. 高温对不同水稻品种剑叶生理特性的影响[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(4): 483-486.
- [13] Xie X J, Shen S H H, Li Y X, et al. Effect of photosynthetic characteristic and dry matter accumulation of rice under high temperature at heading stage[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(7): 1931-1940.
- [14] Kim J W, Shon J Y, Lee C K, et al. Relationship between grain filling duration and leaf senescence of temperate rice under high temperature[J]. Field Crops Research, 2011, 122(3): 207-213.
- [15] 田小海, 松井勤, 李守华, 等. 水稻花期高温胁迫研究进展与展望[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2632-2636.
- [16] 盛婧, 陈留根, 朱普平, 等. 不同水稻品种抽穗期对高温的响应及避热的调控措施[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(4): 325-330.