

# 双季早稻淦鑫 203 乳熟初期高温处理后 叶片某些生理特性的动态变化

杨 军, 刘向蕊, 陈小荣, 朱昌兰, 彭小松, 贺晓鹏,  
傅军如, 边建民, 胡丽芳, 欧阳林娟, 贺浩华\*

(江西农业大学 农学院/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室 江西 南昌 330045)

**摘要:**以双季早稻超级稻淦鑫 203 为材料, 设置 34、36、38 °C 3 个高温胁迫强度, 1~5 d 胁迫持续时间, 于乳熟初期放入人工气候箱中进行高温处理, 以同期田间自然温度为对照, 研究了稻株倒二叶叶绿素含量、剑叶可溶性糖及可溶性蛋白质含量的变化。结果表明, 淦鑫 203 在乳熟初期高温处理后, 倒二叶叶绿素含量呈现先迅速升高后缓慢降低的特点, 处理温度越高, 天数越多, 处理与对照间差异幅度越大; 高温处理 4 d 后叶绿素含量恢复到对照水平。36 °C 和 38 °C 高温 1~2 d 处理 9 d 后叶绿素含量较对照大幅降低, 3~4 d 处理 6 d 后叶绿素含量大幅降低。与对照相比, 淦鑫 203 高温处理后剑叶中可溶性糖及可溶性蛋白质含量呈下降趋势, 但可溶性糖及可溶性蛋白质含量胁迫指数均呈上升趋势。

**关键词:**双季早稻; 乳熟初期; 高温; 生理特性

中图分类号: S511.01 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)05-0878-08

## Effects of High Temperature on the Dynamic Changes in Some Physiological Characteristics of the Leaves in Early Season Rice Ganxin 203 at the Early Milk Stage

YANG Jun, LIU Xiang-rui, CHEN Xiao-rong, ZHU Chang-lan,  
PENG Xiao-song, HE Xiao-peng, FU Jun-ru, BIAN Jian-min,  
HU Li-fang, OUYANG Lin-juan, HE Hao-hua\*

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** The effects of high temperature stress on chlorophyll content in the second upper leaves and soluble sugar, protein content in the flag leaves of early season super-rice Ganxin 203 at the early milk stage were studied. The experiment was designed with three high temperature gradients (34 °C, 36 °C and 38 °C) and 1 to 5 running days in the plant growth cabinet. The natural temperature was taken as the control. The results showed that the chlorophyll content in the second upper leaves under high temperature stress increased rapidly, then it decreased slowly. The amplitude of variation of chlorophyll contents between treatment and CK got larger gradually along with bulid-up of the stress temperature and prolongation of stress time. The chlorophyll

收稿日期: 2012-05-23 修回日期: 2012-07-27

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006025)、赣鄱英才 555 工程“性状机能协调型”双季超级稻的选育与应用)和 2012 年超级稻新品种选育与示范项目(开展长江中下游稻区超级早稻新品种选育与示范)

作者简介: 杨军(1987—), 男, 硕士生, 主要从事水稻生理与遗传育种研究, E-mail: 573286952@qq.com; \* 通讯作者: 贺浩华, 教授, 博士, E-mail: hhhua64@163.com。

content recovered to the control level after high temperature treatment 4 d. The chlorophyll content of 36 °C and 38 °C high temperature treatment 1 ~ 2 d after 9 d decreased significantly compared with CK, while high temperature treatment 3 ~ 4 d was 6 d. Compared with CK, the soluble sugar and protein content in the flag leaves of Ganxin 203 showed a down was trend after high temperature treatment, but the stress index of soluble sugar and protein content was on the rise.

**Key words:** early season rice; early milk stage; high temperature; physiological characteristics

水稻是我国主要的粮食作物,水稻育种与科研工作者一直以来致力于水稻产量的提高<sup>[1-2]</sup>。一般情况下,水稻一生所形成的所有干物质 90% 来自叶片的光合产物,水稻籽粒中 80% 以上的碳水化合物来自剑叶和倒二叶的光合作用<sup>[3]</sup>。叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,其含量高低直接影响光合作用的速率。环境条件的异常改变,如极端温度、强光辐射及干旱等,可能引起光合色素、原初反应及电子传递链等受损或被抑制,进而影响同化物的合成<sup>[4]</sup>。高温可通过损伤植物细胞膜系统和蛋白质的热稳定性,致使生理生化代谢失衡和异常<sup>[5]</sup>。随着工业化的加快和温室效应的加剧,极端性天气现象(如夏季高温)在全球许多区域将出现得更加频繁,且持续时间更长,高温热害已成为影响我国长江流域水稻生长发育和产量的主要因素之一<sup>[6]</sup>。有关水稻高温胁迫的研究中,滕中华等<sup>[4]</sup>发现孕穗期日均温度 33 °C 处理后,水稻剑叶叶绿素含量降低,且存在基因型的差异。赵玉国等<sup>[7]</sup>研究镇稻 6 号对高温的响应,发现拔节期高温处理后水稻 PS II 反应中心造成可逆性伤害,并在保护酶的作用下逐渐修复,常温恢复 2 d 后可接近正常水平。汤日圣等<sup>[8]</sup>研究认为高温迫加速剑叶叶绿素的丧失,使可溶性糖及可溶性蛋白质含量明显降低。目前,关于不同胁迫强度和持续时间对水稻叶绿素和可溶性糖及可溶性蛋白质含量影响的系统研究报道甚少。为此,笔者利用智能人工气候箱设定温度和时间的变化,探讨高温处理强度和天数对水稻倒二叶叶绿素含量和剑叶可溶性糖及可溶性蛋白质含量的影响,旨在深入了解水稻功能叶对高温胁迫的生理反应,以为耐热性水稻品种的选育、高产稳产栽培和田间管理提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

1.1.1 试验材料 供试水稻品种为高产优质稻淦鑫 203(国审稻 2009009,2009 年农业部认定为超级稻,江西农业大学农学院提供)。该品种属籼型三系杂交水稻,在长江中下游作双季早稻种植,全生育期平均 114.4 d。

1.1.2 材料种植 试验于 2011 年在江西农业大学科技园水稻试验田进行。采取分 3 期播种的方法,浸种催芽后分别于 3 月 25 日、4 月 6 日和 4 月 17 日播种,1 个月后移栽至塑料盆钵(口径 16.5 cm × 深度 15.5 cm)中培育,单本栽插,每盆移栽 1 蔸,种植密度为 27.45 cm × 25.50 cm。其他田间管理按当地常规丰产栽培技术进行。

1.1.3 高温处理 采用人工气候箱,开展不同高温强度和持续时间的试验处理。参考江西、湖南和湖北等长江中下游地区夏季自然高温特征,设日最高气温为 34、36、38 °C,高温持续时间为 34 °C 4 ~ 5 d、36 °C 1 ~ 4 d 和 38 °C 1 ~ 3 d,每一分期进行一个高温控制试验,并各设有一个大田对照。在穗分化后期选取发育进程与长势基本一致的稻株进行挂牌标记,每个处理组合 5 盆。

当盆钵中的稻株安全齐穗进入灌浆乳熟期(10% 稻株抽穗后 7 ~ 10 d)时,将各处理盆钵移入 PRX-1500B 型多段可编程智能人工气候箱(上海比朗仪器有限公司生产)中进行培养。采用温度日变化模拟来开展高温控制试验,以前 1 d 所测的温度变化曲线,分 5 个时间波段(05:30—10:30、10:30—15:30、15:30—18:30、18:30—23:30 和 23:30—5:30)来设定人工气候箱中气候因子的变化。光照时间根据当时处理的天气条件设定,光强和相对湿度以前 1 天气象站观测的数据为依据设定,处理期间的光照时间、光强和相对湿度原则上不变。高温处理时间为 10:30—15:30,设定的程序每 24 h 进入下一循环。按照处理天数,高温处理后的材料移回水稻大田,并将所有盆钵除去让其自然生长。处理期间处理和对照的平均温度及最高温度见表 1,处理期间每一分期内对照的日均气温和最高气温变化不大,34 °C 处

理的日均温度和最高温度平均分别比对照高 0.31 ℃ 和 1.96 ℃ ,36 ℃ 处理的是 1.07 ℃ 和 2.63 ℃ , 38 ℃ 处理的为 1.85 ℃ 和 5.90 ℃ 。

表 1 高温处理期间的温度变化  
Tab.1 The temperature variation during heat – stress treatment ℃

处理 Treatment	对照日均气温 Mean daily temperature of CK	对照最高气温 Maximum temperature of CK	处理日均温度 Mean daily temperature of treatment	处理最高温度 Maximum temperature of treatment	均温差 Mean temperature difference	高温差 High temperature difference
34 ℃ 4 d	28.78	32.08	29.04	34.00	0.26	1.92
34 ℃ 5 d	28.68	32.00	29.04	34.00	0.36	2.00
36 ℃ 1 d	28.55	33.25	29.46	36.00	0.91	2.75
36 ℃ 2 d	28.77	33.33	29.46	36.00	0.69	2.67
36 ℃ 3 d	28.28	33.42	29.46	36.00	1.18	2.58
36 ℃ 4 d	27.96	33.50	29.46	36.00	1.50	2.50
38 ℃ 1 d	27.80	31.65	29.88	38.00	2.08	6.35
38 ℃ 2 d	27.70	31.90	29.88	38.00	2.18	6.10
38 ℃ 3 d	28.60	32.75	29.88	38.00	1.28	5.25

### 1.2 测定项目与方法

对乳熟期进行 36 ℃ 和 38 ℃ 高温处理的早稻(含对照) ,在试验处理完毕后的当天及随后每 3 d 的 10:00 左右 ,选取 5 个稻株的固定主茎叶片(单穗挂牌标记) ,用 SPAD – 502 叶绿素测定仪测定倒二叶基部、中部和顶部的叶绿素含量再取平均值 ,测时避开叶脉 ,至黄熟期结束。参考王新忠等<sup>[9]</sup>方法计算:

$$\text{相对叶绿素含量(Relative chlorophyll content)} = (\text{高温胁迫的 SPAD} - \text{大田对照的 SPAD}) / \text{大田对照的 SPAD} \quad (1)$$

以更好地比较同一时刻处理间叶绿素含量的差异。另外 ,34 ℃ 处理 4 d 和 5 d 从处理完毕后的当天及随后 3 d 的 08:00、12:00 和 16:00 选取 15 片倒二叶进行叶绿素含量的测定 ,测定方法同上 ,每个处理每次记录 15 个读数 ,共测定 10 次。

36 ℃ 和 38 ℃ 高温处理完毕后的当天及以后每 2 d 1 次(共 3 次) ,于 09:00—11:00 选取生长整齐一致的剑叶取样 ,样品置液氮中冷冻后迅速保存于 –80 ℃ 超低温冰箱中 ,以供生理生化指标的测定。可溶性糖和可溶性蛋白质含量均参考张志良<sup>[10]</sup>的方法测定 ,每个处理重复 3 次 ,并参照黄英金等<sup>[11]</sup>方法计算:

$$\text{性状胁迫指数(Character stress index)} = \text{高温处理性状值} / \text{常温对照性状值} \quad (2)$$

### 1.3 数据统计方法

采用 Microsoft Excel 软件计算相对叶绿素含量和性状胁迫指数 ,并绘制相关图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 乳熟初期高温胁迫对水稻倒二叶叶绿素含量的影响

2.1.1 36 ℃ 和 38 ℃ 高温处理 一般情况下 ,灌浆期水稻随着生育期的前进 ,叶片中叶绿素含量呈逐渐降低趋势。表 2 结果显示 ,高温处理和对照的叶绿素含量随天数不断降低 ,高温处理后 0 d 的叶绿素含量均低于各自对照 ,其中 36 ℃ 3 d、4 d 和 38 ℃ 2 d、3 d 处理与对照差异明显。高温处理后 3 d 的叶绿素含量均高于对照 ,但差异不显著 ,36 ℃ 和 38 ℃ 处理后 6 ~ 18 d 的叶绿素含量均不同程度地低于各自对照。

由图 1 和 2 可知 ,淦鑫 203 在乳熟初期高温处理后 ,倒二叶相对叶绿素含量呈现先迅速升高后缓慢降低的特点 ,处理温度越高 ,天数越多 ,处理与对照间差异幅度越大;高温处理 4 d 后叶绿素含量低于对照水平 ,高温 1 ~ 2 d 处理 9 d 后叶绿素含量较对照大幅降低 ,3 ~ 4 d 处理 6 d 后叶绿素含量大幅降低。

具体表现为, 高温处理完毕的当天, 每一高温处理的叶绿素含量低于其各自对照, 且胁迫强度越大、持续时间越长, 叶绿素含量降幅越大, 36 °C 1 d 处理、36 °C 2 d 处理、36 °C 3 d 处理和 36 °C 4 d 处理叶绿素含量较对照分别降低 1. 22%、2. 42%、4. 32% 和 5. 58%。38 °C 1 d 处理、38 °C 2 d 处理和 38 °C 3 d 处理叶绿素含量较对照分别下降 1. 31%、3. 37% 和 5. 12%。

高温处理完毕后 3 d, 各处理叶绿素含量迅速升高, 且均高于对照, 高温处理下叶绿素含量的增幅随着高温强度的增加和高温持续时间的延长而增大, 但升高的幅度都不大。

其后, 各处理的相对叶绿素含量逐渐下降, 同一时刻不同高温胁迫处理, 相对叶绿素含量随着

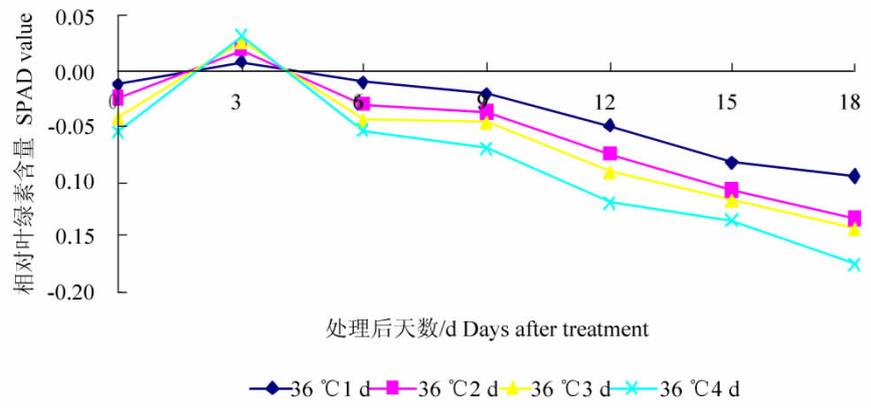


图 1 36 °C 处理后水稻倒二叶相对叶绿素含量的动态变化

Fig. 1 Dynamic Changes of relative chlorophyll content in rice second upper leaves after 36 °C treatment

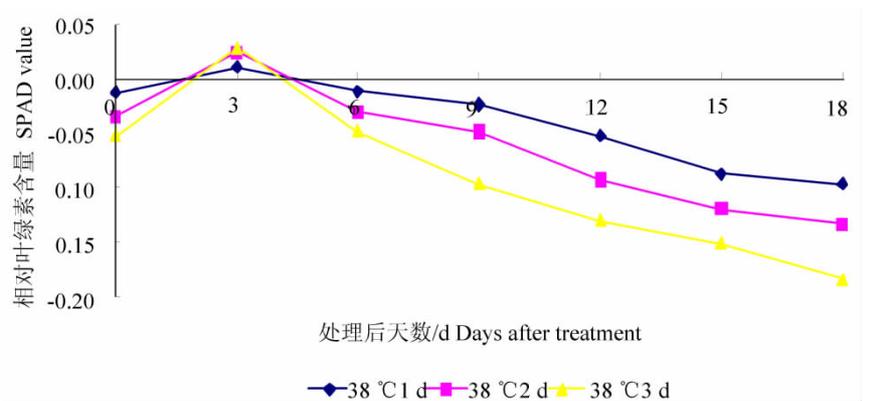


图 2 38 °C 处理后水稻倒二叶相对叶绿素含量的动态变化

Fig. 2 Dynamic Changes of relative chlorophyll content in rice second upper leaves after 38 °C treatment

表 2 36 °C 和 38 °C 处理对水稻倒二叶 SPAD 的影响

Tab. 2 Effects of 36 °C and 38 °C stress on SPAD value in rice second upper leaves

处理 Treatment	处理后天数/d Days after treatment						
	0	3	6	9	12	15	18
36 °C 1 d	43.18a	43.59a	41.91a	38.95b	34.44b	29.94b	26.56b
36 °C 1 d CK	43.71a	43.21a	42.32a	39.76a	36.26a	32.64a	29.35a
36 °C 2 d	42.63a	43.63a	40.54a	36.37b	32.16b	27.33b	24.31b
36 °C 2 d CK	43.69a	42.82a	41.80a	37.76a	34.78a	30.64a	28.02a
36 °C 3 d	41.75b	43.95a	39.90b	35.98b	31.49b	27.03b	23.96b
36 °C 3 d CK	43.64a	42.81a	41.76a	37.73a	34.68a	30.58a	27.94a
36 °C 4 d	40.80b	43.63a	37.62b	33.76b	28.76b	25.39b	22.82b
36 °C 4 d CK	43.21a	42.32a	39.76a	36.26a	32.64a	29.35a	27.65a
38 °C 1 d	43.00a	47.06a	42.12a	40.04b	34.97b	31.38b	29.50b
38 °C 1 d CK	43.57a	46.57a	42.54a	40.96a	36.88a	34.39a	32.65a
38 °C 2 d	42.06b	47.75a	41.23b	38.93b	33.24b	30.08b	28.05b
38 °C 2 d CK	43.53a	46.55a	42.50a	40.89a	36.66a	34.17a	32.37a
38 °C 3 d	41.24b	47.84a	40.36b	36.72b	31.64b	28.75b	26.02b
38 °C 3 d CK	43.47a	46.54a	42.44a	40.61a	36.36a	33.87a	31.85a

同列数据后不同大小写字母分别表示在 1% 水平上的差异。

Data with in a column followed by the same letters indicate no significant difference at 1% level.

处理天数的增多下降越明显,同一时刻同一处理天数,相对叶绿素含量随着胁迫强度的增大下降越显著。36 °C 1 d 处理 6 d 后相对叶绿素含量为 -0.009 6, 36 °C 2 d 处理、36 °C 3 d 处理和 36 °C 4 d 处理的分别为 -0.030 1、-0.045 5 和 -0.053 8。36 °C 1 d 和 36 °C 2 d 处理 9 d 后相对叶绿素含量为 -0.020 4 和 -0.036 8, 38 °C 1 d 和 38 °C 2 d 处理的为 -0.022 4 和 -0.047 8。其中 36 °C 1 ~ 2 d 处理和 38 °C 1 ~ 2 d 处理后 9 d 以及 36 °C 3 ~ 4 d 处理和 38 °C 3 d 处理后 6d 均能引起相对叶绿素含量的大幅降低。

2.1.2 34 °C 处理 4 d 和 5 d 表 3 结果显示 34 °C 处理后当天 34 °C 处理 4 d 和 5 d 的叶绿素含量均显著低于各自对照,随后高于对照,3 d 左右后低于对照,之后其下降幅度逐渐增加,且差异显著。

乳熟初期高温处理后,水稻倒二叶相对叶绿素含量呈现先升高后逐渐降低的趋势。相比于 34 °C 4 d 处理,34 °C 5 d 处理的叶绿素含量恢复到对照水平所需的时间更短。处理 3 d 后,同一时刻 34 °C 5 d 处理相对叶绿素含量显著低于 34 °C 4 d 处理(图 3)。

表 3 34 °C 处理对水稻倒二叶 SPAD 的影响

Tab.3 Effects of 34 °C stress on SPAD value in rice second upper leaves

处理 Treatment	处理后天数及测定时间 Days after treatment and testing time									
	0 d			1 d			2 d			3 d
	08:00	12:00	16:00	08:00	12:00	16:00	08:00	12:00	16:00	08:00
4 d	41.52b	44.38a	42.56a	42.32a	42.22a	39.77a	39.68a	38.23a	34.94b	33.26b
CK	42.94a	42.36b	41.83a	41.44a	39.72b	37.64b	38.00a	38.99a	35.56a	34.89a
5 d	39.63b	42.51a	40.71a	40.41a	39.17a	37.37a	34.13a	31.75b	31.24b	30.11b
CK	41.44a	39.72b	38.99b	37.64b	37.12b	36.56a	34.89a	34.78a	34.34a	34.33a

同列数据后不同大小写字母分别表示在 1 % 水平上的差异。

Data with in a column followed by the same letters indicate no significant difference at 1 % level.

### 2.2 36 °C 和 38 °C 高温处理对水稻剑叶可溶性糖含量的影响

一般情况下,水稻灌浆期剑叶中的可溶性糖含量呈逐渐上升的趋势。表 4 结果显示,高温处理和对照的可溶性糖含量随天数不断升高,36 °C 1 ~ 4 d 处理后 4 d 的可溶性糖含量均不同程度地高于各自对照,其中 36 °C 1 d 和 2 d 处理与对照的差异显著。38 °C 1 ~ 3 d 高温处理后 0 ~ 4 d 的可溶性糖含量均显著低于各自对照。

由图 4 可看出,与对照相比,高温处理使淦鑫 203 剑叶中可溶性糖含量呈下降趋势,且下降的程度随着高温强度的增加和持续时间的延长而增大。高温处理后 4 d 内淦鑫 203 剑叶中可溶性糖含量胁迫指数呈上升趋势,除了 36 °C 1 d 处理后 2 d 及 4 d 和 36 °C 2 d 处理后 4 d 的可溶性糖含量胁迫指数大于 1 以外,其余处理的胁迫指数均小于 1。36 °C 1 d 处理后的可溶性糖含量胁迫指数平均为 1.24, 36 °C 2 d、36 °C 3 d、36 °C 4 d、38 °C 1 d、38 °C 2 d 和 38 °C 3 d 的分别为 1.02、0.86、0.83、0.77、0.72 和 0.68。说明高温条件不利于剑叶中可溶性糖含量的积累。

### 2.3 36 °C 和 38 °C 高温处理对水稻剑叶可溶性蛋白质含量的影响

正常情况下,水稻在灌浆过程中,随着叶片的渐渐衰老,剑叶中的可溶性蛋白质含量呈逐渐下降的

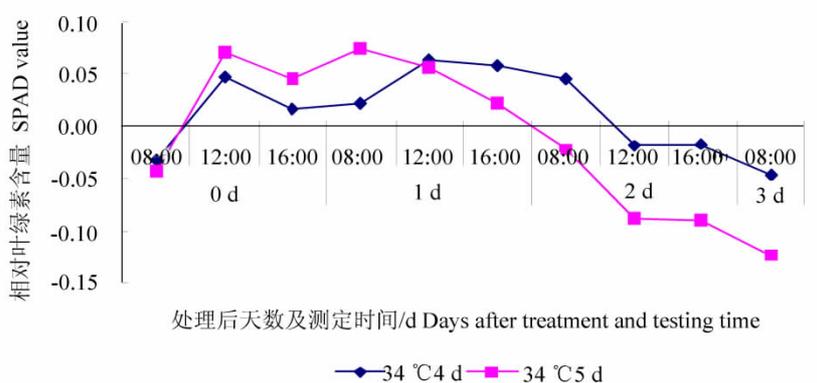


图 3 高温处理后水稻倒二叶相对叶绿素含量的动态变化

Fig.3 Dynamic Changes of relative chlorophyll content in rice second upper leaves after high temperature treatment

表 4 36 °C 和 38 °C 处理对水稻剑叶可溶性糖含量的影响  
 Tab. 4 Effects of 36 °C and 38 °C stress on soluble sugar content in rice flag leaves nmol/g

处理 Treatment	处理后天数/d Days after treatment		
	0	2	4
36 °C 1 d	48.35a	68.27a	91.95a
36 °C 1 d CK	52.41a	54.37a	59.28b
36 °C 2 d	43.77b	55.56a	78.11a
36 °C 2 d CK	53.23a	56.46a	62.87b
36 °C 3 d	36.83b	48.83b	59.33a
36 °C 3 d CK	54.37a	59.28a	64.99a
36 °C 4 d	40.04b	54.07b	65.44a
36 °C 4 d CK	56.46a	62.87a	70.65a
38 °C 1 d	49.99b	56.60b	72.72b
38 °C 1 d CK	70.53a	72.10a	89.50a
38 °C 2 d	46.36b	58.32b	70.55b
38 °C 2 d CK	71.60a	80.02a	91.66a
38 °C 3 d	44.74b	61.96b	69.58b
38 °C 3 d CK	72.10a	89.50a	95.56a

同列数据后不同大小写字母分别表示在 1% 水平上的差异。

Data with in a column followed by the same letters indicate no significant difference at 1 % level.

趋势。表 5 可知,对照的可溶性蛋白质含量随天数不断下降,高温处理(除 38 °C 1 d)后 0 d 的可溶性蛋白质含量高于 36 °C 和 38 °C 处理后 2 d 及 4 d。

淦鑫 203 高温处理下剑叶中可溶性蛋白质含量较对照呈下降趋势。高温处理后 4 d 内淦鑫 203 剑叶中可溶性蛋白质含量胁迫指数呈上升趋势,除了 36 °C 4 d 处理后 2 d 和 4 d 的可溶性蛋白质含量胁迫指数大于 1 以外,其余处理的胁迫指数均小于 1。36 °C 1 d 处理后的可溶性蛋白质含量胁迫指数平均为 0.76,36 °C 2 d、36 °C 3 d、36 °C 4 d、38 °C 1 d、38 °C 2 d 和 38 °C 3 d 的分别为 0.77、0.88、1.02、0.52、0.68 和 0.70。说明高温条件不利于剑叶中可溶性蛋白质含量的积累(图 5)。

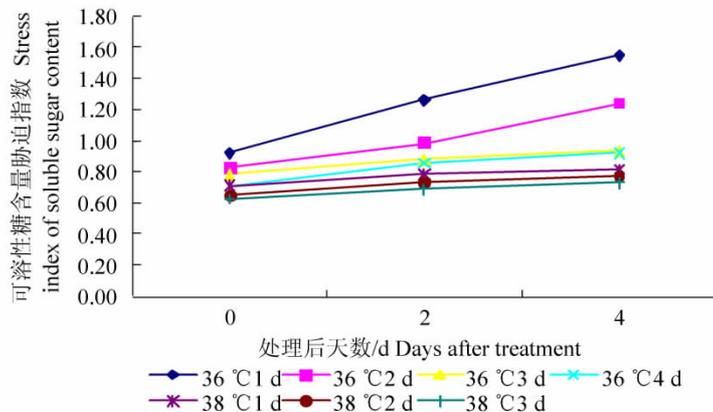


图 4 高温处理后水稻剑叶中可溶性糖含量胁迫指数的变化  
 Fig. 4 Changes in the stress index of soluble sugar content in rice flag leaves after high temperature treatment

### 3 讨 论

叶绿素位于叶绿体类囊体的薄膜上,在植物光合作用过程中起着捕获、传递以及转换光能的作用,其含量可反映出作物的衰老状况和光合能力<sup>[4,12]</sup>。在叶绿素的合成和降解过程中,需要一系列的酶促反应,故温度对其有很大的影响<sup>[13]</sup>。相关研究表明,高温降低水稻叶片叶绿素含量,且耐热品种水稻叶绿素含量的下降幅度较热敏感水稻低<sup>[14-17]</sup>。王新忠等<sup>[9]</sup>研究发现,拔节期水稻经高温处理后,一天中 SPAD 值在 12:00 迅速下降,14:00 温度最高,此时 SPAD 值最低,而后逐渐升高。丁四兵等<sup>[18]</sup>的研究表明,高温加速降解水稻剑叶叶绿素含量,但毅丰 48 在高温下灌浆前 10 d 剑叶叶绿素含量都有一个缓慢

表 5 36 °C 和 38 °C 处理对水稻剑叶可溶性蛋白质含量的影响  
 Tab.5 Effects of 36 °C and 38 °C stress on soluble protein content in rice flag leaves mg/g

处理 Treatment	处理后天数/d Days after treatment		
	0	2	4
36 °C 1 d	2.00b	1.62b	1.79a
36 °C 1 d CK	3.24a	2.32a	1.85a
36 °C 2 d	1.71b	1.49b	1.58a
36 °C 2 d CK	2.58a	2.21a	1.63a
36 °C 3 d	1.89b	1.61a	1.40a
36 °C 3 d CK	2.32a	1.85a	1.47a
36 °C 4 d	1.80b	1.64a	1.19a
36 °C 4 d CK	2.21a	1.63a	0.97a
38 °C 1 d	1.22b	1.46b	1.41b
38 °C 1 d CK	3.46a	2.68a	2.17a
38 °C 2 d	2.13b	1.72b	1.45b
38 °C 2 d CK	3.23a	2.51a	2.05a
38 °C 3 d	1.62b	1.35b	1.56a
38 °C 3 d CK	2.68a	2.17a	1.77a

同列数据后不同大小写字母分别表示在 1% 水平上的差异。

Data with in a column followed by the same letters indicate no significant difference at 1 % level.

上升过程。郭培国等<sup>[15]</sup>研究认为随着夜间高温胁迫时间的延长,水稻叶片叶绿素-蛋白复合体的结合度和叶绿素含量逐渐降低。黄英金等<sup>[19]</sup>研究结果表明,高温胁迫导致水稻叶片叶绿素含量降低,这不仅是合成受阻,而且存在明显的降解作用,叶绿素含量的降低与体内 O<sub>2</sub><sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、MDA 含量增加,SOD、CAT 活性下降及 ASA、GSH 含量降低均呈显著或极显著的线性相关。在试验过程当中,笔者发现水稻叶片黄化的速度随着胁迫强度的增加

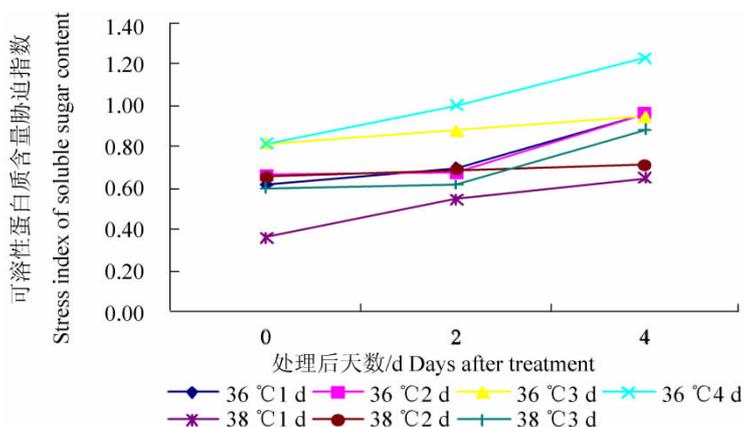


图 5 高温处理后水稻剑叶中可溶性蛋白质含量胁迫指数的变化

Fig.5 Changes in the stress index of soluble protein content in rice flag leaves after high temperature treatment

和持续时间的延长而加快。本试验的结果也显示,乳熟初期经高温胁迫后,淦鑫 203 倒二叶相对叶绿素含量则先迅速升高后缓慢降低,SPAD 值与胁迫强度和持续时间呈负相关。相对叶绿素含量的动态变化表明,高温胁迫下水稻叶片功能期缩短,光合产物的积累时期也会相应缩短。

植物体内可溶性糖和可溶性蛋白质作为渗透保护物质,有利于植物在逆境胁迫下维持细胞的结构和功能<sup>[20]</sup>。研究表明,高温胁迫下水稻叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质含量下降<sup>[8, 21]</sup>。郭水良等<sup>[22]</sup>发现高温处理下加拿大一枝黄花和钻形紫菀叶片中可溶性糖含量比对照低,可能是温度处于补偿点以上,呼吸作用大于光合作用,消耗了贮存的糖类。高温导致作物体内的蛋白质发生降解<sup>[23]</sup>。高温能提高源库运输中酶蛋白的活性,增强叶酶蛋白的合成,加速叶中可溶性蛋白质向籽粒运输,使叶中的可溶性蛋白质比适温的低<sup>[21]</sup>。高温可导致蛋白质空间构型破坏、氢键等次级键断裂、巯基被氧化成二硫键,最终造成蛋白质变性失活<sup>[24]</sup>。本试验结果显示,淦鑫 203 高温处理后剑叶中可溶性糖及可溶性蛋白质

含量呈下降趋势,但可溶性糖及可溶性蛋白质含量胁迫指数均呈上升趋势,表明把经高温处理的水稻放回正常适温环境后,有利于叶片中可溶性糖及可溶性蛋白质含量的积累。

#### 参考文献:

- [1] Ottis B V, Smith K L, Scott R C, et al. Rice yield and quality as affected by cultivar and red rice (*Oryza sativa*) density [J]. *Weed Sci*, 2001, 53(4): 499 – 504.
- [2] Perez M, Juliano B O, Liboon S P, et al. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content and grain quality of rice [J]. *Cereal Chem*, 1996, 73: 556 – 560.
- [3] Gladun I V, Karpov E A. Distribution of assimilates from the flag leaf of rice during the reproductive period of development [J]. *Russ J Plant Physiol*, 1993, 40: 215 – 219.
- [4] 滕中华, 智丽, 宗学风, 等. 高温胁迫对水稻灌浆结实期叶绿素荧光、抗活性氧活力和稻米品质的影响 [J]. *作物学报*, 2008, 34(9): 1662 – 1666.
- [5] 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 等. 高温胁迫对水稻剑叶保护酶活性和膜透性的影响 [J]. *作物学报*, 2006, 32(9): 1306 – 1310.
- [6] 葛道阔, 金之庆, 石春林, 等. 气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策 [J]. *江苏农业学报*, 2002, 18(1): 1 – 8.
- [7] 赵玉国, 王新忠, 吴沿友, 等. 高温胁迫及恢复对水稻叶绿素荧光动力学特性和保护酶活性的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(27): 16487 – 16488.
- [8] 汤日圣, 张大栋, 童红玉. 高温胁迫对稻苗某些生理指标的影响及 ABA 和 6-BA 对其的调节 [J]. *江苏农业学报*, 2005, 21(3): 145 – 149.
- [9] 王新忠, 赵玉国, 吴沿友, 等. 高温胁迫对水稻拔节期净光合速率·SPAD·叶绿素荧光动力学的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(33): 20337 – 20339.
- [10] 张志良. *植物生理学实验指导* [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- [11] 黄英金, 罗永锋, 黄兴作, 等. 水稻灌浆期耐热性的品种间差异及其与剑叶光合特性和内源多胺的关系 [J]. *中国水稻科学*, 1999, 13(4): 205 – 210.
- [12] 胡永红, 蒋昌华, 秦俊. 植物耐热常规生理指标的研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(1): 192 – 195.
- [13] 刘东奇. 浅谈低温对绿色植物叶片中叶绿素含量的影响 [J]. *中学生物学*, 2011, 27(9): 6 – 7.
- [14] 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 等. 抽穗开花期高温对水稻剑叶理化特性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40(7): 1345 – 1352.
- [15] 郭培国, 李荣华. 夜间高温胁迫对水稻叶片光合机构的影响 [J]. *植物学报*, 2000, 42(7): 673 – 678.
- [16] 任昌福, 陈安和, 刘保国. 高温影响水稻开花结实的生理生化基础 [J]. *西南农业大学学报*, 1990, 12(5): 440 – 4431.
- [17] 雷东阳, 陈立云, 李稳香, 等. 高温对不同杂交稻开花期影响的生理差异 [J]. *农业现代化研究*, 2005, 26(5): 397 – 400.
- [18] 丁四兵, 朱碧岩, 吴冬云, 等. 温光对水稻抽穗后剑叶衰老和籽粒灌浆的影响 [J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 2004(1): 117 – 121, 128.
- [19] 黄英金, 杨芝燕, 烧志明, 等. 灌浆期高温胁迫下水稻叶片叶绿素降解的活性氧损伤及调控研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2000, 22(5): 1 – 6.
- [20] 蒋明义, 郭绍川, 张学明. 氧化胁迫下稻苗体内积累的脯氨酸的抗氧化作用 [J]. *植物生理学报*, 1997, 23(4): 347 – 352.
- [21] 张磊, 吴冬云, 朱碧岩, 等. 灌浆期不同温光对水稻叶、籽粒可溶性蛋白质及可溶性糖动态变化的影响 [J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 2002(2): 98 – 101.
- [22] 郭水良, 方芳, 强胜. 不同温度对七种外来杂草生理指标的影响及其适应意义 [J]. *广西植物*, 2003, 23(1): 73 – 76.
- [23] 叶陈亮, 柯玉琴, 陈伟. 大白菜耐热性的生理研究, II 叶片水分和蛋白质代谢与耐热性 [J]. *福建农业大学学报*, 1996, 25(4): 490 – 493.
- [24] 郑小林, 董任瑞. 水稻热激反应的研究, I 幼苗叶片的膜透性和游离脯氨酸含量的变化 [J]. *湖南农业大学学报*, 1997, 23(2): 109 – 112.