

# 高温干旱对 2 个辣椒品种 *PSII* 功能与光能分配的影响

胡文海<sup>1</sup>, 胡雪华<sup>1</sup>, 邹桂花<sup>2</sup>, 曾庆梅<sup>1</sup>, 吴琴玉<sup>1</sup>

(1. 井冈山大学 生命科学学院 江西 吉安 343009; 2. 南昌市农业科学所 江西 南昌 330038)

**摘要:**以 2 种不同耐旱性辣椒品种正椒 13 号和弄口早椒为材料,比较高温和/或干旱处理 5 d 对二者 *PSII* 功能和光能分配的影响。结果表明:高温并未引起 2 个辣椒品种  $F_v/F_m$  的变化,而干旱则导致  $F_v/F_m$  的下降和  $F_o$  的上升,高温干旱加剧了这种变化;3 种胁迫均引起  $\Phi_{PSII}$  和  $qP$  的下降,其下降程度由高到低依次为高温干旱,干旱,高温;高温和干旱处理导致辣椒  $NPQ$  上升,但高温干旱则引起  $NPQ$  下降;高温和干旱处理导致叶片吸收光能向  $P$  分配减少,但促进了向  $D$  分配,然而高温干旱处理不仅显著降低了  $P$ ,而且也未促进  $D$  的增加。与干旱敏感品种(弄口早椒)相比,耐旱品种(正椒 13 号)在各胁迫处理下均可保持较高的  $F_v/F_m$ 、 $\Phi_{PSII}$ 、 $qP$  和  $NPQ$ ,说明高温、干旱和高温干旱胁迫下辣椒保持较高的光化学能力和热耗散能力与其抗高温和/或干旱能力相关。

**关键词:**辣椒;高温干旱;叶绿素荧光;*PSII* 功能;光能分配

中图分类号:Q945.78 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2010)04-0695-05

## Effects of Heat and Drought Stresses on the *PSII* Functions and Absorbed Light Allocation in Two Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivars

HU Wen-hai<sup>1</sup>, HU Xue-hua<sup>1</sup>, ZHOU Gui-hua<sup>2</sup>, ZENG Qing-mei<sup>1</sup>, WU Qing-yu<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China; 2. Nanchang Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330038, China)

**Abstract:** Two different drought-tolerant pepper cultivars were used as materials for comparison of their *PSII* functions and absorbed light allocation treated 5 d under heat or and drought stresses. The results showed that drought, especially simultaneous heat and drought stresses, induced decrease of  $F_v/F_m$  and increase of  $F_o$ , although there was no change in both cultivars under heat stress.  $\Phi_{PSII}$  and  $qP$  decreased in both cultivars treated by heat or and drought stresses, and the degree of decrease by drought was lower than by simultaneous heat and drought stresses, but higher than by heat alone.  $NPQ$  was increased by heat and drought stress alone, especially drought. However, simultaneous heat and drought stresses decreased  $NPQ$ . Pepper could allocate a greater part of absorbed light to heat dissipation ( $D$ ) under heat or drought treatment, although decrease the part of absorbed light to photochemistry reaction ( $P$ ). Simultaneous heat and drought significantly decreased the part of absorbed light to  $P$ , but no stimulated increase of  $D$ . Compared with drought-sensitive cv. Longkouzaojiao, drought-tolerant cv. Zhengjiao 13 remained higher  $F_v/F_m$ ,  $\Phi_{PSII}$ ,  $qP$  and  $NPQ$  under heat or and drought stresses. The results indicated that higher drought tolerance of pepper is associated with high capacity of photochemistry reaction and heat dissipation under heat or and drought stresses.

收稿日期:2010-04-27 修回日期:2010-05-26

基金项目:国家自然科学基金项目(30860175)、江西省自然科学基金(2007GZN1666)和江西省教育厅科技项目(GJJ08418)

作者简介:胡文海(1973-),男,教授,博士,主要从事蔬菜抗性生理研究,E-mail: huwenhaicy@ yahoo.com.cn.

**Key words:** *Capsicum annuum* L.; heat and drought; chlorophyll fluorescence; *PSII* functions; absorbed light allocation

叶绿体作为植物体内主要的能量代谢中心,也是植物细胞中活性氧产生的主要源头之一<sup>[1]</sup>,极易受温度、水分等逆境胁迫的影响<sup>[2-3]</sup>。正常情况下叶片吸收光能主要用于光化学反应 *PSII* 反应中心过剩激发能积累较少;逆境胁迫下由于 Rubisco 和 Calvin 循环中相关光合酶活性的丧失或含量的下降,使得光合碳同化能力下降,最终导致对 ATP 和 NADPH 需求减少,引起叶绿体内还原力的积累和叶绿体膜上电子传递链过度激发,从而引起叶片吸收光能中过剩光能的产生与积累,导致叶绿体内活性氧产率的上升,对光合机构造成伤害<sup>[2,4-5]</sup>。然而植物可通过热耗散等能量耗散途径以减少过剩光能的积累,对光合机构起到一定的保护作用<sup>[6-7]</sup>。

我国南方属于亚热带季风气候区,6月中旬至9月间,高温几乎每年都会发生,而且高温通常都伴随着干旱,高温干旱加剧了对作物的伤害,成为影响我国夏季作物栽培的主要原因<sup>[8]</sup>。有研究表明:高温和干旱胁迫可引起植物叶片气孔关闭、水分平衡失调、Rubisco 降解、以及 Calvin 循环中酶活性下降,严重时会引起叶绿体的伤害<sup>[3,9-10]</sup>。虽然关于高温或干旱胁迫下植物光合作用的影响已有一定研究,但高温和干旱共同胁迫对南方夏季的主要蔬菜作物辣椒光合作用的影响,尤其是对其 *PSII* 功能及叶片吸收光能分配影响方面的研究较少,为此我们以辣椒为研究对象,选取不同耐性的辣椒品种为材料,研究高温和干旱协同胁迫对辣椒 *PSII* 功能及叶片吸收光能分配的影响,以期探索高温干旱对辣椒的伤害机制以及辣椒对高温干旱胁迫的适应机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与处理

供试辣椒品种为正椒 13 号 (*Capsicum annuum* L. cv. Zhengjiao 13 耐旱品种) 和弄口早椒 (*Capsicum annuum* L. cv. Longkouzaojiao, 干旱敏感品种)<sup>[11]</sup>。种子播种于  $\varphi$ (草碳土): $\varphi$ 珍珠岩 = 8:2 基质中,70% 以上的种子出苗后进行正常的水肥管理,营养液为 1/2 园试营养液,幼苗 4 片真叶时移入 30 cm × 30 cm 的花盘中,基质同播种基质,用滴灌进行水肥管理,营养液为园试完全营养液。植株长至 20 ~ 25 片叶时选择生长一致的植株进行处理,试验共设 4 处理。处理 1: 对照 (CK): 28 °C / 18 °C, 每天早晚滴灌各 10 min, 保持土壤相对含水量高于 80%; 处理 2: 高温 (HT): 将苗用长 × 宽 × 高为 3 m × 1.5 m × 2.5 m 的铁架外围薄膜密闭培养、内用加热器加热,通过温控仪控制昼夜温度 (45 ± 2) °C / (35 ± 2) °C, 每天早晚滴灌各 10 min, 保持土壤相对含水量高于 80%; 处理 3: 干旱 (D): 28 °C / 18 °C, 自然控水干旱处理,于处理前 2 d 开始适当控水(控水 2 d 后土壤相对含水量下降至 70% 左右),处理 4 d 后每天傍晚于地面浇水,土壤相对含水量保持在 48% ~ 52%; 处理 4: 高温干旱 (HD): 幼苗与处理 2 一样培养在同一加温的薄膜内,保持昼夜温度 (45 ± 2) °C / (35 ± 2) °C, 干旱处理同处理 3, 土壤相对含水量保持在 37% ~ 40%。各处理均用农用镝灯进行人工补光至 (300 ~ 500)  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。各处理均 3 次重复。处理 5 d 后用便携式脉冲调制荧光仪 FMS-2 (英国 Hansatch 公司生产) 测定各处理植株叶片叶绿素荧光参数,并计算其光能分配。

### 1.2 叶绿素荧光的测定

按 Demmig - Adams 等<sup>[7]</sup>的方法测定叶片叶绿素荧光参数。叶片暗适应 30 min 后,测定暗适应下的初始荧光  $F_0$  和最大荧光  $F_m$ , 随后打开光化光 [actinic light 600  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] 照射 10 min 后测定光适应下的稳态荧光  $F_s$  和光下最大荧光  $F_m'$ , 随后将叶片用黑片遮光并打开远红光照射 5 s 后测定最小荧光  $F_0'$ 。并计算暗适应下 *PSII* 最大光化学效率  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ , *PSII* 光合电子传递量子效率  $\Phi_{PSII} = (F_m' - F_s)/F_m'$ , 光化学猝灭系数  $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0')$ , 非光化学猝灭系数  $NPQ = 1 - F_m'/F_m$ , 天线色素转化效率  $F_v'/F_m' = (F_m' - F_0')/F_m'$ ; 以及计算叶片吸收光能分配情况: 用于天线耗散部分  $D = 1 - F_v'/F_m'$ , 用于光化学反应部分  $P = qP \times F_v'/F_m'$ , 反应中心耗散部分  $E = (1 - qP) \times F_v'/F_m'$ 。

### 1.3 数据统计

数据统计采用 SPSS 11.5 软件( SPSS ,Chicago ,USA) 进行方差分析, 差异显著性采用最小显著性差异(LSD) 检验在  $P < 0.05$  水平上进行分析。图与表中不同字母表示在 5% 水平上处理间具有显著性差异。

## 2 结果分析

### 2.1 高温干旱对 2 个辣椒品种光抑制的影响

由图 1 可知, 高温胁迫 5 d 并未引起 2 个辣椒品种叶片  $F_v/F_m$  和  $F_o$  的变化, 干旱导致  $F_v/F_m$  的显著下降以及  $F_o$  上升, 高温干旱协同作用加剧了  $F_v/F_m$  的下降和  $F_o$  上升; 与正椒 13 号相比, 弄口早椒在干旱和高温干旱胁迫下  $F_v/F_m$  的下降和  $F_o$  的上升更为明显。由此可见高温并未引起辣椒叶片光抑制发生, 但干旱与高温干旱则导致叶片光抑制的发生和光合机构的破坏, 并且对弄口早椒的伤害更重。

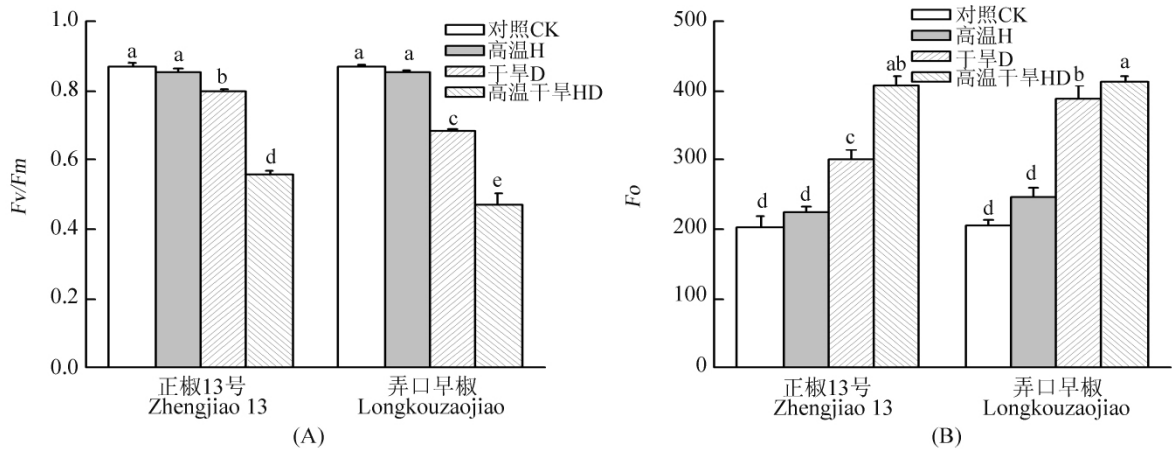


图 1 高温干旱对辣椒叶片  $F_v/F_m$  和  $F_o$  的影响

Fig. 1 Effects of drought and heat stresses on  $F_v/F_m$  and  $F_o$  in pepper leaves

### 2.2 高温干旱对 2 个辣椒品种叶片 *PSII* 功能的影响

高温干旱对 2 个辣椒品种叶片 *PSII* 功能的影响如表 1 所示: 高温、干旱和高温干旱处理导致 2 个辣椒品种  $\Phi PSII$  和  $qP$  的下降, 其下降程度由高到低依次为高温干旱, 干旱, 高温; 对 2 个辣椒品种而言, 高温引起  $\Phi PSII$  和  $qP$  的变化无品种间差异, 但干旱与高温干旱胁迫下弄口早椒  $\Phi PSII$  和  $qP$  的下降程度明显大于正椒 13 号。高温胁迫 5 d 稍微引起两辣椒品种  $F_v'/F_m'$  的下降和  $NPQ$  的上升, 干旱胁迫则显著地引起  $F_v'/F_m'$  的下降和  $NPQ$  的增加; 然而高温干旱胁迫并未引起弄口早椒  $F_v'/F_m'$  的变化但导致  $NPQ$  显著下降, 正椒 13 号则仅表现出  $F_v'/F_m'$  的轻微下降而  $NPQ$  未发生变化。结果表明正椒 13 号在高温、干旱和高温干旱胁迫下保持较高的光化学能力与天线色素热耗散能力是其较弄口早椒耐旱能力强的主要原因之一。

表 1 高温干旱对辣椒叶片  $\Phi PSII$ 、 $F_v'/F_m'$ 、 $qP$  和  $NPQ$  的影响

Tab. 1 Effects of drought and heat stresses on  $\Phi PSII$ ,  $F_v'/F_m'$ ,  $qP$  and  $NPQ$  in pepper leaves

品种 Cultivar	处理 Treatment	$\Phi PSII$	$F_v'/F_m'$	$qP$	$NPQ$
正椒 13 号 Zhengjiao 13	对照 CK	0.470 ± 0.034a	0.736 ± 0.009a	0.639 ± 0.046a	1.23 ± 0.13c
	高温 H	0.319 ± 0.008b	0.651 ± 0.015c	0.489 ± 0.011b	1.56 ± 0.14b
	干旱 D	0.189 ± 0.024c	0.571 ± 0.028d	0.330 ± 0.026c	2.05 ± 0.15a
	高温干旱 HD	0.125 ± 0.021d	0.660 ± 0.014bc	0.190 ± 0.032e	1.40 ± 0.08bc
弄口早椒 Longkouzaojiao	对照 CK	0.460 ± 0.011a	0.732 ± 0.006a	0.628 ± 0.018a	1.20 ± 0.05d
	高温 H	0.330 ± 0.019b	0.694 ± 0.017b	0.475 ± 0.020b	1.49 ± 0.11b
	干旱 D	0.154 ± 0.008d	0.558 ± 0.046d	0.278 ± 0.014d	1.37 ± 0.12bc
	高温干旱 HD	0.089 ± 0.012e	0.734 ± 0.015a	0.122 ± 0.018f	0.52 ± 0.08e

### 2.3 高温干旱对 2 个辣椒品种光能分配的影响

高温干旱对 2 个辣椒品种叶片吸收光能分配的影响如表 2 所示: 高温、干旱和高温干旱导致辣椒叶

片吸收光能用于光化学反应部分( *P* ) 减少, 其减少程度由高到低依次为高温干旱, 干旱, 高温, 并且弄口早椒的减少程度大于正椒 13 号; 但天线色素上耗散的能量部分( *D* ) 则表现出不同的反应, 高温、干旱和高温干旱胁迫下正椒 13 号的 *D* 分别为 34.9%、42.9% 和 34.0%, 其值均高于对照的 26.4%; 而弄口早椒则分别为 30.6%、44.2% 和 26.6%, 仅高温与干旱胁迫下高于对照的 26.8%, 高温干旱胁迫并未引起 *D* 的增加。反应中心过剩光能部分( *E* ) 则表现出与 *P* 相反的反应, 高温、干旱和高温干旱导致了 2 个辣椒品种 *E* 的增加, 其增加幅度由大到小依次为高温干旱, 干旱, 高温, 并且各胁迫处理下弄口早椒 *E* 均大于正椒 13 号。说明正椒 13 号可通过增加叶片吸收光能向天线色素上的能量耗散和光化学反应分配以减少 *PSII* 反应中心过剩光能的积累, 从而减轻对 *PSII* 的伤害。

表 2 高温干旱对辣椒叶片吸收光能分配于 *PSII* 光化学反应( *P* )、天线耗散( *D* ) 和过剩光能( *E* ) 比率的影响

Tab.2 Effects of drought and heat stresses on the fractions of absorbed light utilized in *PSII* photochemistry ( *P* ), antenna heat dissipation ( *D* ) and excess energy ( *E* ) in pepper leaves

品种 Cultivar	处理 Treatment	<i>P</i> /%	<i>D</i> /%	<i>E</i> /%
正椒 13 号 Zhengjiao 13	对照 CK	47.0 ± 3.4a	26.4 ± 0.9c	26.6 ± 3.4e
	高温 H	31.9 ± 0.8b	34.9 ± 1.5b	33.3 ± 1.2d
	干旱 D	18.9 ± 2.4c	42.9 ± 2.8a	38.3 ± 0.9c
	高温干旱 HD	12.5 ± 2.1d	34.0 ± 1.4b	53.5 ± 2.6b
弄口早椒 Longkouzaojiao	对照 CK	46.0 ± 1.1a	26.8 ± 0.6c	27.2 ± 1.5e
	高温 H	33.0 ± 1.9b	30.6 ± 1.7bc	36.4 ± 1.3cd
	干旱 D	15.4 ± 0.8d	44.2 ± 4.7a	40.4 ± 4.0c
	高温干旱 HD	8.9 ± 1.2e	26.6 ± 1.5c	64.5 ± 2.3a

### 3 讨 论

*Fv/Fm* 降低是光合作用光抑制的显著特征, 常用来作为判断是否发生光抑制的标准<sup>[6]</sup>, 而 *Fo* 的高低则反映了失活的 *PSII* 反应中心数量的多少, 当失活的反应中心数量增加时, *Fo* 值将升高<sup>[12]</sup>。高温或(和)高温干旱胁迫导致花椰菜<sup>[13]</sup>、茶树<sup>[14]</sup>、柑橘<sup>[15]</sup>等 *Fv/Fm* 的下降和 *Fo* 的上升。我们的研究结果表明 45 °C 高温处理并未引起 2 辣椒品种叶片 *Fv/Fm* 和 *Fo* 的变化, 这可能与辣椒作为一种夏季作物具有较强的耐高温能力有关。但干旱胁迫则导致 *Fv/Fm* 的下降和 *Fo* 的上升, 高温干旱则加剧了这种变化, 说明干旱对辣椒叶片光合机构产生了明显的胁迫伤害, 并且高温可加剧干旱对辣椒叶片光合机构的伤害程度。高温干旱胁迫下正椒 13 号 *Fv/Fm* 和 *Fo* 的变化程度小于弄口早椒, 说明正椒 13 号具有较强的耐高温干旱能力, 这与我们之前的研究相一致<sup>[16]</sup>。

逆境胁迫下植物光能利用能力下降, 如果不能将叶片吸收光能很好地耗散掉, 所产生的过剩光能则会对光合机构产生伤害<sup>[7]</sup>, 因此逆境胁迫对光合机构的影响与其 *PSII* 功能和叶片吸收光能分配直接相关。

郭春芳等<sup>[14]</sup>在茶树上的研究表明, 干旱胁迫降低了茶树叶片 *PSII* 光化学效率, 并诱导了天线色素热耗散能力的增强, 其中耐旱能力强的品种在干旱胁迫下能保持较高的光化学效率和天线色素热耗散能力。我们的研究结果也表明高温和干旱胁迫导致了  $\Phi_{PSII}$  的下降, 并且耐旱能力弱的品种弄口早椒的下降程度更大。 $\Phi_{PSII}$  的大小取决于 *qP* 和 *Fv'/Fm'*, *qP* 是开放的 *PSII* 反应中心数目的量度, 而 *Fv'/Fm'* 则反映了开放的 *PSII* 反应中心捕获激发能的效率<sup>[17]</sup>。高温与干旱胁迫导致 *qP* 的下降, 说明高温与干旱胁迫导致了 *PSII* 反应中心开放程度的降低, 这将导致 *PSII* 受体侧的原初醌受体 *QA* 处于高还原状态, 引起单线态氧的产生, 从而对细胞产生氧化伤害<sup>[18]</sup>。胁迫下弄口早椒 *qP* 下降程度大于正椒 13 号, 意味着高温和干旱胁迫引起弄口早椒 *PSII* 反应中心的过度还原, 从而导致对 *PSII* 反应中心的伤害大于正椒 13 号。

高温和干旱胁迫也导致了 *Fv'/Fm'* 的降低, *Fv'/Fm'* 的降低意味着天线色素捕获的光能向 *PSII* 反应中心传递的效率下降, 这将有利于天线色素热耗散能力的增加, 从而有利于保护光合机构免受过剩光能的伤害<sup>[7]</sup>。高温和干旱下辣椒 *NPQ* 的上升也说明了高温和干旱可诱导天线色素热耗散能力增强以保护光合机构免受过剩光能破坏, 而高温干旱胁迫下两辣椒品种的 *NPQ* 并未增强, 而且弄口早椒还显

著下降,这可能高温干旱胁迫下辣椒叶片PSII反应中心受到破坏有关。研究结果还表明各胁迫处理下正椒13号均能保持较弄口早椒更高的热耗散能力,这可能是其具有较高耐旱性的原因之一。

逆境胁迫下植物光合碳同化的降低会引起叶片对吸收光能分配发生变化,植物也会通过光能分配以缓解过剩光能对作物的伤害<sup>[7]</sup>。高温处理导致叶片吸收光能分配于光化学反应部分(*P*)减少,而热耗散部分(*D*)和反应中心过剩光能部分(*E*)则增加,干旱处理下*P*减少更多,但*D*和*E*增加程度大于高温处理下;但高温干旱处理则显著引起*P*的下降和*E*的增加,对*D*的影响则不大。比较2个辣椒品种,除高温处理下两辣椒品种光能分配变化基本一致外,干旱与高温干旱处理下正椒13号光能分配于*P*和*D*部分显著高于弄口早椒。说明正椒13号可通过增加光能分配于天线色素上的能量耗散和进行光化学反应以减少PSII反应中心的过度激发能,从而减轻对PSII的伤害。

综上所述,高温与干旱胁迫下辣椒可通过增强天线色素热耗散能力,以减少反应中心过剩光能的积累,从而减轻对光合机构的伤害;但高温干旱下辣椒叶片天线色素的热耗散能力不能得到增强,以致引起反应中心过剩光能的积累并对光合机构产生了严重伤害。其中正椒13号能在胁迫处理下保持较弄口早椒更强的PSII光化学反应能力和天线色素热耗散能力,从而具有较弄口早椒更强的耐高温干旱能力。

#### 参考文献:

- [1] Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, et al. Reactive oxygen gene network of plants [J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(10): 490–498.
- [2] Allen D J, Ort D R. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm climate plants [J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(1): 36–42.
- [3] 云建英, 杨甲定, 赵哈林. 干旱和高温对植物光合作用的影响机制研究进展 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 641–648.
- [4] Nakano R, Ishida H, Makino A, et al. In vivo fragmentation of the large subunit of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase by reactive oxygen species in an intact leaf of cucumber under chilling-light conditions [J]. Plant, Cell & Environment, 2006, 29(2): 270–276.
- [5] Hu W H, Song X S, Shi K, et al. Changes in electron transport, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase isoenzymes in chloroplasts and mitochondria of cucumber leaves as influenced by chilling [J]. Photosynthetica, 2008, 46(4): 581–588.
- [6] 许大全, 张玉忠, 张荣铎. 植物光合作用的光抑制 [J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(4): 237–243.
- [7] Demmig-Adams B, Adams W W, Barker D H, et al. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation [J]. Physiologia Plantarum, 1996, 98(2): 253–264.
- [8] 刘玲, 沙奕卓, 白月明. 中国主要农业气象灾害区域分布与减灾对策 [J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 92–97.
- [9] Salvucci M E, Osteryoung K W, Crafts-Brandner S J, et al. Exceptional sensitivity of rubisco activase to thermal denaturation in vitro and in vivo [J]. Plant Physiology, 2001, 127(3): 1053–1064.
- [10] Sharkey T D. Effects of moderate heat stress on photosynthesis: Importance of thylakoid reactions, rubisco deactivation, reactive oxygen species and thermotolerance provided by isoprene [J]. Plant, Cell & Environment, 2005, 28(3): 269–277.
- [11] 胡文海, 陈春霞, 胡雪华. 高温干旱对不同品种辣椒生长及呼吸作用的影响 [J]. 植物研究, 2008, 28(2): 199–204.
- [12] Anderson J M, Park Y I, Chow W S. Photoinactivation and photoprotection of photosystem II in nature [J]. Physiologia Plantarum, 1997, 100(2): 214–223.
- [13] 汪炳良, 徐敏, 史庆华, 等. 高温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.
- [14] 郭春芳, 孙云, 唐玉海, 等. 水分胁迫对茶树叶片叶绿素荧光特性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 560–564.
- [15] 王利军, 李家承, 刘允芬, 等. 高温干旱胁迫下水杨酸和钙对柑橘光合作用和叶绿素荧光的影响 [J]. 中国农学通报, 2003, 19(6): 185–189.
- [16] 胡文海, 陈春霞, 胡雪华, 等. 干旱胁迫对2种辣椒植株形态可塑性与持水力的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(4): 643–647.
- [17] 胡文海, 肖宜安, 龙婉婉. 夜间低温后日间光照对海桐和榕树叶片的抑制以及光系统II功能的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(4): 467–470.
- [18] Melis A. Photosystem-II damage and repair cycle in chloroplasts: What modulates the rate of photodamage in vivo [J]. Trends in Plant Science, 1999, 4(4): 130–135.