

许皓棋, 陈露茜, 杜乐山, 等. 加拿大一枝黄花光合参数对极端高温的响应[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(9): 92-94.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.024

# 加拿大一枝黄花光合参数对极端高温的响应

许皓棋<sup>1,2</sup>, 陈露茜<sup>2</sup>, 杜乐山<sup>2,3</sup>, 闫明<sup>1</sup>, 李钧敏<sup>2</sup>

(1. 山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041004;

2. 台州学院生态研究所/浙江省植物进化生态学与保护重点实验室, 浙江台州 318000; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:**采用盆栽试验, 比较不同种群加拿大一枝黄花幼苗在极端高温 43 ℃ 及正常温度 25 ℃ 培养 7 d 下叶片的光合作用、叶绿素含量和叶绿素荧光参数。结果表明, 在极端高温条件下, 加拿大一枝黄花的净光合速率( $P_n$ )、最大荧光产量( $F_m$ )、初始荧光( $F_0$ )、最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、黑暗最大可变荧光( $F_v$ )有明显下降, 而气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、叶绿素含量明显升高。方差分析结果表明, 高温对光合作用、叶绿素含量的影响极显著( $P < 0.01$ ), 对叶绿素荧光参数的影响显著( $P < 0.05$ ), 地理来源仅对  $P_n$ 、 $F_m$ 、 $F_0$ 、 $F_v$  的影响显著( $P < 0.05$ ), 高温与地理来源互作对测定指标的影响不显著( $P > 0.05$ )。

**关键词:**极端高温; 加拿大一枝黄花; 地理种群; 光合作用; 叶绿素含量; 荧光参数; 响应

**中图分类号:** S451; Q945 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0092-03

外来植物的入侵已对我国农林渔牧业产生了惊人的直接经济损失, 其引起的生态系统平衡改变、生物多样性丧失而造成的间接损失更是无法估计<sup>[1]</sup>。外来入侵物种通过改变入侵地的自然生态系统、降低入侵地的物种多样性而对当地社会、经济甚至人类健康产生严重危害<sup>[2]</sup>。加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)为菊科一枝黄花属, 原产于北美, 在北美洲分布范围较广, 主要分布于高纬度地区<sup>[3-4]</sup>, 高温可能是限制其入侵与扩散的重要因素。加拿大一枝黄花于 1935 年作为花卉植物引入我国, 后逃逸并成为我国东南地区的一种常见外来杂草<sup>[5]</sup>, 具有表型可塑性高、有性繁殖与无性繁殖强、遗传多样性高、化感作用显著等特性<sup>[6-8]</sup>。目前, 关于加拿大一枝黄花对极端高温的响应还没有较为深入的研究, 而本研究采用盆栽试验, 分析不同地理种群加拿大一枝黄花光合生理指标、相对叶绿素含量及叶绿素荧光等对极端高温的响应, 以探讨加拿大一枝黄花入侵过程中对极端高温的光合适应机制, 为深入阐明加拿大一枝黄花的入侵机制提供理论依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 种子采集与预处理

2012 年 10—12 月, 在浙江、江苏、上海等省(市)分别采集 7 个种群的加拿大一枝黄花种子(表 1); 2015 年 3 月于台州学院人工气候室使种子萌发, 萌发条件为光照 400  $\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 、湿度 80%、光周期 10 h/14 h(白天/夜晚)、温度 21 ℃/15 ℃(白天/夜晚); 待幼苗萌发, 每个家系选取生长一致的 6 株幼苗移栽入 32 孔黑色穴盘, 每穴 1 株; 穴

收稿日期: 2016-03-07

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(编号: 31270461); 浙江省“钱江人才计划”D 类项目(编号: QJD1302021)。

作者简介: 许皓棋(1991—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 从事入侵生物学研究。E-mail: 517106805@qq.com。

通信作者: 闫明, 副教授, 从事生态学研究。Tel: (0357) 2051750; E-mail: mycorrhiza@sina.com。

表 1 加拿大一枝黄花种子采样地点的地理信息

编号	地点	地点缩写	经度(°)	纬度(°)	海拔(m)
1	上海市浦东区	PD	121.804	31.354	3
2	上海市闵行区虹桥	HQ	121.433	31.307	5
3	江苏省南京市	NJ	119.094	31.794	22
4	江西省景德镇市	JDZ	117.166	29.318	40
5	安徽省芜湖市	WHu	118.387	31.342	16
6	江西省九江市	JJ	116.283	29.985	18
7	湖北省武汉市汉口区	WH	114.350	30.878	25

盘培养 1 个月, 待用。为避免土壤对不同地理种群加拿大一枝黄花的干扰, 统一采用泥炭土与蛭石的等量混合物作为基质<sup>[9]</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设极端高温、正常温度 2 个处理, 分别在 2 个人工气候室中完成。极端高温参照 Lafta 等的方法<sup>[10-11]</sup>, 设置升温速率为白天 4 ℃、晚上 3 ℃, 达到白天 43 ℃、夜晚 32 ℃的预期温度时保持恒定; 正常温度为白天 25 ℃、夜晚 20 ℃。温室其他条件相同, 为光照度 400  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、湿度 80%、光周期 14 h/10 h(白天/夜晚)。每个种群每处理各 63 个植株。

### 1.3 指标测定

在设定温度条件下培养 7 d, 选取加拿大一枝黄花顶端的第 3 张叶片, 采用美国 LI-COR 公司产的 LI-6400X 型便携式光合测定系统测定净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )等光合生理指标, 控制条件: 叶片温度为 25 ℃,  $\text{CO}_2$  浓度为 400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ , 光合有效辐射(PAR)为 1 400  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。对叶面积不足 6  $\text{cm}^2$  的叶片, 采用 Regent Instruments Inc 产 FOLIA 叶面积分析仪扫描叶片的有效光合作用面积, 并输入光合数据重新计算。选取同一张叶片, 采用美国产的 CCM-200 手持式叶绿素仪测定其相对叶绿素含量; 选取同一张叶片, 暗适应 30 min, 采用美国产的 OS-30P 便携式叶绿素荧光仪在叶片自然生长角度不变的情况下测定初始荧光( $F_0$ )、最大荧光( $F_m$ )、光系统 II

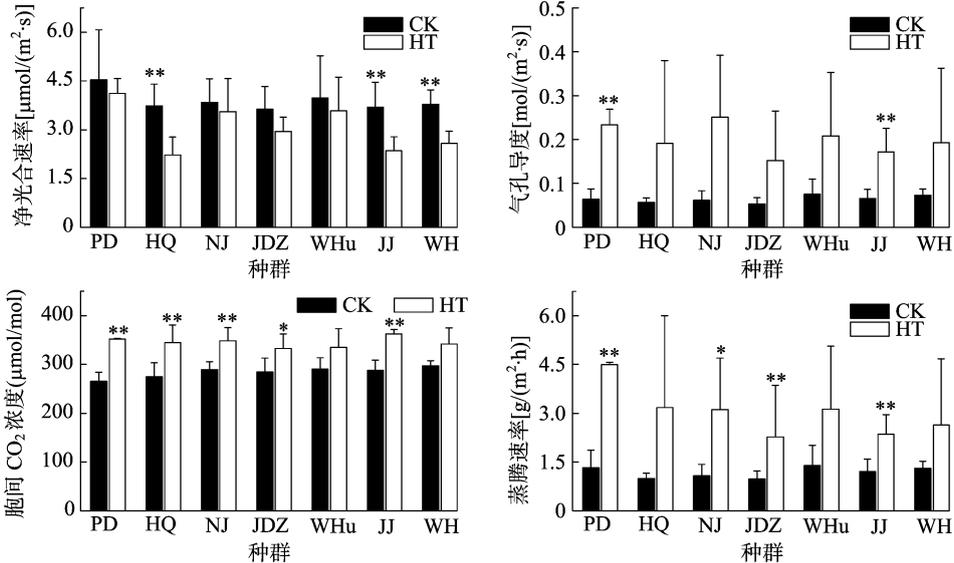
(PS II)最大光化学效率( $F_v/F_m$ )等叶绿素荧光基本参数。每个植株至少测定3次,取平均值。

#### 1.4 数据分析

采用单因素方差分析,检验不同温度对同一种群加拿大一枝黄花光合指标的影响;采用双因素方差分析,检验温度胁迫与地理来源及其交互作用对加拿大一枝黄花各项指标的影响。数据采用Excel 2013、SPSS 18.0软件进行统计分析,采用Origin 8.5软件辅助作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 加拿大一枝黄花光合参数对高温的响应



\*、\*\* 分别表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。下同

图1 加拿大一枝黄花光合参数对高温的响应

### 2.2 加拿大一枝黄花相对叶绿素含量对高温的响应

由图2可见,极端高温条件下,不同种群的相对叶绿素含量有不同程度的升高,其中NJ、PD、JDZ种群的相对叶绿素含量增加较为明显。双因素方差分析表明,极端高温对叶绿素含量的影响极显著( $P = 0.002$ ),地理来源、极端高温与地理来源交互作用对叶绿素含量影响不显著( $P > 0.05$ )。

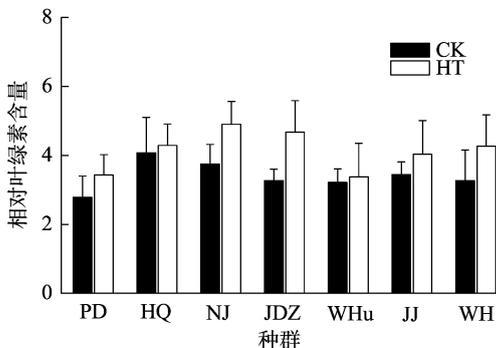


图2 加拿大一枝黄花相对叶绿素含量对高温的响应

### 2.3 加拿大一枝黄花荧光参数对高温的响应

由图3可见,极端高温条件下,加拿大一枝黄花的初始荧光值( $F_0$ )、最大荧光值( $F_m$ )、光系统II(PS II)最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、黑暗最大可变荧光( $F_v$ )多出现不同程度的下降,其中HQ种群的 $F_0$ 、JDZ、WH种群的 $F_v/F_m$ 及JJ种群的 $F_v$

由图1可见,极端高温条件下,加拿大一枝黄花的净光合速率下降,气孔导度、胞间 $CO_2$ 浓度、蒸腾速率明显升高;与正常温度相比,极端温度条件下HQ、JJ、WH种群的加拿大一枝黄花种群净光合速率极显著降低,PD、JJ种群的气孔导度,PD、HQ、NJ、JJ种群的胞间 $CO_2$ 浓度及PD、JDZ、JJ种群的蒸腾速率极显著增加,JDZ种群的气孔 $CO_2$ 浓度、NJ种群的蒸腾速率显著增加。双因素方差分析结果表明,极端高温对净光合速率、气孔导度、胞间 $CO_2$ 浓度等光合参数指标的影响极显著( $P < 0.01$ ),地理来源仅对净光合速率的下降影响显著( $P = 0.012$ ),而高温与地理来源交互作用对各指标影响不显著( $P > 0.05$ )。

与正常温度处理差异显著( $P < 0.05$ ),PD种群的 $F_m$ 及HQ种群的 $F_v$ 与正常温度处理差异极显著( $P < 0.01$ )。双因素方差分析结果表明,极端高温对荧光参数各指标的影响显著( $P < 0.05$ ),地理来源对 $F_m$ 、 $F_0$ 、 $F_v$ 这3个指标的影响显著( $P < 0.05$ ),高温与地理不存在交互作用。

## 3 结论与讨论

入侵物种常对环境具有积极的响应机制,使物种具有更宽的生态幅和更好的耐受性,可占据更广阔的地理范围和更多样化的生境,从而成功入侵<sup>[10]</sup>。43℃高温处理7d,加拿大一枝黄花的净光合速率明显下降,气孔导度、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率明显上升,说明极端高温对加拿大一枝黄花的净光合速率有一定的抑制作用,这与李娜等的研究结论<sup>[12-14]</sup>相似,而加拿大一枝黄花的净光合速率下降由非气孔因素引起,叶肉细胞光合能力的减弱致使植株的光能利用率下降,光合中间产物的形成和能量转变减缓,糖类及蛋白质的形成受到阻碍,从而加拿大一枝黄花的生长和生物量积累受到抑制<sup>[15]</sup>。叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,在光吸收中起核心作用,极端高温胁迫7d,不同地理种群的加拿大一枝黄花相对叶绿素含量明显提高,这说明加拿大一枝黄花可通过增加叶绿素含量来增强极端条件下的生存能力。最大光化学效率( $F_v/F_m$ )是暗适应下PS II的最大光化学效率,代表光

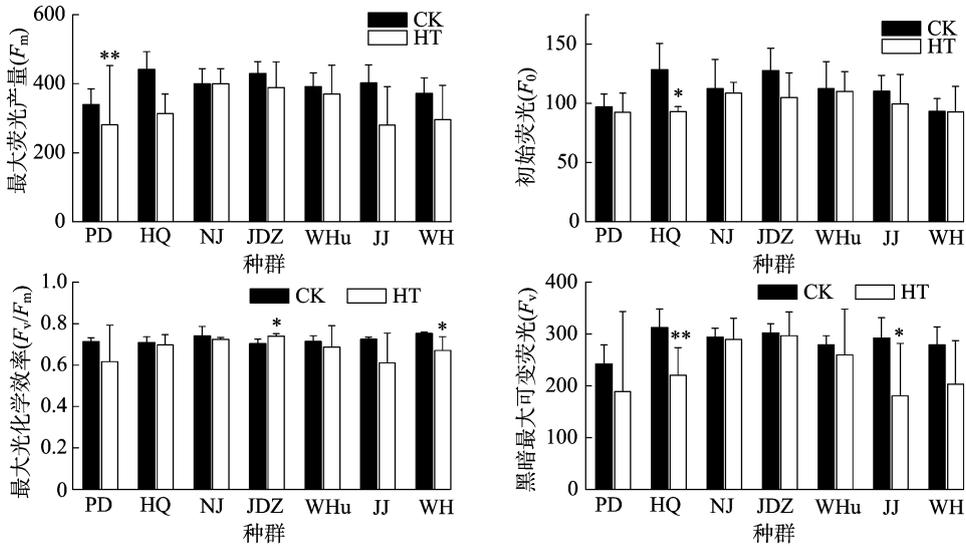


图3 加拿大一枝黄花荧光参数对高温的响应

合结构把吸收的光能用于化学反应的最大效率,常被用作表示环境胁迫程度的探针<sup>[16]</sup>。在胁迫条件下, $F_v/F_m$ 值会显著下降<sup>[17]</sup>;非胁迫条件下, $F_v/F_m$ 值一般在0.8以上<sup>[18]</sup>。本研究发现,43℃极端高温处理下,不同地理种群的加拿大一枝黄花 $F_v/F_m$ 值明显下降,说明加拿大一枝黄花受到高温胁迫,光能过剩,PSII光合系统受到破坏,致使光抑制或光破坏<sup>[19]</sup>;不同地理种群的加拿大一枝黄花 $F_v/F_m$ 值大于0.6,表明43℃高温下,除已死亡的植株外,存活的加拿大一枝黄花所受的胁迫并不是特别严重,对高温胁迫具有一定的适应能力。

外来植物的入侵能力与其性状之间的关系是入侵生态学中的基本问题之一<sup>[10]</sup>。虽然高温对加拿大一枝黄花具有明显的抑制作用,但其可通过提高叶绿素含量、降低根冠比等策略来适应高温胁迫,从而实现成功入侵。未来可整合分子生态、生理生态、种群生态学等研究手段,深入探讨加拿大一枝黄花对温度的适应机制,以进一步阐明加拿大一枝黄花的入侵机制。

#### 参考文献:

- [1]雷军成,徐海根. 基于 MaxEnt 的加拿大一枝黄花在中国的潜在分布区预测[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(2):137-141.
- [2]Lu J Z, Weng E S, Wu X W, et al. Potential distribution of *Solidago canadensis* in China[J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 2007, 45(5): 670-674.
- [3]Nolf M, Pagitz K, Mayr S. Physiological acclimation to drought stress in *Solidago canadensis* [J]. Physiologia Plantarum, 2014, 150(4): 529-539.
- [4]Xu Z L, Peng H H, Feng Z D, et al. Predicting current and future invasion of *Solidago canadensis*: a study from China [J]. Polish Journal of Ecology, 2014, 62(2): 263-271.
- [5]陈志伟,杨京平,王荣洲,等. 浙江省加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 的空间分布格局及其与人类活动的关系[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 120-129.
- [6]Hao J H, Qiang S, Chrobock T, et al. A test of baker's law: breeding systems of invasive species of asteraceae in China [J]. Biological Invasions, 2011, 13(3): 571-580.
- [7]黄华,郭水良. 外来入侵植物加拿大一枝黄花繁殖生物学研究[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2795-2803.
- [8]董梅,陆建忠,张文驹,等. 加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物[J]. 植物分类学报, 2006, 44(1): 72-85.
- [9]杜乐山. 加拿大一枝黄花的表型可塑性与适应性研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
- [10]Lafta A M, Lorenzen J H. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato [J]. Plant Physiology, 1995, 109(2): 637-643.
- [11]Marcum K B. Cell membrane thermostability and whole-plant heat tolerance of *Kentucky bluegrass* [J]. Crop Science, 1998, 38(5): 1214-1218.
- [12]李娜,孙涛,毛子军. 长期极端高温胁迫对樟子松幼苗生物量及非结构性碳水化合物化合物的影响[J]. 植物研究, 2014, 34(2): 212-218.
- [13]Xie X J, Li B B, Shen S H. Impact of high temperature stress on photosynthetic characteristic and yield of rice (*Oryza sativa*) at heading [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 82(6): 516-522.
- [14]Soonja O, Kyunghwan M, Inchang S, et al. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature [J]. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 2014, 32(3): 318-329.
- [15]Loustau D, Crepeau S, Guye M G, et al. Growth and water relations of three geographically separate origins of maritime pine (*Pinus pinaster*) under saline conditions [J]. Tree Physiology, 1995, 15(9): 569-576.
- [16]张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444.
- [17]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.
- [18]Li J, Liao J, Guan M, et al. Salt tolerance of *Hibiscus hamabo* seedlings: a candidate halophyte for reclamation areas [J]. Acta Physiological Plant, 2012, 34(5): 1747-1755.
- [19]杜尧东,李键陵,王华,等. 高温胁迫对水稻剑叶光合和叶绿素荧光特征的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2541-2548.