

# 内蒙古河套灌区油用向日葵高温胁迫的关键温度

孙向伟,高飞翔

(内蒙古巴彦淖尔市农业气象试验站,内蒙古临河 015000)

**摘要:**为了确定河套地区油用向日葵高温胁迫的关键温度,以防御或减轻高温对其影响,采用当地油用向日葵主栽品种进行试验,综合分析高温胁迫后叶绿素荧光参数、可溶性蛋白、可溶性糖及过氧化物酶POD的变化情况,确定其高温指标。结果表明:(1)高温胁迫后,36℃和39℃分别是大多数荧光参数值变化的转折温度;(2)39~40℃是向日葵叶片及花可溶性蛋白、可溶性糖及过氧化物酶POD活性进行自身调节的转折温度;(3)荧光参数在高温胁迫下变化更灵敏,综合分析各项指标表明,36℃和39℃是开展油用向日葵高温热害气象服务的关键温度。

**关键词:**高温胁迫;油用向日葵;关键温度;河套地区

中图分类号:S565.5

文献标志码:A

论文编号:casb16070110

## Critical Temperature of Oil Sunflower Under High Temperature Stress: In Hetao Irrigation District, Inner Mongolia

Sun Xiangwei, Gao Feixiang

(Experimental Station of Agricultural Meteorology in Bayannaoer City, Linhe Inner Mongolia 015000)

**Abstract:** The paper aims to determine the critical temperature of oil sunflower in Hetao area under high temperature stress, and to mitigate damages caused by temperature stress. The authors used main cultivars of oil sunflower in Hetao area as the materials in the experiment and analyzed the variation of chlorophyll II fluorescent parameter, soluble protein content, soluble sugar content and POD content, then determined the high temperature index of oil sunflower. The results showed that: (1) 36℃ and 39℃ were the turning points in most fluorescent parameters of oil sunflower under high temperature stress; (2) 39–40℃ was a turning point in self-regulating of soluble protein content, soluble sugar content and POD in leaf and flower; (3) the changes of fluorescence parameters under high temperature stress was more sensitive. In conclusion, 36℃ and 39℃ were the critical temperature points for requiring meteorological services aiming at mitigating high temperature damage on oil sunflower.

**Key words:** high temperature stress; oil sunflower; critical temperature; Hetao irrigation district

## 0 引言

向日葵(*Helianthus annuus* L.)是世界上仅次于大豆的第二大类经济作物<sup>[1]</sup>。内蒙古是当前中国最大的向日葵主产区,总产量占全国总产量的39%,位列全国首位<sup>[2]</sup>,其中河套地区是内蒙古重要的粮油基地,也是国内油葵的主要种植区之一<sup>[3-4]</sup>。近年来,在全球气候变暖的大背景下,极端高温天气发生日趋频繁,高温对作物

生长发育及产量形成的影响受到广大学者关注<sup>[5-6]</sup>。作物在营养生长阶段遇高温胁迫会影响其产量生产潜力,生殖生长阶段,尤其是花期受精期遭遇高温会导致配子畸形发育,影响受精过程,对开花授粉及产量影响更为严重。在河套地区,向日葵花期正值七八月份,气温回升较快,高温天气经常出现,致使花期授粉受到影响,使得产量和品质下降。

**基金项目:**公益性行业(气象)科研专项“河套灌区主要农作物农业气象预评估技术研究”(GYHY201206021)。

**第一作者简介:**孙向伟,女,1983年出生,内蒙古赤峰人,工程师,硕士,主要从事农业气象服务与科研。通信地址:015000 内蒙古巴彦淖尔市临河区气象局,E-mail:252047246@qq.com。

**收稿日期:**2016-08-25,修回日期:2016-12-22。

目前,关于向日葵的研究主要集中在栽培技术上以及盐碱、干旱、水分以及重金属胁迫的影响研究上<sup>[7-10]</sup>,高温胁迫特别是高温对向日葵影响的关键温度未见报道。轻度热害植物外部形态不易被观察,本研究针对油用向日葵进行了一系列高温胁迫试验,通过荧光参数、可溶性渗透调节物质等各项生理指标的综合分析,确定河套灌区油用向日葵高温热害关键温度,以期为河套灌区开展油用向日葵高温热害气象服务,指导农民朋友科学田间管理提供理论依据和数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间、地点

研究田间试验于2014年4—8月在内蒙古巴彦淖尔市农业气象试验站试验基地进行。

### 1.2 试验材料

采用内蒙古河套灌区有代表性的油用向日葵品种(‘T562’)进行试验。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 以15天为间隔分5期进行播种,以便错开花期开展重复试验。播种期分别为:4月5日、4月20日、5月5日、5月20日、6月4日。采用当地常规种植方式和大田管理方式,每个试验小区面积36 m<sup>2</sup> (9 m×4 m)。高温胁迫试验主要集中在向日葵的花期进行,共设置9个温度梯度分别为34、35、36、37、38、39、40、41、42℃。温控设施采用开顶式气室加上能正反转的电机及加热组件来实现。处理时间为2 h,4次重复,室外温度作为对照CK。

荧光参数的测定选择晴朗无风的上午9:00—11:00用LI-6400(Li-COR公司,美国)装配的6400-40荧光叶室进行测定叶片的光反应,光强设置与外界实际光强一致。于当天晚上9:00—10:00测定叶片同一部位的暗反应,每个处理分别选取4个植株,每个植株选择4个功能叶片进行测定。测定的指标有叶片初始荧光( $F_0$ )、最大荧光( $F_m$ )、PS II潜在光化学活性( $F_v/F_0$ )、光化学淬灭系数( $qP$ )、非光化学淬灭系数( $qN$ )。PS II实际光化学量子效率 $\Phi_{psII} = \Delta F/F_m' = (F_m' - F)/F_m'$ <sup>[11]</sup>,光合电子传递速率 $ETR = Yield \times PAR \times 0.5 \times 0.84$ ,其中 $PAR$ 是光合有效辐射<sup>[12]</sup>。

渗透调节物质可溶性蛋白含量、可溶性糖含量及过氧化物酶的测定。高温胁迫处理结束后0.5 h内,取其功能叶片及花器官组织于-70℃液氮中冷冻30 h,置于-50℃冰箱中保存,送往内蒙古农业大学农学院进行测定。

1.3.2 统计分析 数据分析整理及做图采用Excel软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 高温对油葵叶绿素荧光参数的影响

2.1.1 高温胁迫对 $F_0$ (初始荧光)的影响  $F_0$ 是光系统II(PS II)反应中心处于完全开放时的荧光产量,为初始荧光。 $F_0$ 的增加反映PS II反应中心出现了可逆失活或不可逆转的破坏,而且 $F_0$ 增加量越多,表明受损伤程度就愈加严重<sup>[13]</sup>。由图1可知,随着处理温度的升高,向日葵初始荧光 $F_0$ 先是上升然后下降。与对照相比,34℃及以上的高温处理,均对初始荧光 $F_0$ 产生了影响。本研究表明,36℃胁迫, $F_0$ 增加显著,表明36℃油用向日葵表现出严重受害的特征。此时PS II反应中心可能发生了不易逆转的破坏。

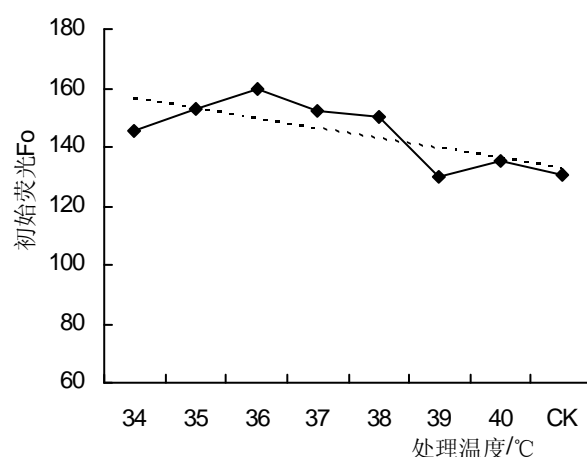


图1 高温胁迫对油用向日葵初始荧光 $F_0$ 的影响

2.1.2 高温胁迫对 $F_m$ (最大荧光)的影响  $F_m$ 为是光系统II(PS II)反应中心处于完全关闭时的荧光产量。随着胁迫温度的升高,向日葵最大荧光 $F_m$ 呈现先上升后下降的趋势。与对照相比,36℃胁迫时, $F_m$ 值明显增大,增加了30%,之后 $F_m$ 波动下降,39℃高温胁迫时达到最低。高于36℃时, $F_m$ 即出现不同程度的降低,

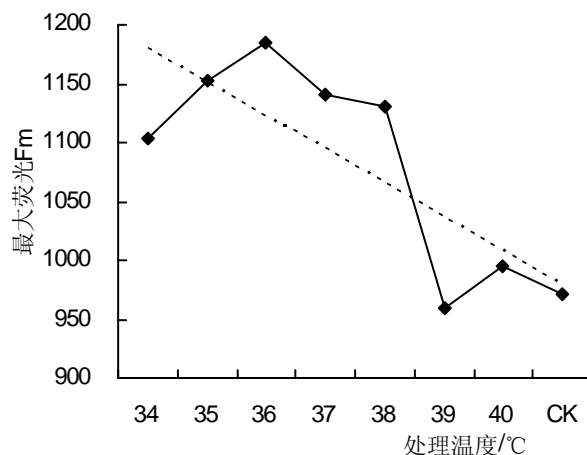


图2 高温胁迫对油用向日葵最大荧光 $F_m$ 的影响

说明叶片通过光合系统 II 的电子传递已受到阻抑。高于 36℃时,油用向日葵受到高温胁迫,使光合作用的电子传递受到影响,39℃高温胁迫时达到最低,说明叶片光系统 II 反应中心失活或破坏对叶片造成高温伤害。

2.1.3 高温胁迫对 PS II 潜在光化学活性(Fv/Fo)的影响 Fv/Fo代表 PS II 的潜在活性。由图 3 可知,随着胁迫温度的升高 Fv/Fo 呈波动下降的趋势。36℃胁迫下,其值迅速下降,表明 PS II 受到了伤害,光化学活性降低。40℃胁迫下,Fv/Fo 明显低于对照,表明 PS II 反应中心出现了不可逆失活。

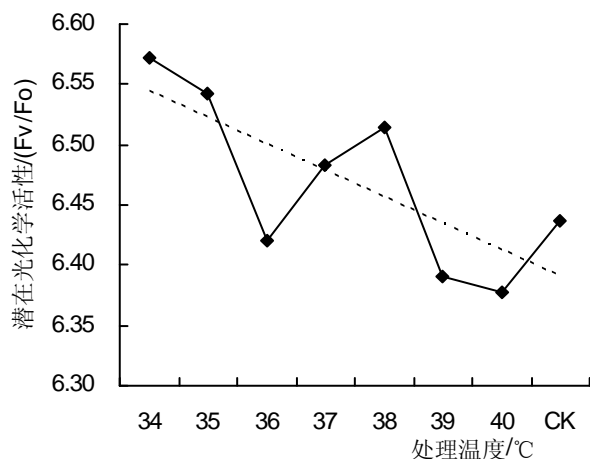


图3 高温胁迫对油用向日葵 Fv/Fo 的影响

2.1.4 高温胁迫对光化学猝灭(qP)和非光化学猝灭(qN)的影响 荧光猝灭分为光化学猝灭(qP)和非光化学猝灭(qN)2种。光化学猝灭系数 qP,反映的是 PS II 反应中心开放程度以及 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额<sup>[4]</sup>。从图 4 可以看到,光化学猝灭 qP 随着胁迫温度的升高呈现出波动下降的趋势,36℃时 qP 值降低幅度较小,表明 PS II 反应中心的开放比例有所下降。39℃胁迫时 qP 值降至最低,说明

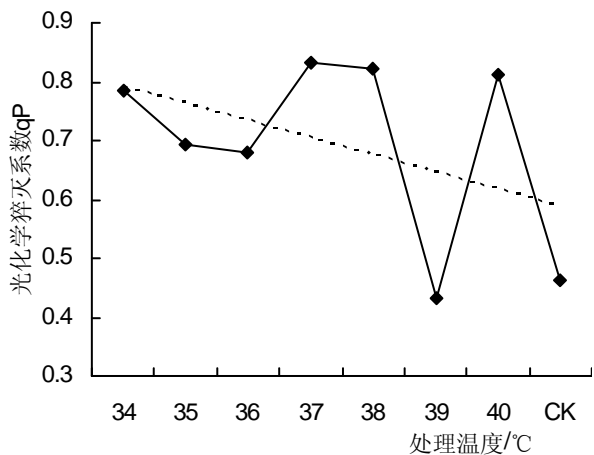


图4 高温胁迫对油用向日葵光化学猝灭 qP 的影响

此时 PS II 受体电子传递受到了严重影响。

qN是非光化学猝灭系数,反映的是 PS II 天线色素吸收的光能以热的形式耗散掉的那部分。从图 5 可以看到,非光化学猝灭 qN 呈现先降低后波动升高的趋势,34~36℃胁迫时,qN 值降低,表明 PS II 开放的反应中心比例减少,非辐射能量的耗散有所减少。之后又波动升高,接近对照 CK 的水平。表明高于 36℃高温胁迫热耗散受阻,超出了保护机制的能力保护范围。

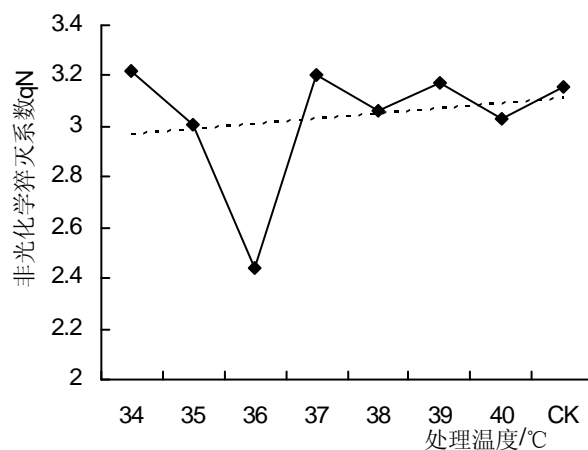


图5 高温胁迫对油用向日葵非光化学猝灭 qN 的影响

2.1.5 高温胁迫对 PS II 实际光化学量子效率 ΦPS II 的影响 ΦPS II 为实际光化学量子效率,值的大小表示在逆境条件下 PS II 反应中心的开放程度以及部分关闭时植物的光化学效率。由图 6 可知,随着胁迫温度的升高 ΦPS II 值呈波动下降趋势,不利于提高光能转化效率和光化学反应的进程。39℃时其值降到最低。表明高温胁迫导致酶钝化或光合器官活性降低,植物用来光合作用光化学电子传递量子额减少,导致光抑制或光破坏。

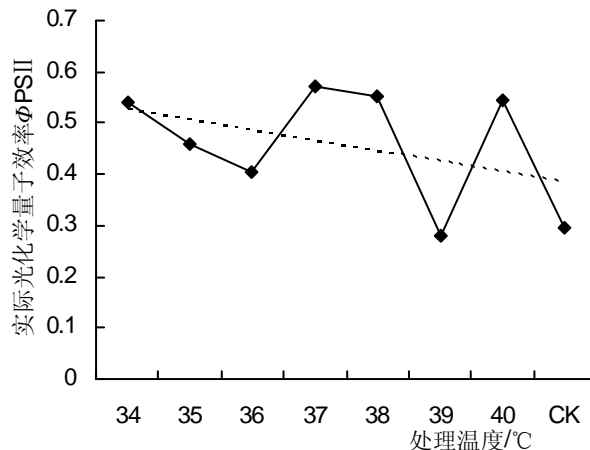


图6 高温胁迫对油用向日葵 PS II 实际量子效率 ΦPS II 影响

2.1.6 高温胁迫对光合电子传递速率(*ETR*)的影响 *ETR*表示光合电子传递速率,一般认为与植物净光合速率呈显著正相关<sup>[15]</sup>。是一个表征植物光合能高低的变量。从图7可以看出,*ETR*值随胁迫温度的升高呈波动下降的趋势,39℃高温下*ETR*急剧下降,说明电子传递受到了严重抑制。高温胁迫明显降低了向日葵叶片PS II反应中心的电子传递能力。

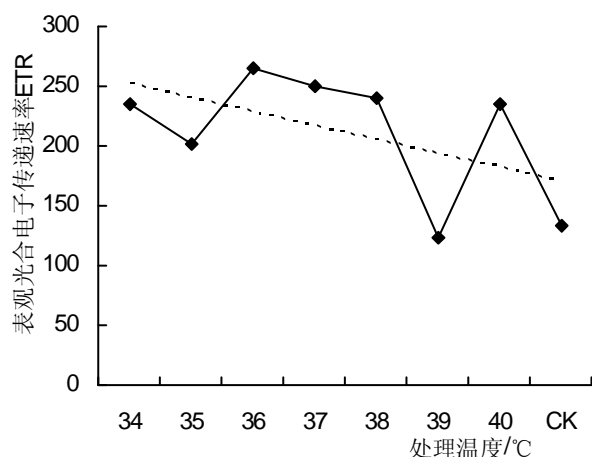


图7 高温胁迫对油用向日葵电子传递速率 *ETR*的影响

## 2.2 高温对油用向日葵可溶性物质积累的影响

2.2.1 可溶性蛋白含量 可溶性蛋白是一种重要的渗透调节物质。研究表明高温胁迫会诱导产生新的可溶性蛋白<sup>[16-17]</sup>,其含量上升可以增强细胞的持水力,防止细胞质脱水,从而缓解植物体受到高温胁迫的损伤。由图8可知,油葵叶片可溶性蛋白含量随着胁迫温度的升高表现出先升后降的趋势,40℃时其值达到最高,表明40℃是向日葵叶片渗透调节的关键温度;当高温胁迫环境低于40℃时,通过诱导产生了新的可溶性蛋白通过增加细胞内溶质来平衡渗透势减少高温对质膜的损伤,提高机体的抗逆性。高于40℃的高温胁迫,可溶性蛋白含量降低,植物体的渗透调节功能逐渐下降,因此40℃可视为向日葵叶片耐受高温的关键温度。向日葵花可溶性蛋白质含量呈波动变化趋势,但波动幅度不大。

2.2.2 可溶性糖含量 植物体内可溶性糖由光合作用产生,是植物体内一种重要的有机渗透调节物质,与植物耐热性密切相关。其含量的高低在某种程度上反映了植物体自身的代谢状况,由于多种逆境都会对植物产生水分胁迫,因此可溶性糖对维持体内水分平衡有重要意义。高温胁迫时,植物可以通过增加可溶性糖含量来增加细胞渗透压,以减少植物受到高温环境的伤害。由图9可知,向日葵花与叶片中的可溶性糖含量

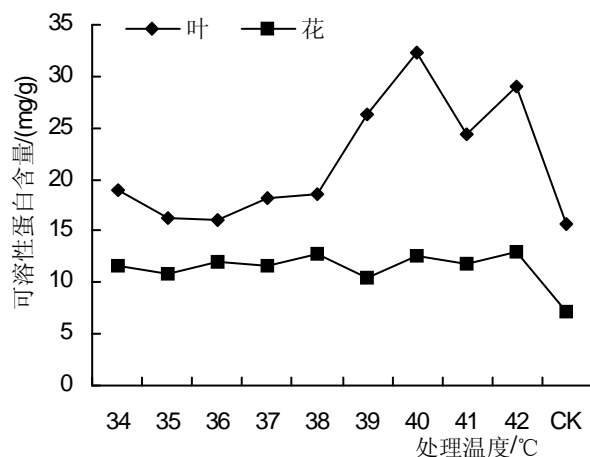


图8 高温胁迫对油用向日葵可溶性蛋白含量的影响

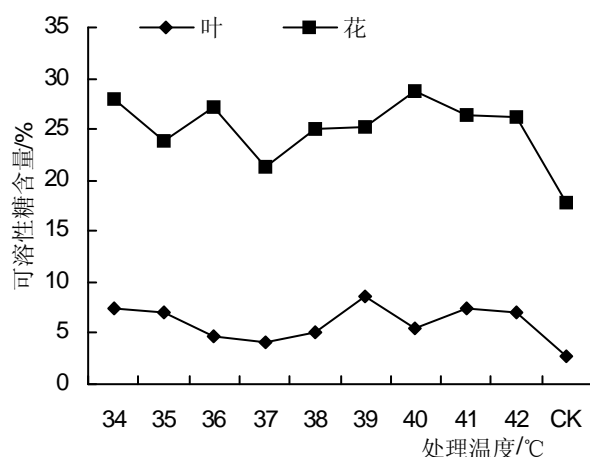


图9 高温胁迫对油用向日葵可溶性糖含量的影响

变化趋势律基本一致,均随着处理温度的升高呈波动变化。向日葵叶片可溶性糖含量在39℃处理时达到最高,之后波动下降。因此,39℃可视为向日葵叶片通过可溶性糖含量进行渗透调节抵抗高温胁迫的关键温度,随着处理温度的升高,向日葵花中的可溶性糖含量在40℃处理时达到最大值,之后波动下降,因此,40℃可视为向日葵花通过可溶性糖含量抵抗高温胁迫的关键温度。

## 2.3 高温对向日葵抗氧化保护酶过氧化物酶(POD)活性含量的影响

过氧化物酶(POD)是酶促防御系统的一种重要的膜保护酶,其功能是清除植物体内过量的活性氧,避免或减轻逆境中植物体受到氧化损伤。由图10可知,随着胁迫温度的升高,向日葵叶片POD活性先降低后提高,其活性在39℃处理时达到最高,之后波动降低,表明低于39℃,POD能有效清除自由基,减轻高温对叶片细胞的伤害。高于39℃时,产生大量活性氧钝化了POD活性,其自身调节机制逐渐减弱,叶片受到了高

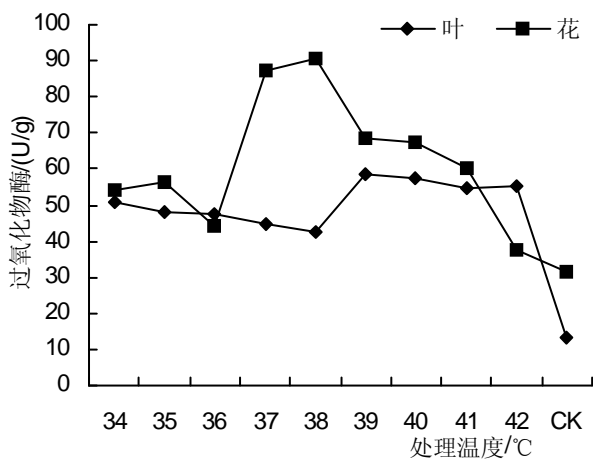


图10 高温胁迫对油用向日葵POD含量的影响

温伤害。向日葵花的POD活性随着胁迫温度的升高整体表现为先升高后降低趋势,38°C高温处理时其值达到最高值。

### 3 结论与讨论

温度通过强度、持续时间以及时空变化来影响作物的生长发育。每一种作物的生命过程中每个发育阶段都有其适宜的温度范围,过高、过低对作物的生长发育均会产生一定的影响。叶绿素荧光常被用于评价环境胁迫对光合机构的影响,亦被视为高温胁迫影响研究的重要手段<sup>[18-21]</sup>,因此叶绿素荧光亦常用来确定高温胁迫温度指标的指示器。本研究发现,随着胁迫温度的升高油用向日葵的  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $qP$ 、 $qN$ 、 $F_v/F_o$ 、 $\Phi PS II$ 、 $ETR$ 均有所下降,表明高温胁迫降低了 $\Phi PS II$ 潜在活性及光化学效率。这与王晨阳等<sup>[22]</sup>的研究结论较为一致。但是不同温度强度胁迫下,荧光参数值的变化幅度不同。正常情况下,植物吸收的光能大部分用于光化学反应,仅少部分以荧光或热的形式散失掉。但当植物受到胁迫时,光化学反应下降,叶绿素荧光的耗散将增加。因此,叶绿素荧光的变化可以反映植物受胁迫的反应情况<sup>[23]</sup>。

从本研究来看,36°C和39°C是大多数荧光参数变化的转折点。 $F_v/F_o$ 是PS II潜在的光化学活性,其值在40°C时明显低于对照。表明光合机构在40°C高温胁迫出现了不可逆失活。 $qN$ 是非光化学淬灭,它与ATP的形成、积累及光合膜的状态有关<sup>[24]</sup>。36°C胁迫下, $qN$ 值明显降低,36°C之后变化不大。表明在36°C胁迫下,PS II的潜在热耗散能力增强,高于36°C时热耗散受阻,超出了保护机制的能力保护范围,表现为 $qN$ 基本保持稳定,变化不明显,表明向日葵的正常生理功能受

到了伤害。向日葵叶片及花可溶性蛋白、可溶性糖及过氧化物酶POD活性进行自身调节的转折温度是39°C。向日葵花可溶性蛋白质含量在试验范围的温度胁迫下值变化不明显,表明在高温胁迫下,油用向日葵有一定的适应机制,胁迫温度较低时,可以通过渗透物质保护细胞免受损伤,但随着胁迫温度升高,其防御机制受损,进而影响正常的生理过程<sup>[1]</sup>。也可能说明花对于温度的变化反应迟钝,不如叶对温度变化敏感。从整个试验结果来看,高温胁迫下叶绿素荧光参数的变化迅速且灵敏。另外,向日葵生育后期高温与干旱常会相伴发生,因此高温对植物的伤害程度还与土壤水分状况密切相关,后续还需开展水温互作对向日葵光系统的影响研究。

### 参考文献

- [1] 郭富国,李素萍,张奇宝.内蒙古自治区向日葵产业化开发与发展建议[J].内蒙古农业科技,2004(S1):55-56.
- [2] 赵贵兴,钟鹏,陈霞,等.中国向日葵产业发展现状及对策[J].农业工程,2011,1(2):42-45.
- [3] 盖春英,马宝东.向日葵在巴盟地区的发展潜力[J].中国种业,2003(7):18.
- [4] 贾利欣,融晓萍.内蒙古向日葵生产现状及发展方向[J].内蒙古农业科技,2004(S1):53-55.
- [5] 张桂莲,廖斌,汤平,等.灌浆结实期高温对水稻剑叶生理特性和稻米品质的影响[J].中国农业气象,2014,35(6):650-655.
- [6] 谢小金,李秉柏,申双河,等.高温胁迫对扬稻6号剑叶生理特性的影响[J].中国农业气象,2009,30(1):84-87.
- [7] 王伟,于海峰,张永虎,等.盐胁迫对向日葵幼苗生长和生理特性的影响[J].华北农学报,2013,28(1):176-190.
- [8] 刘静,魏开发,高志晖,等.干旱胁迫下氮素营养与根信号在气孔运动调控中的协同作用[J].植物学通报,2008,25(1):34-40.
- [9] 孔东,史海滨,陈亚新,等.水分胁迫对向日葵幼苗生长发育的影响[J].灌溉排水学报,2004,23(5):32-35.
- [10] 郭艳丽,台培东,韩艳萍,等.隔胁迫对向日葵幼苗生长和生理特性的影响[J].环境工程学报,2009,3(12):2291-2296.
- [11] 杨华庚.高温胁迫对蝴蝶兰幼苗叶绿素及其荧光参数的影响[J].中国农学通报,2012,28(19):177-183.
- [12] 段仁燕,吴甘霖,王志高,等.不同水分处理下草莓叶绿素荧光参数的变化[J].光谱实验室,2011,28(4):1770-1773.
- [13] 刘海霞,王利军,李绍华,等.温度逆境交叉适应对葡萄叶绿素荧光特性的影响[J].内蒙古农业大学学报,2007,28(4):131-136.
- [14] 张红梅,金海军,丁小涛,等.高温胁迫对不同类型黄瓜幼苗叶绿素荧光特性的影响[J].上海农业学报,2012,28(1):11-16.
- [15] 杜尧东,李健陵,王华,等.高温胁迫对水稻剑叶光合和叶绿素荧光特性的影响[J].生态学杂志,2012,31(10):2541-2548.
- [16] 韩志平,郭世荣,尤秀娜,等.盐胁迫对西瓜幼苗活性氧代谢和渗透调节物质含量的影响[J].西北植物学报,2010,30(11):2210-2218.

- [17] 王海梅. 高温胁迫对河套灌区玉米生理指标及产量构成要素的影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 59-62.
- [18] 黄建, 冯耀祖, 刘易, 等. NaCl胁迫对蓖麻功能叶光系统II荧光特性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(7): 145-149.
- [19] 陈景玲, 宋晓明, 王谦, 等. 基于叶绿素荧光参数的栓皮栎叶片PSII失活高温指标[J]. 中国农业气象, 2013, 34(5): 563-568.
- [20] 王闯, 李中勇, 刘敏, 等. 不同浓度的硝酸盐对淹水条件下甜樱桃叶绿素荧光的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 142-146.
- [21] 张红梅, 金海军, 丁小涛, 等. 高温胁迫对不同类型黄瓜幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 上海农业学报, 2012, 28(1): 11-16.
- [22] 王晨阳, 何英, 郭天财, 等. 灌浆期高温胁迫对强筋小麦旗叶叶绿素a荧光参数的影响[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(6): 87-90.
- [23] 李德禄, 刘世增, 康才周, 等. 水分胁迫下云杉属两种植物荧光参数特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(6): 117-121.
- [24] 赵湘江, 王妍, 田昆. 清香木叶片光合荧光特性对土壤水分胁迫的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(1): 83-88.