

网络出版日期:2017-10-18

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20171018.1733.030.html

低温胁迫对大花三色堇和角堇光合作用与叶绿素荧光的影响

杜晓华, 齐阳阳, 李建飞, 刘会超

(河南科技学院 园艺园林学院, 河南新乡 453003)

摘要 旨在探讨低温对大花三色堇和角堇光合作用的影响,为大花三色堇和角堇的抗寒栽培及育种提供参考,以1个大花三色堇资源 HAR 和3个角堇资源 JB、E01、08H 为试材,采用人工模拟低温条件(-5℃ 8 h, -5℃ 16 h, -5℃ 24 h, -10℃ 7 h, -10℃ 14 h)对其进行低温处理,测定其光合及叶绿素荧光参数变化。结果表明,低温胁迫导致大花三色堇和角堇叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、PS II 的最大光化学效率(F_v/F_m)、光化学淬灭系数(q_p)和实际光化学效率(Φ_{PSII})下降,且随低温胁迫程度增加呈下降趋势,而胞间 CO_2 浓度(C_i)和初始荧光(F_0)、非光化学淬灭系数(q_N)则呈上升趋势,且变化幅度因基因型不同而存在差异。依据低温胁迫下各试材的光合和叶绿素荧光指标变化情况,角堇 E01 和 JB 耐寒性较强,其次为角堇 08H,大花三色堇 HAR 耐寒性较差。

关键词 三色堇;低温胁迫;光合速率;叶绿素荧光

中图分类号 S681.9

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)10-1499-08

中国北方地区秋冬季园林绿化花卉种类偏少,品种较为单一,缺乏丰富的花卉烘托元旦等节日气氛。大花三色堇(*Viola × wittrockiana*)和角堇(*Viola cornuta*)是堇菜科堇菜属 1 a 或 2 a 生花卉,该花卉品种繁多、色彩鲜艳、花期长、耐寒,素有“花坛皇后”的美誉^[1],目前在中国北方主要用作春季花坛花卉。探索低温胁迫对大花三色堇和角堇的生理影响,对其耐寒种质资源的筛选、品种选育和抗寒栽培等具有重要的指导意义。

光合作用是植物最重要的合成代谢途径之一,也是植物对低温最敏感的生理过程之一^[2]。光合和叶绿素荧光技术可无损、快捷测定低温对植物的胁迫效应,目前已在西瓜^[3]、番茄^[4]、茄子^[5]、甜椒^[6]、玉米^[7]、棉花^[8]、切花菊^[9]、草莓^[10]、杨梅^[11]、彩叶草^[12]等多种作物的低温逆境生理研究中得到应用。但有关低温胁迫对大花三色堇和角堇的光合和叶绿素荧光特性的影响目前鲜见报道。为此,本研究以4份大花三色堇和角堇种质资源为试材,采用叶绿素荧光技术结合光合作用系统,研究低温对大花三色堇和角堇的光合和叶绿素荧光参数的影响,以期了解其对低温的生理适应机制,为大花三色堇和角堇的引种、耐

寒种质资源筛选和品种选育及抗寒性栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试材为4份大花三色堇和角堇材料,其中大花三色堇 HAR 为荷兰 BUZZY 种子 Alpenglow 品种的自交选系;角堇 JB 为美国高美斯公司 Penny Blue 的自交选系;角堇 E01 为上海园林科学研究所的紫花白心品种的自交选系;角堇 08H 为荷兰 BUZZY 公司 Johnny jump up 的自交选系。种子由河南科技学院新乡市草花育种重点实验室提供。试验材料于2014年10月播种于200孔穴盘中,2~3片真叶后移栽于10 cm×10 cm 营养钵中,15~20℃培养。待苗长至7~10片叶时进行低温胁迫处理。

1.2 试验设计

选择长势基本一致、健壮无病虫害的植株,先在5℃下进行1周抗寒锻炼,然后进行低温胁迫处理。设5个低温胁迫处理:-5℃ 8 h(I), -5℃ 16 h(II), -5℃ 24 h(III), -10℃ 7 h(IV), -10℃ 14 h(V),以三色堇适宜生长温度

收稿日期:2016-11-16 修回日期:2016-12-12

基金项目:河南省科技攻关(152102110088)。

第一作者:杜晓华,男,博士,副教授,研究方向为观赏植物遗传育种。E-mail:duxiaohua0124@sina.com

(20 ℃)为对照(CK)。胁迫处理后,每株选取生长部位相同的叶片,分别测定叶片光合参数和叶绿素荧光参数,重复3次。

1.3 测定指标及方法

光合和叶绿素荧光参数测定采用雅欣 1611G 叶绿素荧光仪测定植株叶片的叶绿素荧光参数。暗适应 20 min 后,测定叶片的初始荧光 (F_0)、PS II 的最大光化学效率 (F_v/F_m)、PS II 实际光化学量子产量 (Φ_{PSII})、光化学猝灭系数 (q_p) 和非光化学猝灭系数 (q_N)。光化光强度为 $280 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 饱和脉冲光强为 $2500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 脉冲时间 1.0 s。

采用 Li-6400 便携式光合测定系统同步测定叶片净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 等,测定时光照强度为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO_2 摩尔分数为 $350 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

1.4 数据处理

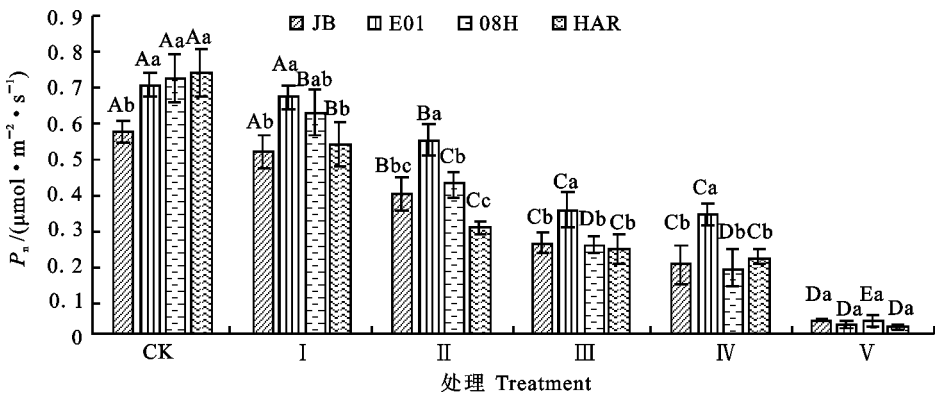
采用 DPS 3.01 软件分别进行同一材料不同胁迫条件和同一胁迫条件不同材料间的方差分析,利用 Duncan's 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对大花三色堇和角堇光合参数的影响

2.1.1 对大花三色堇和角堇净光合速率的影响

净光合速率是植物叶片在一定环境下光合能力的直观反映。从图 1 可知,低温胁迫导致大花三色堇和角堇叶片净光合速率下降。随着胁迫程度的增加, P_n 的下降幅度增大,且各试材 P_n 的降低幅度不同。I 处理条件下,与 CK 相比,大花三色堇 HAR 的 P_n 显著下降幅度最大,降低 36.4%;其次为角堇 08H (P_n 下降 13.4%),达显著水平;而角堇 JB 和 E01 的 P_n 未出现显著下降。在 II 处理条件下,4 份材料的 P_n 与对照相比均显著下降,其中大花三色堇 HAR 和角堇 08H、JB 和 E01 的 P_n 分别降低 59%、41.3%、30.9% 和 22.2%。III 与 IV 处理条件下结果相同, HAR、08H、JB、E01 的 P_n 与 CK 相比分别降低 67.8%、64.8%、55% 和 50%。V 处理条件下,4 份试验材料的 P_n 比对照降低 93%~96%。低温胁迫对 4 份三色堇试材的 P_n 的影响程度依次为: HAR > 08H > JB > E01。



不同大写字母表示同材料在不同低温处理间的差异显著水平 ($P < 0.05$); 小写字母表示同一低温处理内不同材料间的差异显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

Different uppercase letters represent significant difference among different treatments of the same accession ($P < 0.05$); Lowercase letters represent the significant difference among different accessions under same treatment. The same below.

图 1 低温胁迫下大花三色堇和角堇净光合速率的变化

Fig. 1 Changes of net photosynthetic rate of *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stree

2.1.2 对大花三色堇和角堇 T_r 和 G_s 的影响

如图 2 和图 3 所示,4 份材料的 T_r 和 G_s 随着低温胁迫程度的增加呈下降趋势。I 处理条件下,与对照相比,大花三色堇 HAR 的 T_r 和 G_s 分别下降 21% 和 15.7%,达显著水平;而角堇 08H、E01 和 JB 的 T_r 和 G_s 均无显著差异。II 处理条

件下,角堇 08H 的 T_r 和 G_s 比对照分别下降 28% 和 25.3%,差异达显著水平;角堇 E01 和 JB 的 T_r 与对照相比分别下降 32%、20%,差异达显著水平。III 处理条件下,4 份材料的 T_r 和 G_s 显著下降,除 E01 外,其他 3 份试材较 II 处理显著下降。IV 处理条件下,对大花三色堇和角堇 T_r 和

G_s 的影响与Ⅲ处理相近。Ⅴ处理条件下,与对照相比,角堇 JB、E01、08H 和大花三色堇 HAR 的 T_r 分别下降 97%、68%、91% 和 91%;大花三色堇 HAR 的 G_s 降低 91%,角堇 JB 的 G_s 降低

90%,且显著低于Ⅳ处理条件下。说明在低温胁迫下,大花三色堇和角堇叶片 G_s 下降,同时其 T_r 也相应下降。

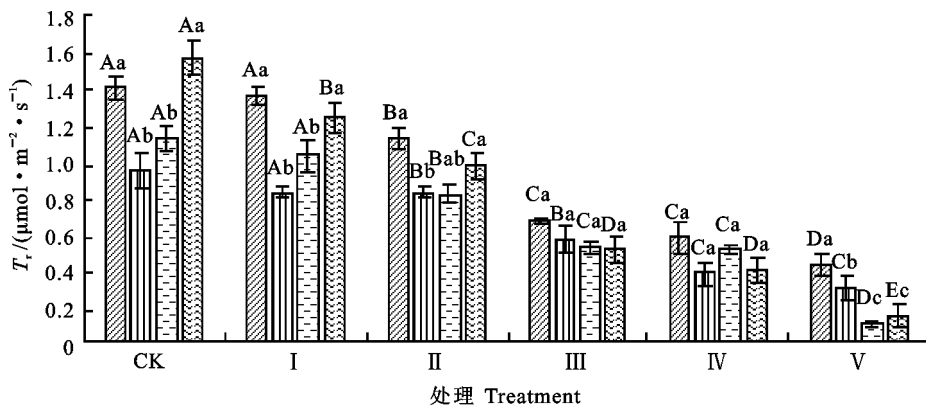


图 2 低温胁迫下大花三色堇和角堇 T_r 的变化

Fig. 2 Changes of T_r *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

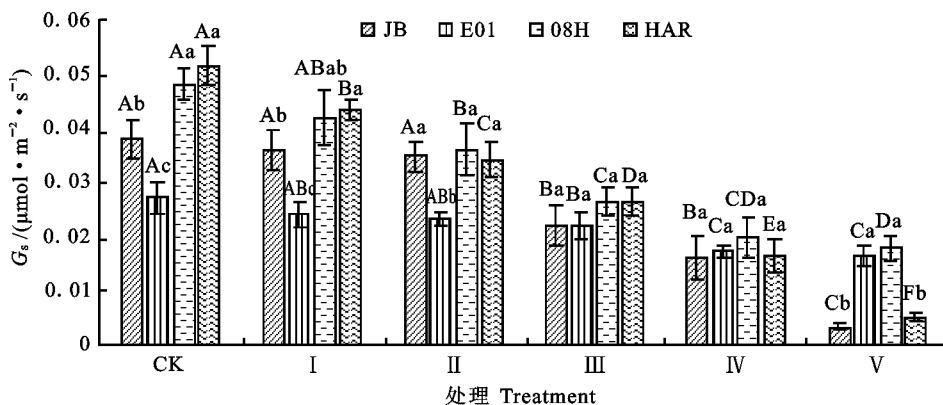


图 3 低温胁迫下大花三色堇和角堇 G_s 的变化

Fig. 3 Changes of G_s *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

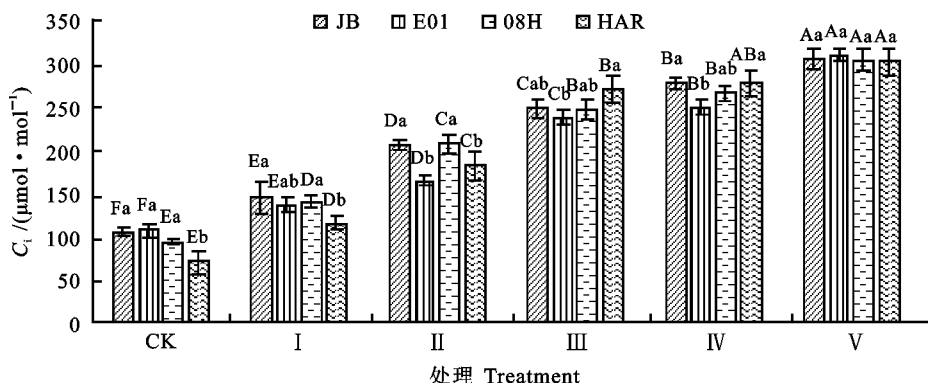


图 4 低温胁迫下大花三色堇和角堇 C_t 的变化

Fig. 4 Changes of C_t *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

2.1.3 对大花三色堇和角堇 C_t 的影响 由图 4 可知,在低温胁迫下,4 份材料叶片的 C_t 呈增加趋势。Ⅰ处理条件下,与对照相比,4 份三色堇材

料的 C_t 均无显著差异;Ⅱ处理条件下,与对照相比,大花三色堇 HAR 的 C_t 增加 21%,达显著水平,而角堇 08H、E01、JB 的 C_t 均未达显著水平;

Ⅲ处理条件下,角堇 08H、E01、JB 的 C_i 分别较对照增加 24%、20%、20%,差异达显著水平;Ⅳ处理条件与Ⅲ处理相比,3 份角堇的 C_i 无显著差异。Ⅴ处理条件下,与对照相比,HAR、08H、E01、JB 的 C_i 分别较对照增加 335%、227%、192%和 191%。

由图 3 和图 4 可知,大花三色堇和角堇在低温胁迫初期, G_s 下降时 C_i 无显著下降,说明此时 P_n 下降既有气孔因素也有非气孔因素;随着低温胁迫程度的增加, C_i 不降反升,说明胞间 CO_2 用于光合同化部分减少,光合系统受损, P_n 下降为非气孔因素所致。

2.2 低温胁迫对大花三色堇和角堇叶绿素荧光参数的影响

2.2.1 对叶片 F_0 和 F_v/F_m 的影响 F_0 是 PS II 反应中心处于完全开放时的荧光产量,逆境引起光合机构破坏可使其升高^[13]。 F_v/F_m 是 PS II 最大光化学量子产量,其值降低幅度可反映植物叶

片在逆境中受到的光抑制程度^[14]。由图 5 和图 6 可知,Ⅰ和Ⅱ处理条件下,4 份试验材料叶片的 F_v/F_m 和 F_0 值与对照相比均未出现显著下降。但Ⅲ或Ⅳ处理条件下,4 份材料叶片的 F_v/F_m 值与对照相比显著下降,表明此程度的低温胁迫已导致大花三色堇与角堇叶片的 PS II 光能转化效率下降,出现了明显地光抑制,但此时除大花三色堇 HAR 的 F_0 出现明显上升外,其余 3 份角堇材料的 F_0 未出现显著上升,说明后三者的光合机构未受到伤害。Ⅴ处理条件下,4 份试验材料的 F_v/F_m 下降幅度进一步加大,其中角堇 JB、E01、08H 和大花三色堇 HAR 的 F_v/F_m 值分别比对照分别下降 28.5%、48.2%、66.6%、64.5%, F_0 均出现显著上升,表明此时低温胁迫对三色堇叶片的光抑制程度进一步加剧,光合机构遭受破坏。大花三色堇 HAR 的 F_0 值上升明显, F_v/F_m 值下降幅度大于角堇,说明 HAR 的光合器官抗寒性较差。

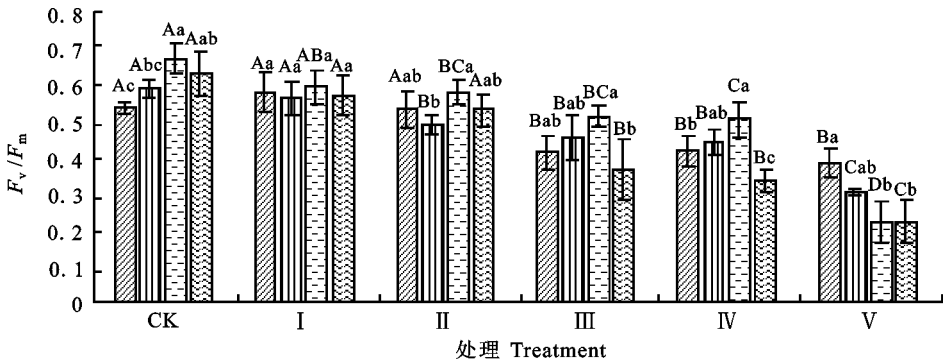


图 5 低温胁迫下大花三色堇和角堇叶片 F_v/F_m 的变化

Fig. 5 Changes of F_v/F_m *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

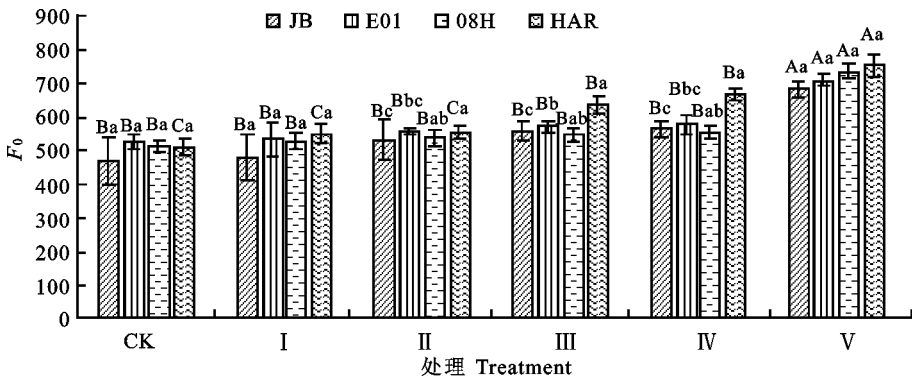


图 6 低温胁迫下大花三色堇和角堇 F_0 的变化

Fig. 6 Changes of F_0 *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

2.2.2 对大花三色堇和角堇 Φ_{PSII} 和 q_p 的影响 Φ_{PSII} 反映在照光条件下 PS II 反应中心部分关

闭时的实际原初光能捕获效率^[13]。 q_p 表示 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的比

率,一定程度上反映 PS II 反应中心的开放程度。 q_P 愈大,PS II 的电子传递活性愈大^[15]。从图 7 和图 8 可以看出,随低温胁迫程度加重,大花三色堇和角堇叶片的 Φ_{PSII} 和 q_P 呈下降趋势,不同试验材料间存在一定差异。I 处理条件下,与对照相比,4 份试材的 Φ_{PSII} 和 q_P 未出现显著差异。II 处理条件下,与对照相比,大花三色堇 HAR 的 Φ_{PSII} 和 q_P 分别下降 18% 和 38%,差异达显著水平。III 处理条件时,与对照相比,角堇 08H、E01 和 JB

的 Φ_{PSII} 和 q_P 在显著下降。V 处理条件下,大花三色堇 HAR 和角堇 08H、E01、JB 的 Φ_{PSII} 显著低于对照和 III 处理条件下,与对照相比,分别降低 65%、55%、41%和 53%; q_P 与对照相比,分别降低 57%、55%、44%和 46%。表明低温胁迫导致大花三色堇和角堇光合电子传递效率显著下降,且胁迫程度越高,下降幅度越大,其中大花三色堇 HAR 下降最大,角堇 08H 次之,E01 下降最小。

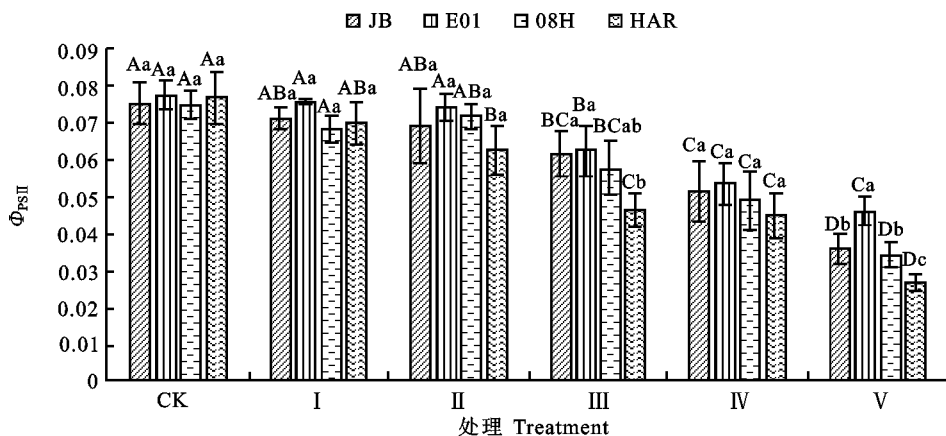


图 7 低温胁迫下大花三色堇和角堇 Φ_{PSII} 的变化

Fig. 7 Changes of Φ_{PSII} *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

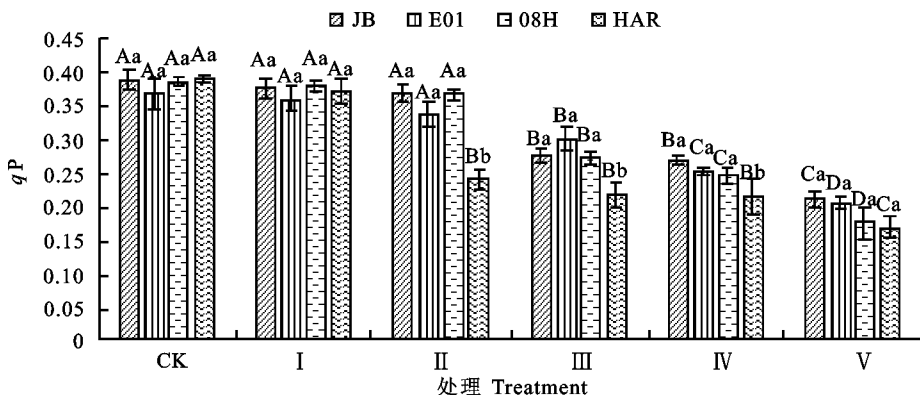


图 8 低温胁迫下大花三色堇和角堇 q_P 的变化

Fig. 8 Changes of q_P *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

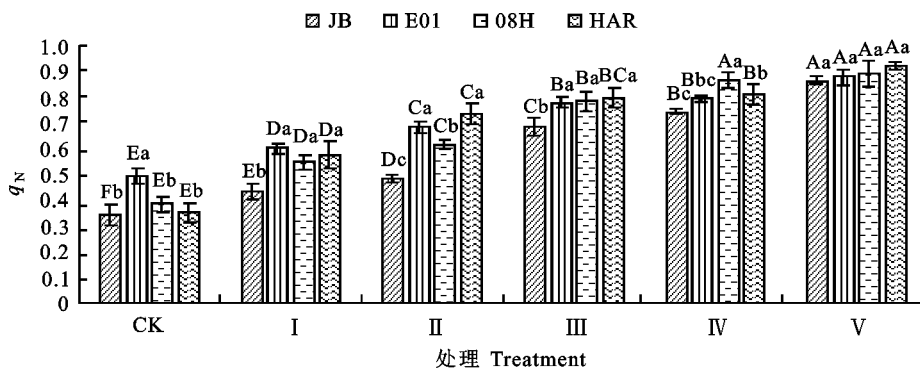


图 9 低温胁迫下大花三色堇和角堇 q_N 的变化

Fig. 9 Changes of q_N *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* under low temperature stress

2.2.3 对大花三色堇和角堇 q_N 的影响 q_N 是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热能形式耗散掉的部分,是植物的一种自我保护机制^[13]。由图 9 可知,与对照相比,各低温胁迫处理下 4 份材料叶片的 q_N 均出现上升,说明低温胁迫导致光抑制时,其启动了热耗功能,以避免因吸收过多光能造成伤害。随着低温胁迫程度增加,各试验材料的 q_N 上升幅度也不断增加,表明随着低温胁迫造成的光抑制加重,热耗散也在增加。低温胁迫下,不同材料间 q_N 的增加幅度存在一定差异。V 处理条件下,大花三色堇 HAR 和角堇 08H、E01、JB 的 q_N 分别较对照增加 164%、132%、78% 和 154%。

3 讨论

关于堇菜属植物的耐寒性研究,罗玉兰等^[16]曾研究了上海自然低温对‘紫花地丁’与荷兰引进的三色堇的一些生理指标(电导率、含糖量、花青素含量)的影响,但该研究采用自然低温,无法考察三色堇所能承受的具体低温范围。本研究采用人工模拟低温,以中国北方新乡市冬季气温(1 月份平均气温 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[17])为参考,并根据冬季气温的日变化情况,设置不同的低温胁迫时间,采用的叶绿素荧光技术结合光合作用系统,开展了堇菜属重要的观赏植物大花三色堇和角堇的耐寒性研究,对抗寒栽培与育种实践具有重要参考价值。

低温对光合作用影响最明显的就是 P_n 的下降, Farquhar 等^[18]研究认为,低温导致光合速率下降的因素既有气孔因素也有非气孔因素。如果 P_n 和 G_s 同时下降, C_i 也相应下降,即气孔因素限制占主导^[3];如果 G_s 下降的同时 C_i 升高,则是由于非气孔因素阻碍了 CO_2 的利用,造成 C_i 的积累所致^[4,6,9]。本试验中,在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 24 h 或 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 7 h,大花三色堇和角堇叶片的 P_n 和 G_s 下降的同时, C_i 呈上升趋势,说明此时大花三色堇和角堇叶片 P_n 下降不是由气孔导度下降使 CO_2 供应减少所致,而是由于非气孔因素(如光化学活性限制、RuBP 羧化限制和无机磷限制)阻碍 CO_2 利用,造成细胞间隙 CO_2 积累所致^[19]。在低温胁迫程度较轻时($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 8 h 或 16 h 以下), C_i 未出现明显下降或上升,说明此时 P_n 下降既有气孔因素也有非气孔因素。

对于由非气孔因素所导致的 P_n 下降,

F_v/F_m 降低表明植物受到光抑制,初始荧光 F_0 的升高则表明 PS II 失活或被破坏^[13]。本研究结果表明, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 8 h 或 16 h,大花三色堇和角堇叶片 F_v/F_m 未出现明显下降,说明没有产生光抑制;而 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 24 h 或 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 7 h,三色堇叶片出现光抑制,但 F_0 未出现显著上升;而当 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 14 h,三色堇 F_0 出现显著上升,说明光合机构已受到低温破坏。关于 F_v/F_m 下降的原因,由于低温对碳同化的影响远比其他光合过程的影响要大得多^[2],因此可能是低温胁迫下 Rubisco、Rubisco 活化酶等活性下降导致叶片同化 CO_2 的能力下降,引起卡尔文循环中对 ATP 和 NADPH 的需求量下降,反馈抑制了 PS II 电子传递^[6]。本试验中,当低温胁迫程度较重($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理 24 h 或 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 胁迫 7 h 以上),大花三色堇和角堇的 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的比率(q_P)和 PS II 反应中心电子传递的量子产额(Φ_{PSII})均明显下降,说明低温对 PS II 产生了抑制或破坏。 Φ_{PSII} 下降可能与 QA→QB 的电子传递过程受到抑制有关^[2]。此外,低温也降低了类囊体膜流动性,进而影响位于类囊体膜上的电子传递链和光合磷酸化过程的组分如 PS I、PS II、细胞色素 b6 f 复合体、ATP 合酶等^[2],造成 Φ_{PSII} 下降。也有研究表明,冷敏感植物如甜椒等在低温弱光下光合下降的主要原因是 PS I 发生光抑制^[20-21]。对于大花三色堇和角堇光合下降的主要原因是 PS I 还是 PS II 受抑制,本试验还缺乏数据进行说明。低温胁迫下三色堇 q_P 值下降, q_N 上升,反映了 PS II 天线色素吸收的光能不能完全用于光化学电子传递,而借助叶黄素循环以热形式耗散掉^[2,21]。且随着低温胁迫程度加深, q_N 趋于升高,说明当光抑制增加时,非化学能量耗散加强,说明 q_N 的升高是植物抵御过量光能进行自我保护的一种重要机制^[11-12]。从不同低温条件对 4 份大花三色堇和角堇试材光合和叶绿素荧光参数的影响来看,大花三色堇 HAR 的耐寒性最差,而角堇 E01 和 JB 的抗寒性较强,这与通过细胞膜透性指标得出结论基本一致^[22]。

参考文献 Reference:

- [1] 张其生,包满珠,卢兴霞,等.大花三色堇育种研究进展[J].植物学报,2010,45(1):128-133.
ZHANG Q SH, BAO M ZH, LU X X, et al. Research ad-

- vances in breeding of pansy(*Viola × wittrockiana*)[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2010, 45(1): 128-133 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陶宏征, 赵昶灵, 李唯奇. 植物对低温的光合响应[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2012, 28(6): 501-508.
TAO H ZH, ZHAO CH L, LI W Q. Photosynthetic response to low temperature in plant[J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2012, 28(6): 501-508 (in Chinese with English abstract).
- [3] 侯伟, 孙爱花, 杨福孙, 等. 低温胁迫对西瓜幼苗光合作用与叶绿素荧光特性的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(13): 35-39.
HOU W, SUN A H, YANG F S, *et al.* Effects of low temperature stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in watermelon seedlings[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(13): 35-39 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王丽娟, 李天来, 李国强, 等. 夜间低温对番茄幼苗光合作用的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 757-761.
WANG L J, LI T L, LI G Q, *et al.* Effects of low night temperature on photosynthesis of tomato seedlings[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(4): 757-761 (in Chinese with English abstract).
- [5] 郁继华, 舒英杰, 吕军芬, 等. 低温弱光对茄子幼苗光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 831-836.
YU J H, SHU Y J, LÜ J F, *et al.* Influences of low temperature and poor light on photosynthetic characteristics in eggplant seedlings[J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2004, 24(5): 831-836 (in Chinese with English abstract).
- [6] 睦晓蕾, 毛胜利, 王立浩, 等. 低温对弱光影响甜椒光合作用的胁迫效应[J]. 核农学报, 2008, 22(6): 880-886.
SUI X L, MAO Sh L, WANG Li H, *et al.* Effects of low temperature on photosynthesis of sweet pepper under low light[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(6): 880-886 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈梅, 唐运来. 低温胁迫对玉米幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2012, 33(3): 20-24.
CHEN M, TANG Y L. Effects of low temperature stress on chlorophyll fluorescence characteristics of com seedlings[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2012, 33(3): 20-24 (in Chinese with English abstract).
- [8] 武辉, 戴海芳, 张巨松, 等. 棉花幼苗叶片光合特性对低温胁迫及恢复处理的响应[J]. 植物生态学报, 2014, 38(10): 1124-1134.
WU H, DAI H F, ZHANG J S, *et al.* Responses of photosynthetic characteristics to low temperature stress and recovery treatment in cotton seedling leaves[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 38(10): 1124-1134 (in Chinese with English abstract).
- [9] 梁芳, 郑成淑, 孙宪芝, 等. 低温弱光胁迫及恢复对切花菊光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 29-35.
LIANG F, ZHENG CH SH, SUN X ZH, *et al.* Effects of low temperature and weak light stress and its recovery on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of cut flower chrysanthemum[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(1): 29-35 (in Chinese with English abstract).
- [10] 郑毅. 温度胁迫对草莓叶片光合作用的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2005.
ZHENG Y. Effect of temperature stress on photosynthesis in strawberry leaves [D]. Hefei: Anhui Agriculture University, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [11] 邵毅, 徐凯. 温度胁迫对杨梅叶片光合作用的影响[D]. 杭州: 浙江林学院, 林业与生物技术学院, 2009.
SHAO Y. Effect of Temperature stress on photosynthesis in *Myrica rubra* leaves[D]. Hangzhou: Zhejiang Forestry University, School of forestry and biotechnology, 2009. (in Chinese with English abstract).
- [12] 王兆. 低温胁迫对彩叶草的生理效应及抗寒性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
WANG ZH. Physiological responses to chilling stress in *Solenostemon scutellarioides* and its inductive research [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [13] 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): 444-448.
ZHANG SH R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448 (in Chinese with English abstract).
- [14] 陈建明, 俞晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 浙江农业学报, 2006, 8(1): 51-55.
CHEN J M, YU X P, CHENG J A. The application of chlorophyll fluorescence kinetics in the study of physiological responses of plants to environmental stresses[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2006, 8(1): 51-55 (in Chinese with English abstract).
- [15] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186-2196.
LI X, FENG W, ZENG X CH. Advances in chlorophyll fluorescence analysis and its uses[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(10): 2186-2196 (in Chinese with English abstract).
- [16] 罗玉兰, 陆亮, 王泰哲. 本地和荷兰三色堇抗寒性的比较(简报)[J]. 植物生理学报, 2001, 37(1): 27-28.
LUO Y L, LU L, WANG T ZH. Comparison on chilling resistance between local pansy and holland pansy [J]. *Plant Physiology Journal*, 2001, 37(1): 27-28 (in Chinese with English abstract).

- [17] 中国天气. 2015-01-01/2015-01-31 [EB/OL]. <http://www.weather.com.cn/weather1d/101180301.shtml>.
The weather in China. 2015-01-01/2015-01-31[EB/OL]. <http://www.weather.com.cn/weather1d/101180301.shtml>(in Chinese)
- [18] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33(1): 74-79.
- [19] 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.
- [20] LI X G, BI Y P, ZHAO S J, *et al.* The susceptibility of cucumber and sweet pepper to chilling under low irradiance is related to energy dissipation and water-water cycle[J]. *Photosynthetica*, 2003, 41(2): 259-265.
- [21] MÜLLER P, LI X P, NIYOGI K K. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy [J]. *Plant Physiology*, 2001, 125(4): 1558-1566.
- [22] 齐阳阳, 杜晓华, 王梦叶, 等. 大花三色堇和角堇对低温胁迫的生理响应及其抗寒性研究[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(15): 115-118.
- QI Y Y, DU X H, WANG M Y, *et al.* Physiological response and cold resistant of *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta* to low temperature [J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2017, 45(15): 115-118 (in Chinese with English abstract).

Effect of Low Temperature Stress on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence of *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta*

DU Xiaohua, QI Yangyang, LI Jianfei and LIU Huichao

(School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang Henan 453003, China)

Abstract In order to understand effects of low temperature on photosynthesis of *Viola × wittrockiana* and *Viola cornuta*, and provide reference for cultivation and breeding under environment of low temperature, an experiment was conducted with a *Viola × wittrockiana* germplasm, named HAR, and three *Viola cornuta* germplasm, named JB, E01 and 08H. The photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters of 4 pansies were measured after the plants treated under five low temperature conditions, namely, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 8 h, 16 h and 24 h, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 7 h and 14 h. The results showed that under low temperature stress, the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r), F_v/F_m , photochemical quenching coefficient (q_p) and actual photochemistry (Φ_{PSII}) of pansies decreased with the increase of low temperature stress, while the intercellular CO_2 concentration (C_i), initial fluorescence (F_0) and non-photochemical quenching coefficient (q_N) increased. The degree of change was different among four genotypes. According to changes of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters of the tested materials, we found that E01 and JB had stronger cold tolerance, the next one was 08H, while the cold tolerance of HAR was poor relatively.

Key words *Viola × wittrockiana*; Low temperature stress; Photosynthetic rate; Chlorophyll fluorescence

Received 2016-11-16 **Returned** 2016-12-12

Foundation item Science and Technology in Henan Province (No. 152102110088).

First author DU Xiaohua, male, Ph. D, associate professor. Research area: genetics and breeding of ornamental plants. E-mail: duxiaohua0124@sina.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)