

低温胁迫对 2 个茶树品种叶片叶绿素荧光特性的影响

李庆会, 徐 辉, 周 琳, 王明乐, 朱旭君, 房婉萍^①

(南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 以茶树[*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.]品种‘黄金芽’(‘Huangjinya’)和‘迎霜’(‘Yingshuang’)为实验材料,研究了 4 ℃低温胁迫 1、2、4 和 6 d 对茶树叶片叶绿素荧光特性的影响。结果表明: 4 ℃低温胁迫条件下 2 个茶树品种叶片的 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 潜在活性(F_v/F_0)和表观光合电子传递速率(ETR)均显著低于各自的对照(25 ℃),且总体上随胁迫时间延长逐渐下降;‘黄金芽’叶片的光化学淬灭系数(qP)随低温胁迫时间延长持续下降且低于其对照,而‘迎霜’叶片的 qP 较其对照的变幅较小,且 2 个品种的 qP 总体上与各自的对照无显著差异;随低温胁迫时间延长,2 个品种叶片的非光化学淬灭系数(NPQ)均先升高后降低,并在胁迫 2 d 时达到最高,且总体上高于各自的对照;而 2 个品种叶片的光合功能相对限制值(L_{PFD})均随低温胁迫时间延长而增大,且大多高于各自的对照。与各自的对照相比,低温胁迫条件下‘迎霜’叶片的各项叶绿素荧光参数的变幅总体上低于‘黄金芽’。研究结果显示:低温胁迫可直接损伤茶树叶片的 PS II 反应中心,致使过剩的激发能大量积累于 PS II 反应中心,最终导致茶树光合作用能力减弱。根据叶绿素荧光参数的比较结果,可以初步判定品种‘迎霜’的耐寒性优于品种‘黄金芽’。

关键词: 茶树; 低温胁迫; 叶绿素荧光参数; 光合作用; 耐寒性

中图分类号: S571.1; Q523 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)02-0026-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.02.04

Effect of low temperature stress on chlorophyll fluorescence characteristics in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* LI Qinghui, XU Hui, ZHOU Lin, WANG Mingle, ZHU Xujun, FANG Wanping^① (College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(2): 26-31

Abstract: Taking cultivars of ‘Huangjinya’ and ‘Yingshuang’ of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. as experimental materials, effects of 4 ℃ low temperature stress for 1, 2, 4 and 6 d on chlorophyll fluorescence characteristics in leaf of *C. sinensis* were researched. The results show that under 4 ℃ low temperature stress condition, PS II maximal photochemical efficiency (F_v/F_m), PS II potential activity (F_v/F_0) and apparent photosynthetic electron transport rate (ETR) in leaf of two cultivars of *C. sinensis* all are significantly lower than those of their respective control (25 ℃) and generally decrease gradually with prolonging of stress time. Photochemical quenching coefficient (qP) in leaf of ‘Huangjinya’ decreases gradually with prolonging of low temperature stress time and is lower than that of its control, while that of ‘Yingshuang’ has small change range to its control, and overall, there is no significant difference between qP of two cultivars and their respective control. With prolonging of low temperature stress time, non-photochemical quenching coefficient (NPQ) in leaf of two cultivars both increase firstly and then decrease and reach the highest when stress for 2 d, and generally are higher than that of their respective control. While, relative limit of photosynthesis (L_{PFD}) in leaf of two cultivars both increase with prolonging of low temperature stress time and mostly are higher than that of their respective control. Compared with their respective control, change ranges of chlorophyll fluorescence parameters in leaf of ‘Yingshuang’ are generally lower than those of ‘Huangjinya’ under low temperature stress condition. It

收稿日期: 2014-12-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31370688; 31400584); 江苏省基础研究计划项目(BK20140714); 南京市科技计划项目(2013 创基 066)

作者简介: 李庆会(1990—),女,山东单县人,硕士研究生,主要从事茶树种质资源与分子育种方面的研究。

^①通信作者 E-mail: fangwp@njau.edu.cn

is suggested that low temperature stress can directly damage PS II reaction center in leaf of *C. sinensis*, cause excess excitation energy to accumulate largely in PS II reaction center, eventually lead to weaken of photosynthetic capacity of *C. sinensis*. According to comparison result of chlorophyll fluorescence parameters, it can be preliminary judgment that cold resistance of cultivar 'Yingshuang' is better than that of cultivar 'Huangjinya'.

Key words: *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.; low temperature stress; chlorophyll fluorescence parameter; photosynthesis; cold resistance

低温胁迫是植物栽培过程中经常遭受的自然灾害之一,也是影响植物区域性分布和季节性生长的一个主要因素。低温胁迫可抑制植物生长,甚至造成植株死亡,使植物生产遭受重大损失^[1]。光合器官是植物的冷敏感部位,低温可直接影响植物光合系统的性能和活性^[2],因此,可以通过测定植物光合作用相关指标来判断植物的抗寒性^[3]。叶绿素荧光参数是植物对逆境胁迫响应的较灵敏指标,而采用叶绿素荧光分析技术可以方便快捷地研究植物光合生理状况,是研究植物与逆境胁迫关系的手段之一^[4]。

茶树[*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.]为山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia* Linn.)植物,易受冻害和冷害。目前关于茶树寒害的研究主要涉及质膜透性、保护酶活性、叶绿素含量和膜脂过氧化指标等生理生化方面^[1,5-7]以及分子生物学方面^[8-9],而关于低温对茶树光合作用影响的研究报道尚不多见^[10]。

为了明确低温对茶树光合作用的影响机制,作者应用叶绿素荧光技术对4℃低温胁迫下2个茶树品种叶片叶绿素荧光特性的变化进行了初步分析,以期探讨低温条件下不同品种茶树光化学效率及光合作用的差异,为研究茶树低温逆境的响应机制及其耐低温遗传资源的选育及利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

供试茶树品种'黄金芽'('Huangjinya')和'迎霜'('Yingshuang')的1年生幼树均由南京农业大学园艺学院茶叶研究所提供。其中,'黄金芽'为黄色变异芽叶新品种,芽叶金黄色、耐寒性较弱;'迎霜'为国家级茶树良种,芽叶黄绿色、持嫩性强、产量高、抗寒性较强^[11]。

1.2 方法

1.2.1 低温处理方法 于2013年3月25日,选择长势、大小较一致的植株移入塑料盆(盆高35 cm、上口

径30 cm)中,每盆3株,每个品种4盆。将供试植株置于RXZ-500D智能人工气候箱(宁波江南仪器厂)中,于光照时间12 h·d⁻¹、昼温25℃、夜温20℃、光照强度200 μmol·m⁻²·s⁻¹、空气相对湿度75%~80%的条件下进行培养。培养1周后,随机选取6株样株,于9:00至11:00测定其顶端向下第4枚叶片的叶绿素荧光参数并将该组数据作为对照(CK);标记叶片后,将培养温度调至4℃,其余培养条件不变,在此温度下继续培养,并在培养1、2、4和6 d的9:00至11:00分别测定标记叶片的叶绿素荧光参数。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定 使用PAM-2100便携式调制叶绿素荧光仪(德国Walz公司)、按照马瑞娟等^[12]的方法设置光照强度并测定各叶绿素荧光参数。测定前将叶片暗适应30 min以上,在光照强度0.2 μmol·m⁻²·s⁻¹条件下测定初始荧光(F_0);用8 000 μmol·m⁻²·s⁻¹饱和脉冲光照射0.8 s后测定最大荧光(F_m)、给定光强下的稳态荧光(F_s)、光化学淬灭系数(qP)和表观光合电子传递速率(ETR);打开测量光和光化光,每隔30 s照射1次饱和脉冲光,测定光下最大荧光(F_m')。根据上述检测指标计算可变荧光(F_v)、PS II最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II潜在活性(F_v/F_0)、非光化学淬灭系数(NPQ)和光合功能相对限制值(L_{PFD}),其中, $F_v = F_m - F_0$, $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$, $L_{PFD} = 1 - [qP \times (F_m' - F_s)/F_m']/0.83$ 。

1.3 数据统计及分析

采用EXCEL 2003和SAS 18.0软件对所有实验数据进行统计和分析。

2 结果和分析

2.1 低温胁迫对茶树叶片PS II最大光化学效率(F_v/F_m)的影响

实验结果(表1)表明:4℃低温胁迫条件下,茶树品种'黄金芽'和'迎霜'幼树叶片的PS II最大光化学效率均显著低于对照(25℃),并随胁迫时间的延长

呈现持续下降的趋势。但是,低温胁迫1和2 d时‘黄金芽’叶片的 F_v/F_m 无显著差异,低温胁迫4和6 d时其 F_v/F_m 也无显著差异;而低温胁迫1、2、4和6 d时‘迎霜’叶片的 F_v/F_m 均有显著差异。

由表1还可见:常温(25℃)和低温条件下‘迎霜’叶片的 F_v/F_m 均高于‘黄金芽’。与各自的对照相比,4℃低温胁迫1、2、4和6 d‘迎霜’叶片 F_v/F_m 的下降幅度均明显低于‘黄金芽’。低温胁迫6 d时‘黄金芽’和‘迎霜’叶片的 F_v/F_m 分别较各自的对照降低38.21%和21.63%。

综上所述,4℃低温胁迫对茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’幼树叶片的PS II反应中心均有不同程度的光抑制作用;并且,与品种‘迎霜’相比,品种‘黄金芽’受到的光抑制作用更严重。

表1 低温(4℃)胁迫对2个茶树品种叶片PS II最大光化学效率(F_v/F_m)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾
Table 1 Effect of cold stress (4℃) on PS II maximal photochemical efficiency (F_v/F_m) in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	培养时间/d Culture time	不同品种的 F_v/F_m F_v/F_m of different cultivars	
		黄金芽 Huangjinya	迎霜 Yingshuang
25 (CK)	7	0.827±0.002a	0.832±0.001a
4	1	0.655±0.008b	0.781±0.002b
4	2	0.634±0.021b	0.757±0.003c
4	4	0.558±0.018c	0.722±0.003d
4	6	0.511±0.041c	0.652±0.013e

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.2 低温胁迫对茶树叶片PS II潜在活性(F_v/F_0)的影响

由实验结果(表2)可见:4℃低温胁迫条件下,茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’叶片的 F_v/F_0 均显著低于对照(25℃),且随胁迫时间的延长2个品种的 F_v/F_0 大体呈持续下降的趋势。低温胁迫1 d‘黄金芽’叶片的 F_v/F_0 值显著高于其他时间段,而低温胁迫2、4和6 d‘黄金芽’叶片的 F_v/F_0 差异不显著;低温胁迫1、2和6 d‘迎霜’叶片的 F_v/F_0 也无显著差异,但胁迫4 d时其 F_v/F_0 值则显著低于其他时间段。

由表2还可见:常温(25℃)和低温条件下‘迎霜’叶片的 F_v/F_0 均高于‘黄金芽’。与各自的对照相比,低温胁迫1、2、4和6 d‘迎霜’叶片 F_v/F_0 的下降幅度均明显低于‘黄金芽’。低温胁迫6 d时‘黄金

芽’和‘迎霜’叶片的 F_v/F_0 分别较各自的对照降低70.80%和32.31%。

综上所述,4℃低温胁迫条件下,茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’幼树叶片的PS II反应中心受到明显伤害,且品种‘黄金芽’的受伤害程度较品种‘迎霜’更为严重。

表2 低温(4℃)胁迫对2个茶树品种叶片PS II潜在活性(F_v/F_0)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾
Table 2 Effect of cold stress (4℃) on PS II potential activity (F_v/F_0) in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	培养时间/d Culture time	不同品种的 F_v/F_0 F_v/F_0 of different cultivars	
		黄金芽 Huangjinya	迎霜 Yingshuang
25 (CK)	7	3.778±0.585a	4.828±0.209a
4	1	2.515±0.718b	3.448±0.183b
4	2	1.580±0.535c	3.115±0.376b
4	4	1.312±0.363c	2.939±0.277c
4	6	1.103±1.130c	3.268±0.975b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.3 低温胁迫对茶树叶片非光化学淬灭系数(NPQ)的影响

实验结果(表3)表明:常温(25℃)条件下,茶树品种‘黄金芽’叶片的NPQ为0.102,‘迎霜’叶片的NPQ为0.288。在4℃低温胁迫条件下,随着胁迫时间的延长,2个品种叶片的NPQ均呈现先上升后下降的趋势,且大多高于对照(25℃)。低温胁迫1、4和6 d‘黄金芽’叶片的NPQ与对照差异不显著,而胁迫2 d时其NPQ与对照和低温胁迫1和6 d时有显著差异;低温胁迫1、2、4和6 d时‘迎霜’叶片的NPQ与对照均无显著差异,但低温胁迫2和6 d时其NPQ有显著差异。

由表3还可以看出:茶树品种‘迎霜’叶片的NPQ在常温(25℃)条件下以及低温胁迫1、2和4 d时均高于品种‘黄金芽’,仅在低温胁迫6 d时略低于品种‘黄金芽’。与各自的对照相比,4℃低温胁迫1、2、4和6 d‘迎霜’叶片的NPQ变化幅度明显低于‘黄金芽’;低温胁迫6 d时‘黄金芽’叶片的NPQ较其对照增加154.90%,而‘迎霜’叶片的NPQ则较其对照降低19.44%。

由此可见:4℃低温胁迫1、2和4 d,茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’幼苗均可通过增加叶片的热耗散

表3 低温(4℃)胁迫对2个茶树品种叶片非光化学淬灭系数(NPQ)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 3 Effect of cold stress (4℃) on non-photochemical quenching coefficient (NPQ) in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	培养时间/d Culture time	不同品种的 NPQ NPQ of different cultivars	
		黄金芽 Huangjinya	迎霜 Yingshuang
25 (CK)	7	0.102±0.051b	0.288±0.110ab
4	1	0.228±0.039b	0.372±0.009ab
4	2	0.366±0.109a	0.440±0.074a
4	4	0.320±0.030ab	0.330±0.061ab
4	6	0.260±0.006b	0.232±0.039b

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

消耗部分光能,且‘迎霜’叶片中用于热耗散的光能高于‘黄金芽’。

2.4 低温胁迫对茶树叶片光化学淬灭系数(qP)的影响

实验结果(表4)表明:在常温(25℃)条件下,茶树品种‘黄金芽’叶片的qP为0.913,‘迎霜’叶片的qP为0.883。在4℃低温胁迫条件下,随胁迫时间的延长,‘黄金芽’叶片的qP较其对照呈缓慢下降的趋势,但在低温胁迫1、2和4d时‘黄金芽’叶片的qP与对照均无显著差异,仅低温胁迫6d时其qP与对照有显著差异。‘迎霜’叶片的qP在低温胁迫1和4d时略高于其对照、而在低温胁迫2和6d略低于其对照,但均无显著差异。

由表4还可看出:低温胁迫1、2、4和6d,茶树品种‘迎霜’叶片的qP均高于‘黄金芽’。与各自的对照相比,低温胁迫2、4和6d‘迎霜’叶片的qP较对照的降幅均明显小于‘黄金芽’,其中,低温胁迫6d时,

表4 低温(4℃)胁迫对2个茶树品种叶片光化学淬灭系数(qP)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 4 Effect of cold stress (4℃) on photochemical quenching coefficient (qP) in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	培养时间/d Culture time	不同品种的 qP qP of different cultivars	
		黄金芽 Huangjinya	迎霜 Yingshuang
25 (CK)	7	0.913±0.003a	0.883±0.002a
4	1	0.894±0.003ab	0.912±0.001a
4	2	0.866±0.002ab	0.882±0.001a
4	4	0.802±0.055ab	0.890±0.048a
4	6	0.738±0.149b	0.874±0.008a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

‘黄金芽’叶片的qP较其对照下降19.17%,而‘迎霜’叶片的qP则较其对照下降1.02%。

由此可见,4℃低温胁迫可能破坏了2个茶树品种幼树叶片的电子传递途径,导致用于光化学反应的光能部分减少,并且‘迎霜’叶片的qP降幅远低于‘黄金芽’,说明‘迎霜’对4℃低温胁迫的耐性强于‘黄金芽’。

2.5 低温胁迫对茶树叶片表观光合电子传递速率(ETR)的影响

由表5可见:在常温条件下,茶树品种‘黄金芽’叶片的ETR为4.696,茶树品种‘迎霜’叶片的ETR为4.201;而在低温胁迫条件下,不同处理时间2个品种叶片的ETR均显著低于各自的对照。随低温胁迫时间的延长,2个品种叶片的ETR均呈不断下降的趋势,并且‘迎霜’叶片的ETR在低温胁迫的各时段均有显著差异,而‘黄金芽’叶片的ETR仅在胁迫6d时显著低于其他时段。

从表5还可见:常温条件下,‘黄金芽’叶片的ETR大于‘迎霜’;低温胁迫1、2和4d‘迎霜’叶片的ETR均高于‘黄金芽’,但在低温胁迫6d低于‘黄金芽’。低温胁迫1、2和4d时‘迎霜’叶片的ETR较其对照的降幅均明显小于‘黄金芽’;而在低温胁迫6d时其降幅则略大于‘黄金芽’,低温胁迫6d时‘黄金芽’叶片的ETR较其对照下降41.29%,‘迎霜’叶片的ETR则较其对照下降46.42%。

综上所述,4℃低温胁迫条件下,2个茶树品种叶片均发生明显的光抑制现象,胁迫1、2和4d时‘黄金芽’叶片的光抑制程度较重,胁迫6d时‘迎霜’叶片的光抑制程度加剧。

表5 低温(4℃)胁迫对2个茶树品种叶片表观光合电子传递速率(ETR)的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 5 Effect of cold stress (4℃) on apparent photosynthetic electron transport rate (ETR) in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	培养时间/d Culture time	不同品种的 ETR ETR of different cultivars	
		黄金芽 Huangjinya	迎霜 Yingshuang
25 (CK)	7	4.696±0.010a	4.201±0.017a
4	1	3.400±0.041b	3.803±0.060b
4	2	3.319±0.134bc	3.525±0.111c
4	4	3.027±0.204bc	3.235±0.081d
4	6	2.757±0.076c	2.251±0.019e

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P<0.05$).

2.6 低温胁迫对茶树叶片光合功能相对限制值 (L_{PFD}) 的影响

从实验结果(表6)可见:在4℃低温胁迫条件下,茶树品种‘黄金芽’叶片的 L_{PFD} 较其对照持续增大,但在低温胁迫1和2d时与其对照无显著差异,在胁迫4和6d与其对照差异显著。‘迎霜’叶片的 L_{PFD} 在低温胁迫1d时略小于其对照,在胁迫2、4和6d时均大于其对照且呈不断增大的趋势,且在低温胁迫1、2和4d时与其对照无显著差异,但在胁迫6d时与其对照差异显著。

表6 低温(4℃)胁迫对2个茶树品种叶片光合功能相对限制值 (L_{PFD}) 的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾
Table 6 Effect of cold stress (4℃) on relative limit of photosynthesis (L_{PFD}) in leaf of two cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze. ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	培养时间/d Culture time	不同品种的 L_{PFD} L_{PFD} of different cultivars	
		黄金芽 Huangjinya	迎霜 Yingshuang
25 (CK)	7	0.258±0.070b	0.268±0.028b
4	1	0.340±0.033b	0.253±0.030b
4	2	0.459±0.081ab	0.357±0.058b
4	4	0.577±0.189a	0.368±0.074b
4	6	0.632±0.117a	0.477±0.084a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

由表6还可见:常温下茶树品种‘迎霜’叶片的 L_{PFD} 略高于‘黄金芽’;而在低温胁迫条件下,‘迎霜’叶片的 L_{PFD} 均低于‘黄金芽’。低温胁迫条件下‘迎霜’叶片的 L_{PFD} 较其对照的变幅均明显低于‘黄金芽’,其中,低温胁迫6d时‘黄金芽’叶片的 L_{PFD} 较其对照增大144.96%,‘迎霜’叶片的 L_{PFD} 较其对照则增大77.99%。

综上所述,低温胁迫条件下茶树品种‘黄金芽’叶片光合作用的抑制作用逐渐增强,而‘迎霜’在受到低温胁迫后其抗寒通路得到响应,但随着低温胁迫时间的延长,其光合作用也受到一定程度的抑制。

3 讨论和结论

光合作用是在植物体内进行的高度调控和集中的一个代谢过程,其目的是达到最大化利用光能、优化使用 CO_2 资源和尽量减小多余能量的破坏性影响,且光合过程对环境变化高度敏感^[13]。由于植物的光合能力对其生长发育和逆境耐受状况等都有一定的

影响,因此,可以根据植物的光合能力判断其生长发育状况和抗逆性^[14]。叶绿素荧光参数与光合作用各反应过程密切相关,其测定过程具有快速、灵敏、无损伤等特点,因此可以根据叶绿素荧光参数来探明植物光合系统受低温胁迫伤害的部位和程度,利用叶绿素荧光分析技术还可以分析植物叶绿素荧光参数与冻害程度的关系^[15-19]。

在受到低温胁迫时,杨树(*Populus* spp.)、不结球白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinese* Makino)和柑橘(*Citrus reticulata* Bl.)等植物叶片的 F_v/F_0 均呈现下降趋势^[20-22],但不同植物种类间以及不同低温条件下叶绿素荧光参数的变化幅度不同^[23]。本研究结果表明:4℃低温胁迫条件下,茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’叶片的PS II最大光化学效率(F_v/F_m)和PS II潜在活性(F_v/F_0)总体上均随胁迫时间的延长而下降,并显著低于各自的对照,说明在低温胁迫条件下2个茶树品种叶片PS II的光能转换效率和PS II的潜在活性逐渐减弱,叶片PS II反应中心受到伤害并发生光抑制作用。

本研究结果表明:2个茶树品种幼树叶片的表观光合电子传递速率(ETR)均随低温胁迫时间延长逐渐下降且显著低于各自的对照,推测这可能是由于叶片的PS II反应中心受到伤害,致使光合电子由PS II反应中心向 Q_A 、 Q_B 及 PQ 库的传递过程受到抑制,从而导致电子传递速率变慢^[24]。茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’叶片的 NPQ 在低温胁迫1和2d呈现持续增大的趋势,说明茶树叶片通过增加热耗散消耗过剩的激发能,这可能是茶树响应低温胁迫的生理机制之一;但是,在低温胁迫4和6d时2个茶树品种叶片的 NPQ 均持续下降,这可能与低温胁迫下茶树叶片在短期内受到的伤害比较严重,致使叶片PS II反应中心损伤,进而导致其光化学转化效率降低、热耗散比例增高等有关。

相关研究^[25-26]结果表明:植物叶片 F_v/F_m 的下降与其耐低温能力存在显著的相关性,该参数的变化及其变化幅度可以作为植物耐寒性的评价指标之一。低温胁迫对植物叶绿素荧光特性的抑制作用是环境胁迫和植物响应恢复能力共同作用的结果^[15],因而,本研究中测定的几项叶绿素荧光参数能够综合反映低温胁迫条件下茶树叶片PS II反应中心的受损程度及其光合能力的受抑制程度,而且能够反映茶树品种‘黄金芽’和‘迎霜’的耐寒性。 F_v/F_m 下降幅度越

小,受低温胁迫后茶树叶片PS II反应中心的受损伤程度越小、其耐寒能力越强,据此可推断茶树品种‘迎霜’的耐寒性优于品种‘黄金芽’。基于上述综合分析,可将低温条件下活体叶片的叶绿素荧光参数的变化幅度及其恢复状况作为茶树耐寒品种选育的重要指标之一。

参考文献:

- [1] 张玉翠,王连翠. 低温对茶树叶片膜透性和保护酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2010(9): 38-40.
- [2] SMILIER R M. A Method for Chilling Tolerance Using Chlorophyll Fluorescence *in vivo*[M]. New York: Academic Press, 1984: 471-474.
- [3] SCHREIBER U, BILGER W, NEUBAUER G. Chlorophyll fluorescence: new instruments for special application[M]//SCHULZE E D, CALDWELL M M. Ecophysiology of Photosynthesis. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 147-150.
- [4] LI G, WAN S W, ZHOU J, et al. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 31(1): 13-19.
- [5] 林郑和,钟秋生,陈常颂,等. 低温对茶树新品系叶绿素与电导率的影响[J]. 福建茶叶, 2014, 36(5): 10-11.
- [6] 杨如兴,张磊,陈志辉. 福建茶树种质的抗寒力鉴定[J]. 中国农学通报, 2014, 30(4): 157-161.
- [7] 时慧,王玉,周克福,等. 低温胁迫下茶树叶片活性氧代谢及渗透调节物质含量的变化规律[J]. 山东农业科学, 2012, 44(7): 22-25.
- [8] 程国山,游新才,武艳,等. 低温胁迫后抗寒茶树品种‘紫阳圆叶’的基因差异表达分析[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(4): 38-43.
- [9] 朱全武,范凯,谢艳兰,等. 植物低温胁迫响应 miRNAs 及其在茶树抗寒研究中的应用[J]. 茶叶科学, 2013, 33(3): 212-220.
- [10] 孙海云,张丽霞,王日为. 低温与光照对茶树叶片叶绿素荧光参数的影响[J]. 茶叶, 2011, 37(2): 75-78.
- [11] 陈正武,赖飞,刘红梅,等. 茶树无性系良种山地适应性栽培研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 179-187.
- [12] 马瑞娟,张斌斌,俞明亮,等. 6个桃品种光合特性及叶绿素荧光特性的比较[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6): 1334-1341.
- [13] SUN C X, QI H, HAO J J, et al. Single leaves photosynthetic characteristics of two insect-resistant transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties in response to light[J]. Photosynthetica, 2009, 47(3): 399-408.
- [14] 郭春芳,孙云,李伟,等. 聚乙二醇胁迫对茶树幼苗叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. 福建农林大学学报:自然科学版, 2008, 37(1): 42-46.
- [15] 李志博,魏亦农,杨敏,等. 低温胁迫对棉花幼苗叶绿素荧光特性的影响初探[J]. 棉花学报, 2006, 18(4): 255-256, 封三.
- [16] OGAYA R, PEÑUELAS J, ASENSIO D, et al. Chlorophyll fluorescence responses to temperature and water availability in two co-dominant Mediterranean shrub and tree species in a long-term field experiment simulating climate change[J]. Environmental and Experimental Botany, 2011, 71(2): 123-127.
- [17] LIANG Y, CHEN H, TANG M J, et al. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics[J]. Physiologia Plantarum, 2007, 131(3): 508-517.
- [18] MISHRA A, MISHRA K B, HÖERMILLER I I, et al. Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in *Arabidopsis thaliana* accessions[J]. Plant Signaling and Behavior, 2011, 6(2): 301-310.
- [19] 王春萍,雷开荣,李正国,等. 低温胁迫对水稻幼苗不同叶龄叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(3): 38-43.
- [20] 李春明,于文喜. 秋季低温胁迫对杨树叶绿素荧光的影响[J]. 林业科技, 2011, 36(2): 5-6, 22.
- [21] 胡春梅,侯喜林,王旻. 低温胁迫对不结球白菜光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(12): 2478-2484.
- [22] 周晓音,饶建民,叶伟其,等. 低温对柑橘叶片荧光参数的影响[J]. 浙江柑橘, 2010, 27(3): 9-11.
- [23] 徐德聪,吕芳德,潘晓杰. 叶绿素荧光分析技术在果树研究中的应用[J]. 经济林研究, 2003, 21(3): 88-91.
- [24] 卢从明,张其德,匡廷云. 水分胁迫对小麦叶绿体激发能分配和光系统II原始光能转换效率的影响[J]. 生物物理学报, 1995, 11(1): 82-86.
- [25] 周建,杨立峰,郝峰鸽,等. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 136-142.
- [26] 杨华庚,林位夫. 低温胁迫对油棕幼苗光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 506-509.

(责任编辑:佟金凤)