

# 低温对白菜幼苗叶绿素荧光参数日变化的影响

叶国锐<sup>1,2</sup>, 钟新民<sup>2</sup>, 李必元<sup>2</sup>, 王五宏<sup>2</sup>, 刘合芹<sup>3</sup>

(1. 浙江师范大学 生化学院 浙江 金华 321004; 2. 浙江省农业科学院 蔬菜研究所, 浙江 杭州 310021;

3. 浙江省农业科学院 作物与核技术研究所, 浙江 杭州 310021)

**摘要:** 选用不同耐冷性的 2 个大白菜材料“534”和“676”, 利用低温胁迫在植株不出现明显受迫症状的前提下, 比较胁迫期和恢复期的叶绿素荧光参数差异。结果表明: 低温胁迫使耐冷性弱的“534” $F_v/F_m$ 、 $qP$  的降幅均比耐冷性强的“676”明显。在胁迫期, “534”、“676”的  $qN$  均升高, 同时“676”升高比“534”明显, 且 2 个品种的  $Yield$  日变化对低温胁迫的响应差异不明显。经历了 3 d 恢复后, “676” $F_v/F_m$ 、 $qP$  的恢复幅度明显高于“534”。但在恢复期 2 个品种的  $Yield$  日变化对低温胁迫后恢复差异不明显。说明“534”在胁迫期受低温的影响较大, “676”在低温胁迫解除后较快得到恢复, 这些参数可作为反映品种耐冷能力大小的指标。

**关键词:** 叶绿素荧光; 大白菜; 低温; 日变化; 耐冷性

**中图分类号:** S 634.104<sup>+</sup>.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)11-0016-06

大白菜在我国南北方的蔬菜作物中占有重要地位, 随着我国农业产业结构的调整、市场多样需求的增加, 对大白菜品种耐冷性提出新的要求, 因此研究低温对大白菜光合系统的影响, 对大白菜抗逆性推广栽培具有重要意义。

叶绿素荧光技术是一种测定植物光合生理生态的新方法, 广泛应用于植物光合特性的研究<sup>[1]</sup>。Frachebound 认为叶绿素荧光参数可作为抗冷性选择指标<sup>[2]</sup>, 叶绿素荧光分析技术也越来越多地被用于研究植物抗寒特性<sup>[3]</sup>。叶绿素荧光技术在各种蔬菜的低温胁迫已经有所研究, 比如番茄、黄瓜、茄子、不结球大白菜, 但关于大白菜幼苗的荧光参数日变化研究目前报道较少<sup>[4-7]</sup>。该试验利用叶绿素荧光技术对 2 个品种大白菜幼苗主要荧光参数及其日变化进行了测定, 得到低温处理后叶绿素荧光参数的变化, 初步了解它们之间的荧光参数差异, 试图摸索这些变化与不同品系耐低温特性的关系, 探讨其可能存在的生理机制, 为今后大白菜的引种、培育及应用提供一定的理论和实际运用依据。

**第一作者简介:** 叶国锐(1982-), 男, 福建漳州人, 在读硕士, 现主要从事生物技术育种工作。E-mail: guoruiye111@163.com。

**通讯作者:** 钟新民(1958-), 男, 本科, 研究员, 现主要从事十字花科遗传育种研究工作。

**基金项目:** 浙江省重大科技攻关资助项目(2006C12012)。

**收稿日期:** 2010-03-05

## The Application of SPAD on Nitrogen Diagnosis of Cucumber

WU Xin-yan<sup>1,2</sup>, GUO Jian-hua<sup>2</sup>, FANG Zheng<sup>3</sup>, ZHANG Yi-gong<sup>1</sup>

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097; 2. Department of Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 3. Key Lab of Bio-inorganic Chemistry of Hebei, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001)

**Abstract:** In order to investigate the relationship between nitrogen in leaves of cucumber and the value measured by SPAD-502 chlorophyll meter and content of nitrate by RQflex in solar greenhouse cucumber (*Cucumis sativas* L.). The results showed that there was a good correlation between nitrogen of the blooming leaves and the fruiting leaves of cucumber and the content of nitrate and SPAD value. Regardless of flower leaves or fruit leaves can carry on the nitrogen nutrition diagnosis; According to the production condition, it based on the SPAD and nitrate's fast diagnosis of RQflex can gain the nitrogen nutritional status, then recommend fertilizer rationally.

**Key words:** cucumber; nitrogen; nitrate; SPAD

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用 2 种不同耐冷性大白菜高代自交系“534”和“676”，由浙江省农业科学院蔬菜所提供。试验在浙江省农科院海宁基地进行，采用基质营养钵育苗方式，基质为芦苇末、蛭石、珍珠岩为 2 : 1 : 1 的比例(体积比)配制的复合基质，常规管理。

1.2 试验方法

播种后 20 d 左右，选择健壮“534”和“676”各 10 株。先在 15℃、12 h 光照/12 h 黑暗、光强 1 800~2 000 lx 的光照培养箱中培养 3 d，选择晴朗天气分别测定“534”和“676”各项叶绿素荧光参数日变化作为对照(CK)。将此批幼苗置于(1.6±0.3)℃条件下模拟夜间低温处理，处理时间 12 h。次日置于阳光下测定叶绿素荧光参数日变化作为胁迫期数据。最后在 15℃、12 h 光照/12 h 黑暗、光强 1 800~2 000 lx 的光照培养箱中恢复 3 d，测得的叶绿素荧光参数日变化作为恢复期数据。

每株选定若干受光一致的主功能叶片测定荧光参数，以后每次测定都用同样叶片。测定的参数  $F_v/F_m$ 、 $Yield$ 、 $qP$ 、 $qN$ 、 $PAR$ 、叶温。选择长势健壮“534”和“676”各 10 株置于自然环境中。从 8:00~16:00，每 2 h 测定 1 次。5 次重复，所得数据取均值和标准差。

荧光参数采用德国 WALZ 便携式叶绿素荧光仪 PAM-2100 测定。主要荧光参数有： $F_o$ (初始荧光)、 $F_m$ (最大荧光)、 $F_v$ ( $F_v = F_m - F_o$ ) (可变荧光)、 $F_v/F_m$ (常用于表示植物叶片 PSII 潜在活性)等。利用配备了微型光量子/温度探头的叶夹 2030-B 夹住叶片，测定叶绿素荧光参数。参数测定参照徐德聪等的试验方法<sup>[8]</sup>。测量光的设定：Int 为 6；Gain 为 3；频率为 600 Hz。光化学猝灭系数  $qP = (F_m' - F_t) / (F_m' - F_o')$ ，非光化学猝灭系数  $qN = (F_v - F_v') / F_v$ 。

2 结果与分析

2.1 试验各期光合有效辐射和叶温的日变化

如图 1 可知，光合有效辐射的日变化呈单峰曲线，8:00~12:00 光合有效辐射逐渐增加，在 12:00 达到峰值，14:00 之后迅速下降。如图 2 可知，叶温的日间变化与光合有效辐射的日变化趋势基本一致，也呈单峰曲线，最高峰出现在 12:00 左右，但叶温的下降幅度要明显比光合有效辐射缓慢得多。

2.2 最大光化学效率  $F_v/F_m$  在各期的变化

从图 3 可以看出， $F_v/F_m$  的日趋势呈“V”型。CK 叶片的 PSII 最大光化学效率  $F_v/F_m$  较为稳定。 $F_v/F_m$  值差异不显著。低温胁迫下， $F_v/F_m$  均显著低于各自的对照，上午随着光强增加而逐渐降低，12:00 均降为最低值，然后逐渐上升，说明大白菜幼苗光合作用在中午光强和温度较高条件下其光合活性受到了暂时的抑制，但

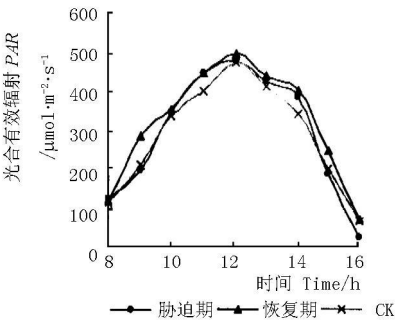


图 1 光合有效辐射的日变化

Fig. 1 The diurnal changes of PAR

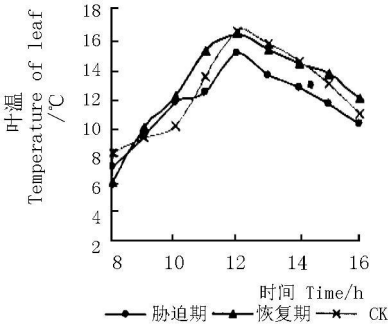


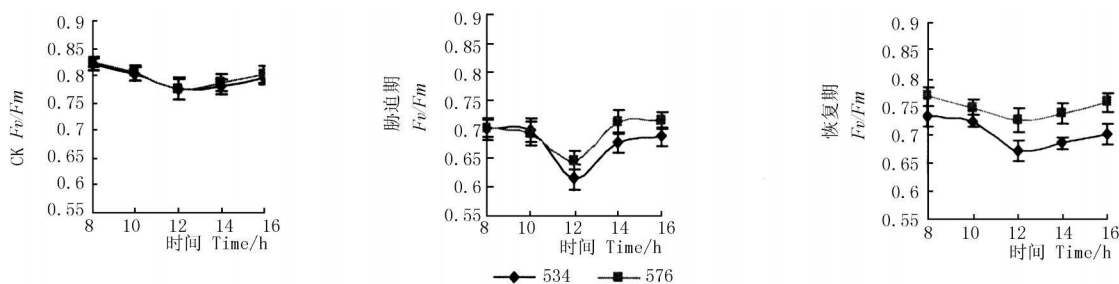
图 2 叶温的日变化

Fig. 2 The diurnal changes of leaf temperature

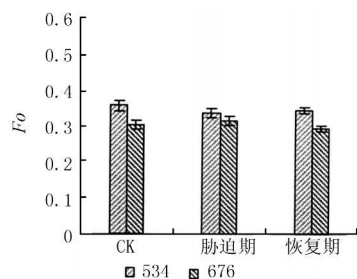
光合器官并没有受到损伤<sup>[20]</sup>。12:00 后随着光强和温度的下降其光合器官的功能慢慢恢复。在 CK 期“534”、“676” $F_v/F_m$  日变化差异不大。早上 8:00 的  $F_v/F_m$  值均大于 0.82，12:00 “534”、“676” $F_v/F_m$  值比 8:00 分别小幅下降 5.72%、5.94%。在胁迫期，534”、“676” $F_v/F_m$  值显著下降，12:00 的  $F_v/F_m$  值的降幅分别达到 20.41%、16.75%。而下午随光强弱， $F_v/F_m$  的值逐渐回升到接近于当天早晨水平，“676”下午  $F_v/F_m$  恢复能力比“534”强。可见其中午 PSII 的功能下调是可逆的，是植物避免中午过大光强伤害的一种适应方式<sup>[9]</sup>。在恢复期，534”在 8:00 和 12:00 的  $F_v/F_m$  值分别恢复至相应 CK 的 89.16%、86.82%。而“676” $F_v/F_m$  值恢复幅度较大，与相应 CK 相比 8:00 和 12:00 的  $F_v/F_m$  值可恢复至 93.09%、93.56%。无论是胁迫期还是恢复期，16:00 的  $F_v/F_m$  值基本可以恢复至接近当天 8:00 所测的  $F_v/F_m$  值。说明 PSII 没有受到不可逆的伤害， $F_v/F_m$  的升降调节对植株有积极的意义。“534” $F_v/F_m$  值在胁迫期对低温更敏感，降幅较大，而在恢复期  $F_v/F_m$  值回升速度明显低于“676”，这可以反映 2 个品种间耐冷性的差异。

2.3 初始荧光  $F_o$  在各期的变化

$F_o$  为已经暗适应的光合机构 PSII 反应中心全部开

图3 不同时期各品种  $F_v/F_m$  日变化Fig. 3 Diurnal changes of  $F_v/F_m$  in leaves of different Chinese cabbage in different period

放在测量光下测得的荧光强度,它与激发光的强度和叶绿素浓度有关,而与光合作用的光反应无关,是一个纯物理过程。若  $F_m$ 、 $F_v/F_m$  下降,表明植物叶片发生了光抑制,若  $F_v/F_m$  降低的同时伴随有  $F_o$  的上升,表明光系统遭受破坏<sup>[8]</sup>。在该试验中  $F_o$  的日变化比较平稳,同一天所测  $F_o$  值的标准差较小,在不同的时期  $F_o$  的变化幅度在 95% 的置信区间无显著差异。由图 4 可知  $F_v$  的变化主要是由  $F_m$  引起的而不是  $F_o$ ,说明 2 个品种光系统均没有遭受破坏。

图4 不同时期各品种  $F_o$  变化Fig. 4 Changes of  $F_o$  in leaves of different Chinese cabbage in different period

## 2.4 PSII实际量子产量 $Yield$ 在各期的变化

$Yield$  是反映 PSII光照下实际 PSII 光能捕获的效率。可作为植物叶片光合电子传递速率快慢的相对指标。 $Yield$  值高,表明有利于提高光能转化效率,为暗反应的光合碳同化积累更多所需要的能量,以促进碳同化的高效运转和有机物的积累<sup>[8]</sup>。

由图 5 可知,在 CK 时,  $Yield$  呈倒抛物线图。早晚  $Yield$  值较大,中午最小。12:00 的  $Yield$  值不到 0.4。在胁迫期,由于受夜间低温胁迫,早 8:00 时 2 个品种的  $Yield$  值剧烈降低至 0.2 左右。随温度回升,植株出现了自我恢复和代偿,虽有回升但低于 CK 值。在恢复期,从 12:00~16:00 这段时间内所测的  $Yield$  值可以看出,“676”的  $Yield$  值明显高于“534”,即“676”的恢复效果稍好些。

## 2.5 光化学猝灭系数 $qP$ 在各期的变化

光化学猝灭系数  $qP$  是光化学反应引起的荧光产额的降低,表示开放的反应中心占总 PSII反应中心的比例。 $qP$  与电子传递速率有关  $qP$  较高表示 QA 处在氧化态数量较多,即 PSII反应中心开放部分的比例较大,能够传递电子数量也较多,所以在单位时间光合电子传递的速度较快<sup>[10]</sup>。QA 增多可促进 PSII激发能使捕获速率提高,这也有利于提高光能利用率。

由图 6 可以看出,光化学猝灭系数  $qP$  日变化在 3 个不同时期均呈“V”字形,在中午强光高温下降到一天中的最低值,16:00 的  $qP$  比 8:00 的略高。在胁迫期,“534”和“676”的  $qP$  值均明显下降,但“534” $qP$  的降幅比“676”更大,12:00 “534”和“676”的  $qP$  值分别比相应 CK 下降 39.24% 和 26.66%。在恢复期,相对于胁迫期来讲,“534”和“676”的  $qP$  值均有所回升,但“676” $qP$  值的升幅明显高于“534”。12:00 “534”、“676”的  $qP$  值分别恢复至相应 CK 的 70.74%、90.88%。在 CK 期,2 个品种的  $qP$  日变化差异不大,在胁迫期  $qP$  值都剧烈降低,很显然“534”对于夜间低温胁迫更加敏感。在恢复期,“534” $qP$  日变化略有回升,相比之下“676”回升幅度比较大。由此可知,“676”更能保持稳定开放的 PSII反应中心比例,PSII电子传递活性更高。

## 2.6 非光化学猝灭系数 $qN$ 在各期的变化

$qN$  反映 PSII反应中心非辐射能量耗散能力的大小,也就是说它代表 PSII天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递,而以热的形式耗散掉的光能部分。由图 7 可知 CK 和恢复期  $qN$  日变化呈抛物线,在光强较弱温度相对较低的早晨及傍晚,此时的条件适合于光合作用进行,叶片吸收的光能最大限度地用在光化学反应上,故  $qP$  较大而  $qN$  较小,随着光强的增加及温度的升高,光化学反应受到抑制,叶片把吸收的光能较多地分配到热耗散。在光强最强、温度最高的中午,分配在热耗散的能量最多,用在光化学反应上的能量比例则最少。在胁迫期由于受到夜间低温影响,  $qN$  均有明显的升高,不过日变化不是呈抛物线,而是呈“S”形。8:00

“534”和“676”的  $qN$  值分别比相应 CK 上升 74. 34%和 96. 69%, 说明受到低温胁迫后, 2 个品种的  $qN$  显著上升。说明此时光化学反应降到最低程度, PSII 天线色素吸收的光能以热耗散比相应 CK 大大提高。在恢复期,

8: 00“534”和“676”的  $qN$  值分别比相应 CK 上升 14. 82%和 5. 72%, 12: 00“534”和“676”的  $qN$  值分别比相应 CK 上升 33. 04%和 6. 98%。

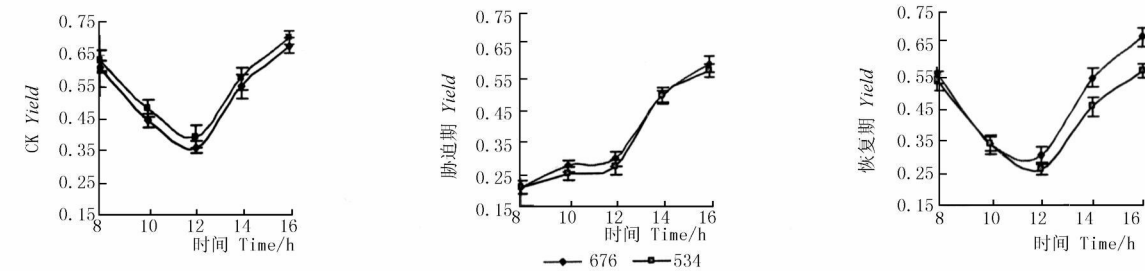


图5 不同时期各品种 Yield 日变化

Fig. 5 Diurnal changes of Yield in leaves of different Chinese cabbage in different period

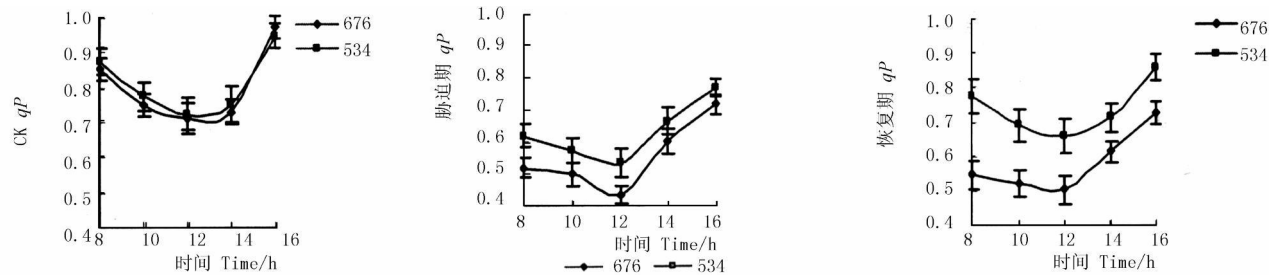


图6 不同时期各品种  $qP$  日变化

Fig. 6 Diurnal changes of  $qP$  in leaves of different Chinese cabbage in different period

从图 7 可以看出, “676”以热耗散形式释放的能量多于“534”。同时在胁迫期早上和中午还出现 2 个峰值。说明温度过高或者夜间低温胁迫会引起光抑制, 导致  $qN$  上升。大白菜幼苗受到低温胁迫后, 光化学猝灭系

数  $qP$  下降, 而非光化学猝灭系数  $qN$  上升, 表明低温胁迫使大白菜幼苗叶片的 PSII 反应中心的开放程度缩小, 电子传递速率和数量下降, 光化学反应受到抑制而同时耗散的光能比例增加。

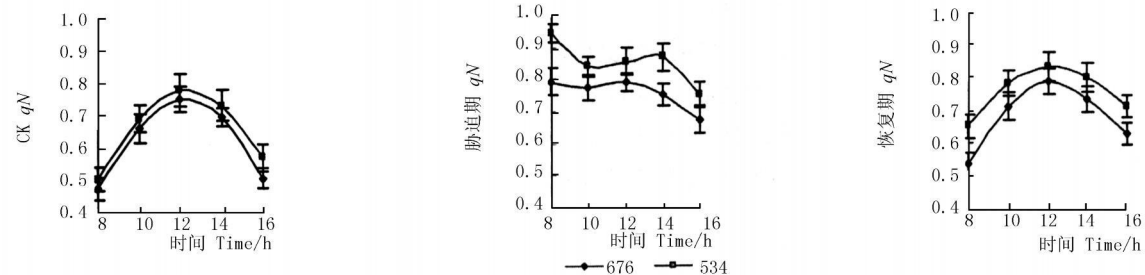


图7 不同时期各品种  $qN$  日变化

Fig. 7 Diurnal changes of  $qN$  in leaves of different Chinese cabbage in different period

3 讨论

3.1 Fv/Fm 的自我恢复

$Fv/Fm$  降低表明低温胁迫使 PSII 受到了损伤, 使大白菜幼苗叶片 PSII 潜在活性中心受损, 降低了 PSII 原初光能转化效率, 中午光化学反应过程受抑制加重, 光合电子传递过程受到影响。王国莉认为从捕光色素蛋白复合物(LHCII)向 PSII 传递的叶绿体激发能减少了, 这

可能与低温胁迫使 PSII 捕光色素蛋白复合物(LHCII)的含量降低有关<sup>[11-12]</sup>。胡文海等认为 5℃低温处理的植株在正常温光水平下引起了光抑制, 造成了 PSII 的部分失活或伤害, 限制了光合碳代谢的电子供应从而抑制了光合作用, 并且这种伤害须经一定时间才能恢复<sup>[13]</sup>。

从试验数据来看, 恢复期的  $Fv/Fm$  在回升。这种损伤在恢复期表现出了可以自我修复,  $Fv/Fm$  逐渐恢

复。 $Fv/Fm$  在胁迫当天虽然明显下降但下午能恢复到接近当天早上的数值,说明虽然经过低温胁迫但白天温度的迅速回升对胁迫恢复起到很重要的作用。这与其它所测得的参数  $qP$ ,  $Yield$  日变化相一致。

通过对比发现,正午光抑制和夜间是否受低温胁迫也有关系,在胁迫条件下,正午的  $Fv/Fm$  比当天 8:00 明显下降,而在非胁迫期这种趋势稍有缓和,同时正午光抑制和夜间低温胁迫关系依品种不同而有差异。中午和早上  $Fv/Fm$  值的差异程度是否可作为耐冷性的参考指标还有待进一步研究。

$Fo$  日变化曲线趋势有不同的结论。徐德聪认为导致  $Fo$  改变的至少有非辐射能量耗散、PSII 反应中心的可逆失活和破坏 3 个因素<sup>[8]</sup>。所以  $Fo$  变化的方向取决于这些因素中起主要作用的因素。 $Fv/Fm$  降低原因可能主要是由  $Fo$  升高引起的,吴雪霞研究中发现低温处理使  $Fo$  显著上升, $Fm$ 、 $Fv/Fm$  和  $Fv/Fo$  下降,表明低温处理造成了茄子幼苗 PSII 的部分失活或伤害,抑制了光合作用的原初反应<sup>[9]</sup>。籼稻剑叶经低温处理, $Fo$  上升, $Fv/Fm$  下降显著<sup>[14]</sup>。也可能主要是由  $Fm$  降低引起的。在  $Fv/Fm$  下降的同时,伴随  $Fo$  的下降,说明美国山核桃发生光抑制主要是 PSII 天线的热耗散增加的结果<sup>[8]</sup>。从图 4 可以看出,各期  $Fo$  的日变化比较平稳, $Fv/Fm$  的降低主要是由于  $Fm$  的降低,而不是  $Fo$  的升高。该试验中,虽然  $Fv/Fm$  下降,但是  $Fo$  在各个时期并没有明显下降,说明大白菜幼苗在夜间低温胁迫后发生光抑制主要是 PSII 反应中心的可逆失活的结果。

### 3.2 正午温度升高和夜间低温都会引起 $qN$ 上升

光反应在适宜的条件下进行时,如光强较弱温度较低的早晨和傍晚较适宜光合作用进行。而在中午都出现  $qN$  上升至峰值的现象,在胁迫期早上和中午还出现 2 个峰值。说明温度过高或者夜间低温胁迫引起光抑制,导致  $qN$  上升,该过程可能跟参与光反应温度敏感酶受到抑制有关,多余的光能通过热耗散的形式释放,可以避免邻近反应中心遭受光破坏。所以不单温度升高会引起  $qN$  上升促进自我保护,同样剧烈低温亦可引起发光抑制导致  $qN$  升高,这为叶绿素荧光参数进一步研究提供数据参考。

### 3.3 $qN$ 与 $Yield$ 的联系

由图 5 可知,在胁迫期 2 个品种的  $Yield$  值基本接近,说明光化学反应抑制程度相当。而在胁迫期 2 个品种的  $qN$  值有较明显的差异,“676” $qN$  值比“534”高。说明就 PSII 天线色素吸收的光能没用于光合电子传递,而以热的形式耗散掉的光能部分相比而言,“676”比“534”高。以热的形式耗散对于植株来说是一种冷胁迫的自我保护。在低温胁迫时, $qN$  升高,以热的形式耗散的能量越多,越能更好保护光系统不受损伤<sup>[19]</sup>,而在适温时,

以热的形式耗散的能量减少,可以认为这些能量能参与光化学反应,为植株耐冷性提供物质基础。胡春梅认为低温胁迫下各不结球白菜品系非光化学耗散差异不显著,电子传递的有效性和光化学效率的差异是导致各品系耐冷性差异的主要原因<sup>[7]</sup>。该试验认为耐冷性差异的主要原因除了电子传递的有效性和光化学效率的差异之外,还跟非光化学耗散差异有关。

### 3.4 与氧化态 QA 数量相关的 3 个参数的大小关系

在 PSII 中 QA 有很重要的作用,由氧化态获得电子转为还原态,从而起到传递电子的作用。 $Fv/Fm$ 、 $qP$ 、 $Yield$  3 个参数均与 QA 由还原态转为氧化态的数量有关,这 3 个参数降低表明 PSII 反应中心受体 QA 更趋于还原态,也就是处于还原态的 QA 越来越多,用于传递电子的 QA 越来越少,导致 PSII 电子传递活性下降,PSII 电子传递逐渐受阻。

$Fv/Fm$ 、 $qP$ 、 $Yield$  3 个参数均与 QA 由还原态转为氧化态的数量有关, $Fv/Fm$  是在暗适应条件下测得,而  $qP$ 、 $Yield$  在自然光条件下测得,所以  $Fv/Fm$  测得处于氧化态 QA 的数量比  $qP$ 、 $Yield$  都高。如果以处于氧化态 QA 数量做比较,可以得出  $Fv/Fm > qP > Yield$  或者  $Fv/Fm > Yield > qP$ 。

根据公式  $Yield = (Fm' - Ft) / Fm'$ ,  $qP = (Fm' - Ft) / (Fm' - Fo')$ ,从数值大小来说,  $qP > Yield$ 。故  $qP$  氧化态 QA 数量一定比  $Yield$  多,即  $qP > Yield$ ,所以以处于氧化态 QA 数量做比较,可以得出  $Fv/Fm > qP > Yield$ 。

非胁迫期,从 8:00~12:00  $Yield$  和  $qP$  变化趋势一样,随着温度和光强的升高而逐渐降低,这是由于中午光抑制 QA 氧化态数量减少,限制了电子传递。而在胁迫期,从 8:00~12:00  $Yield$  和  $qP$  有截然不同的变化趋势, $Yield$  反常地不断升高,而  $qP$  依旧不断下降。

该试验中,在胁迫期“534”和“676”在 8:00 和 14:00 的  $Yield$  十分接近的各时段, $Yield$  值和变化趋势十分接近,而当天相应时刻“534”和“676” $qP$  分别是 0.499 和 0.572,根据  $Fv/Fm > qP > Yield$ ,说明可能有至少一个限速点的作用使  $Yield$  所测值在胁迫下十分接近。这个问题有待于进一步的研究。

许多品种在适宜的温度下,叶绿素荧光差异一般不大,甚至在普通低温下差异有时并不明显,而在剧烈夜间低温,同时白天温度回升较快的条件下,其叶绿素荧光参数在胁迫期和恢复期有较明显的差异。这就是在低温条件下通过测量参数差异比较品种间抗冷性差异的依据<sup>[15-16]</sup>。综合各参数可知,利用叶绿素荧光分析技术鉴别种间抗寒性是可行的。

### 3.5 待解决的问题

以胁迫+恢复为研究模式,胁迫程度可以大一些但

在看不到明显胁迫症状的前提下,通过叶绿素荧光参数升降变化全面考量品种间耐冷性强弱差异。这种通过叶绿素荧光参数筛选抗低温品种的试验方案可以进一步加深和拓展,比如在更多胁迫条件如干旱、高温、营养胁迫等方面,都可以利用此法研究植物抗胁迫程度。

光和温度被公认是光抑制的主要原因,在光抑制的过程中,强光引起光抑制的主要因子,但温度、水分、营养缺乏、盐分等逆境胁迫都会加剧光抑制,即使光照不太强的情况下,由于其它逆境胁迫也会产生光抑制现象。但是事物皆有双面性,光和温度是否也是植株对非致死性胁迫后修复的条件还有待研究。

*Yield* 这个参数体现出在光化学反应中包含更多更复杂的机理,可能有至少一个限速点的作用使 *Yield* 所测值在胁迫下十分接近。幼苗与成苗叶绿素荧光参数是否总是保持不变,这决定了利用早期幼苗的参数筛选耐冷性品种的可行性。这些问题都有待于进一步的研究。

参考文献

[ 1 ] 周蕴薇,刘艳萍,戴思兰.用叶绿素荧光分析技术鉴定植物抗寒性的剖析[J].植物生理学通讯,2006 42(5):945-950.  
[ 2 ] Frachebound Y, Haldimann P, Leipfner J, et al. Chlorophyll fluorescence as a selection tool for cold resistance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L. ) [J]. Exp. Bot. 1999, 50: 1533-1540.  
[ 3 ] 田海涛,高培军,温国胜. 7 种箬竹抗寒特性比较 [J]. 浙江林学院学

报, 2006, 23(6): 641-646.  
[ 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.  
[ 5 ] 曾纪晴,刘鸿先,王以柔.等.黄瓜幼苗子叶在低温下的光抑制及其恢复[J].植物生理学报,1997 23(1):15-20.  
[ 6 ] 吴雪露,陈建林,查丁石.低温胁迫对茄子幼苗叶片叶绿素荧光特性和能量耗散的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):164-169.  
[ 7 ] 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.  
[ 8 ] 徐德聪,吕芳德,刘小阳.不同品种美国山核桃叶叶绿素荧光参数日变化[J].激光生物学报,2007,116(3):259-265.  
[ 9 ] 冯玉龙,曹坤芳,冯志立.夜间低温对不同光强下生长的两种沟谷雨林木幼苗荧光参数的影响[J].植物生态学报,2004,28(2):150-156.  
[ 10 ] 黄俊,郭世荣,吴震等.弱光对不结球白菜光合特性与叶绿体超微结构的影响[J].应用生态学报,2007,18(2):352-358.  
[ 11 ] 王国莉,郭振飞.甲基紫精对水稻不同耐冷品种叶绿素荧光参数的影响[J].武汉植物学研究,2008,26(1):81-86.  
[ 12 ] 韦振泉,林宏辉,何军贤,等.水分胁迫对小麦捕光色素蛋白复合物的影响[J].西北植物学报,2000,20(4):555-560.  
[ 13 ] 胡文海,喻景权.低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J].园艺学报,2001,28(1):41-46.  
[ 14 ] 李平,李晓萍,陈贻竹,等.低温光抑制胁迫对不同抗冷性的籼稻抽穗期剑叶叶绿素荧光的影响[J].中国水稻科学,2000 14(2):88-92.  
[ 15 ] 李晓萍,陈贻竹,李平,等.黄瓜幼苗的冷锻炼与低温引起的光抑制[J].植物生理学报,1996 22:101-104.  
[ 16 ] 刘鹏,孟庆伟,赵世杰.冷敏感植物的低温光抑制及其生长保护机制[J].植物生理学通讯,2001,37(1):76-82.

Effect of Low Temperature Stress on Diurnal Changes of Chlorophyll Fluorescence in Seedlings of Chinese Cabbage

YE Guo-rui<sup>1,2</sup>, ZHONG Xin-min<sup>2</sup>, LI Bi-yuan<sup>2</sup>, WANG Wu-hong<sup>2</sup>, LIU He-qin<sup>3</sup>

(1. College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004; 2. Institute of Vegetable Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021; 3. Institute of Crops and Nuclear Technology Utilization, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021)

**Abstract:** Two different Chinese cabbage varieties (“534” and “676”) with different cold tolerance were taken as the samples. The difference of diurnal changes of fluorescence parameters which can be used as the trait tolerant to cold were studied in both the period of inhibition and the period of recovery under the condition of low temperature before having obvious damaged symptoms. The results showed that the decreasing extent of *Fv/Fm* and *qP* in “534” with weak cold tolerance was significantly bigger than that in “676” which have strong cold tolerance under the inhibition of low temperature. *qN* of “534” and “676” increased in the period of inhibition, in which “676” increased more than “534”. The differences of diurnal changes of *Yield* decreasing between the two varieties were not significant. The recovery extent of *Fv/Fm* and *qP* in “676” was bigger than “534” after 3 day’s recovery, nevertheless the differences of diurnal changes of *Yield* recovering between the two varieties were not significant. Those parameters of “534” were more sensitive to coldness than those of “676” in the period of inhibition, at the same time, those parameters of “676” recovered more quickly than those of “534” in the period of recovery. These parameters can be reflected as the trait tolerant to cold.

**Key words:** chlorophyll fluorescence; Chinese cabbage; low temperature; diurnal variation; chilling tolerance