



青海薄荷的光合及热能耗散特性研究

李和平^{1,2}, 师生波^{1*}, 刘玉萍³, 韩发¹, 吴学明³

(1 中国科学院 西北高原生物研究所 高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810001; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3 青海师范大学, 西宁 810800)

摘要:对青海省民和、西宁和湟源 3 个地区的药用植物薄荷 (*Mentha haplocalyx* Briq.) 的净光合速率和叶绿素荧光参数的变化进行分析比较。结果显示: (1) 最大净光合速率 (P_n) 湟源 > 西宁 > 民和; (2) PS 反应中心最大光化学效率 (F_v/F_m) 以及 PS 反应中心活性参数 ($1/F_o - 1/F_m$) 和实际光化学量子效率 (ϕ_{PS}) 的变化趋势相同, 均以西宁最高, 而相应的光合功能的相对限制 (L_{PDF}) 西宁最低; (3) 西宁薄荷的光化学猝灭系数 (q_p) 最高 (0.875), 而非光化学猝灭 (NPQ) 则最低 (1.114)。研究表明, 青海薄荷有光抑制现象发生, 但并没有造成 PS 反应中心的不可逆破坏; 西宁薄荷光化学能力较高而湟源薄荷对于过剩光能的耗散能力较高。

关键词:薄荷; 净光合速率; 叶绿素荧光参数; 光抑制; 热能耗散

中图分类号: Q945.11 文献标识码: A

Characteristics of Photosynthesis and Thermal Dissipation in *Mentha haplocalyx* Briq. in Qinghai

LI He-ping^{1,2}, SHI Sheng-bo^{1*}, LIU Yu-ping³, HAN Fa¹, WU Xue-ming³

(1 Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biology, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2 Graduated Student of Chinese Academy of Science, Beijing 100039 China; 3 Qinghai Normal University, Xining 810800, China)

Abstract: The officinal herb species of *Mentha haplocalyx* Briq. were used as a researchful material to study the characteristics of net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters, which collected from Minhe, Xining and Huangyuan in Qinghai Province. The result showed that (1) net photosynthetic rate (P_n) in Huangyuan was the highest in three samples; (2) the PS maximum photochemical efficiency (F_v/F_m), actual quantum efficiency (ϕ_{PS}) and active of PS reaction center ($1/F_o - 1/F_m$) were the highest in Xining sample, corresponding the relative limitation of photosynthetic function (L_{PDF}) was lowest in Xining sample; (3) The photochemical fluorescence quenching (q_p) was highest in Xining sample among the three samples (0.875), but non-photochemical fluorescence quenching (NPQ) was highest in Huangyuan sample (1.114). Those results indicated that this herb can occur photoinhibition in strong light intensities, but these did not cause irreversible damage in PS reaction centers. Xining sample had the highest ability to utilize exciting energy and Huangyuan sample could dissipate excessive exciting energy thermally in three samples.

Key words: *Mentha haplocalyx* Briq.; net photosynthetic rate; chlorophyll fluorescence parameters; photoinhibition; thermal dissipation

* 收稿日期: 2007-06-07; 修改稿收到日期: 2008-01-08

基金项目: 国家自然科学基金课题 (30670307; 30570270); 国际科技合作重点项目计划 (2002CB714006); 中国科学院知识创新项目 (KSCX2-1-07)

作者简介: 李和平 (1982 -), 女 (汉族), 在读硕士研究生, 主要从事植物光合生理方面的研究。E-mail: heping009@163.com

* 通讯作者: 师生波, 副研究员, 硕士生导师, 从事高原植物的光合生理和植物对高原强辐射适应性研究。E-mail: sbshi@nwipb.ac.cn

光是影响植物地理分布和光合生产力的主要环境因子,植物适应光环境变化的能力在很大程度上决定着它的分布和丰度^[1]。研究表明,植物光合作用的高速有效运行依赖于光合机构对所吸收光能在光化学和非光化学途径中的合理分配。当叶片接受的光能超过它所能利用的量时,光就可引起光合能力的降低,即产生光合作用的光抑制现象^[2]。植物光合机构在长期的进化过程中形成了多种保护机制,以最大程度地减少强光可能造成的潜在伤害^[3]。其中一种快速有效的保护途径就是通过天线系统非辐射耗散将过剩光能通过热能形式耗散掉,这是在光抑制的条件下植物所做出的即时响应,可在短期内为植物提供有效的光保护作用^[4]。叶绿素荧光分析技术是一种以光合作用理论为基础,利用植物体内叶绿素 a 作为天然探针,研究和测定植物光合生理状况及各种外界因子对植物细微影响的新型活体测定和诊断技术^[5]。目前这种技术被广泛地应用于光合作用机理的研究。

薄荷 (*Mentha haplocalyx* Briq.) 为多年生草本。全草可以入药,主治感冒发热、头痛、喉痛、目赤等。薄荷在青海省主要产于东部农业区,生于海拔 1 800~2 500 m 的水边湿地^[6]。为了更进一步明确薄荷的光合生理特性,以青海省东部农业区民和、西宁和湟源的薄荷为材料,比较分析了 3 个地区薄荷的净光合速率和叶绿素荧光动力学参数,以期对薄荷的开发利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验材料薄荷采集自青海省东部农业区的民和、西宁和湟源 3 个地区。民和地处青海省最东部,海拔 2 100 m,年均气温 8.1℃,最高达 35℃,年平均降水量为 362.0 mm,年太阳辐射为 591.2 kJ·cm⁻²;西宁位于青海省东部湟水谷地,海拔 2 300 m,年平均气温为 5.6℃,夏季日最高气温 31℃,年降水量 371.22 mm,年总辐射量达 588 kJ·cm⁻²;湟源位于日月山下,海拔 3 200 m,年平均温度 2.8℃左右,年平均降水量为 404.4 mm,年太阳辐射为 620.07 kJ·cm⁻²。

在薄荷生长旺季(6~7 月份),分别从民和、西宁和湟源 3 个地方将植株连根带土移栽至花盆中(为保证移栽后薄荷植株盆栽生长土壤环境与其生长地土壤环境相近),采回后在西宁中国科学院西北高原生物研究所院内半遮阴环境中经短暂适应后(

~2 d),于室内人工光源进行光合速率和荧光等参数的测定。

1.2 测定方法

1.2.1 净光合速率(P_n)和光合色素含量的测定

净光合速率的测定:将移栽至花盆中的 3 个地区薄荷植株放置于无强光直接照射的半遮阴环境中适应 1~2 d。在植株上选取取光较一致且长势较均一的健康叶片,在室内用 LSZH Clark 氧电极(英国, Hansatech 公司)分别测定 0、45、90、180、360、450、900、1 440、1 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下的净光合速率(P_n)。测定时叶片在每个光强下平衡约 3~5 min;每个地区的样本进行 4~5 次重复测定。表观量子效率(AQY)用 0~150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内净光合速率的直线回归斜率来表示。

光合色素含量的测定:完成净光合速率的测定之后,叶片用 BS 200S 电子天平(德国,Sartorius 公司)称重,并用 CF203 叶面积仪(美国,CID 公司)测定叶面积,然后放入 10 mL 体积比为 45%乙醇、45%丙酮、10%蒸馏水的混合溶液浸泡。遮光且 4℃低温保存,约一个星期以后用 UV-1601 分光光度计(日本,岛津公司)测定浸出溶液在 663、645 和 470 nm 波长下的吸收值。依照 Arnon 公式计算单位叶面积叶绿素和类胡萝卜素的含量。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定 首先用盆栽薄荷植株测定经过一夜暗适应叶片的初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)参数。即将 3 个地区盆栽植株放入植物培养实验室内暗适应约 12 h,于次日早晨在避免自然光照射的情况下,用便携式调制荧光仪 FMS2(英国,Hansatech 公司)测定 F_0 、 F_m 和光系统(PS)最大光化学效率(F_v/F_m)。随后将从植株上摘取的叶片放入盛有少量蒸馏水的玻璃培养皿中,保证薄荷叶片的叶柄基部浸入水中。为避免叶片在人工光辐射下表皮过分蒸腾引起气孔关闭,进而影响光合气体交换和电子传递过程,因此在玻璃培养皿上用透光率为 90% Luminar 薄膜覆盖。将放有叶片的玻璃培养皿置于荧光灯培养架下,以光合有效辐射为 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光强进行照射。隔 1 h 后取出叶片,用湿滤纸夹住叶柄基部,暗适应 5 min 后测定 F_v/F_m ;约 5 h 光照处理后测定作用光下的叶绿素稳态荧光(F_s)、最大荧光强度(F_m)等参数。关闭培养架荧光灯,测定不同暗恢复时期的叶片荧光参数 F_v/F_m 。每个地区的样本设 4 个重复。

参照 Genty^[7]公式重新计算光化学猝灭系数 $q_p = (F_m - F_s)/F_v$ 和非光化学猝灭参数 $NPQ = (F_m$

- F_m)/ F_m 以及 PS 实际光化学量子效率 $\text{PS} = (F_m - F_s)/F_m$ 。假设叶片光合作用的最量子效率为 0.83,根据 Schreiber 等^[8]的计算方法估计 450 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 作用光强度下光合功能的相对限制 $L_{\text{PFD}} = 1 - (F_v/F_m \times q_p)/0.83$ 。

1.2.3 统计分析方法 采用 SPSS11.0 软件进行多重比较和方差分析。

2 结果与分析

2.1 青海薄荷光合作用的光响应特性

在一定光强范围内,随光通量密度(PFD)的增加(图1),薄荷叶片的净光合速率增加。在相同PFD下,薄荷叶片净光合速率湟源的最高,其次是西宁,民和的最低。多重分析表明,湟源薄荷的光合能力显著大于民和($P < 0.05$),即湟源薄荷比其它2个地方的有着较高的光合能力。而当光强大于 $1\ 500\ \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时3个地区薄荷叶片净光合速率开始出现下降,说明大于这个光强后发生了光抑制现象,从而引起了净光合速率的降低。

表观量子效率(AQY)与3个地区薄荷叶片净

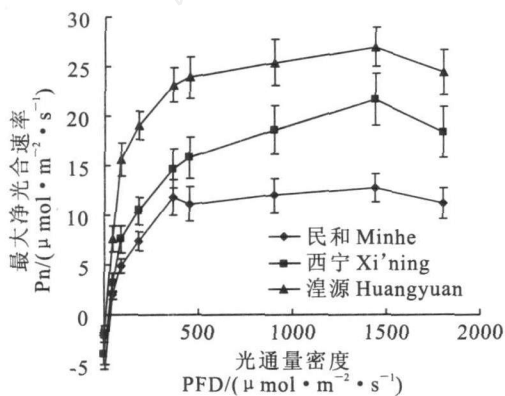


图1 薄荷叶片净光合速率的光响应曲线

Fig. 1 The response curve of net photosynthetic rate to light intensities in *Mentha haplocalyx*

光合速率的变化趋势相同(表1),即AQY在民和、西宁和湟源3个地区的薄荷叶片中依次增高,但差异不显著($P > 0.05$);暗呼吸速率(R_d)则依次降低,且民和与西宁的薄荷叶片间差异显著($P < 0.05$);光补偿点(I)在民和、西宁、湟源3个地区的薄荷叶片中也依次呈降低趋势。即光补偿点高则叶片净光合速率低。

2.2 光合色素含量的分析

薄荷叶片中叶绿素a(Chla)、叶绿素b(Chlb)以及总叶绿素含量(Chl)按产地民和、西宁和湟源的顺序依次升高,而叶绿素a/b比率(Chla/b)则相反(表2)。但不同产地之间差异不显著($P > 0.05$)。3个产地薄荷叶片中类胡萝卜素含量的变化趋势也与叶绿素相同,并且湟源与民和两地间差异显著($P < 0.05$)。说明与其它两个产地薄荷相比湟源薄荷叶片对于光能的捕获能力要强,亦在一定范围内它更适应弱光环境。

2.3 青海薄荷叶片的叶绿素荧光参数

2.3.1 PS 反应中心的最大光化学效率(F_v/F_m)和实际光化学量子效率(PS)的变化 3个产地薄荷叶片的PS 反应中心最大光化学效率(F_v/F_m)的变化趋势相似(图2A)。经过12h充分暗适应后薄荷叶片的PS 反应中心最大光化学效率都很高,民和、西宁和湟源 F_v/F_m 分别为 0.838、0.847 和 0.829,但无显著差异。离体叶片在人工光源下进行光照处理,在5h光照中,随着时间的延长,3个地区薄荷的 F_v/F_m 都呈现下降趋势,说明薄荷叶片的光合机构吸收过剩光能后发生了光抑制。湟源薄荷下降幅度最大,其次是民和的,西宁的下降幅度最小。5h光照处理之后叶片立即进行暗恢复实验。实验表明,随着暗处理时间的延长,薄荷叶片的 F_v/F_m 都开始增加,即PS 反应中心活性开始恢复,亦即光照处理并未引起薄荷叶片光合机构功能的较大损伤,并未造成PS 反应中心的不可逆破坏。

表1 薄荷叶片的表观量子效率、暗呼吸速率、光补偿点比较

Table 1 The variation of apparent quantum yield(AQY),dark respiratory rate (R_d) and light compensation point (I) in *Mentha haplocalyx*

光合作用参数 Photosynthetic parameters	民和 Minhe	西宁 Xining	湟源 Huangyuan
表观量子效率 AQY	0.096 ±0.011 a	0.113 ±0.004 a	0.180 ±0.047 a
暗呼吸速率 $R_d/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	- 4.632 ±0.871 a	- 2.967 ±1.353 ab	- 1.083 ±0.487 b
光补偿点 $I/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	48.16 ±5.561 a	26.14 ±11.43 b	6.066 ±2.051 c

注:表中数据为平均数 ±标准差(西宁 $n=5$;民和和湟源 $n=6$),不同小写字母表示5%显著性水平。下同。

Note:Figures are means ±SD,different normal letters mean significant differences between different sample at $\alpha=5\%$. The same as below.

表 2 薄荷叶片的光合色素含量比较

Table 2 The variation of contents of photosynthetic pigments in *Mentha haplocalyx*

光合色素 Photosynthetic pigments	民和 Minhe	西宁 Xining	湟源 Huangyuan
叶绿素 a Chla/ (mg · cm ⁻²)	0.026 ±0.002 a	0.028 ±0.001 a	0.028 ±0.004 a
叶绿素 b Chlb/ (mg · cm ⁻²)	0.009 ±0.001 a	0.010 ±0.001 a	0.014 ±0.008 a
总叶绿素 Chl/ (mg · cm ⁻²)	0.034 ±0.002 a	0.037 ±0.002 a	0.042 ±0.012 a
类胡萝卜素 Carotenoids/ (mg · cm ⁻²)	0.010 ±0.001 b	0.011 ±0.0004 ab	0.012 ±0.002 a
叶绿素 a/ b Chla/ b	2.988 ±0.080 a	2.870 ±0.135 a	2.449 ±0.835 a

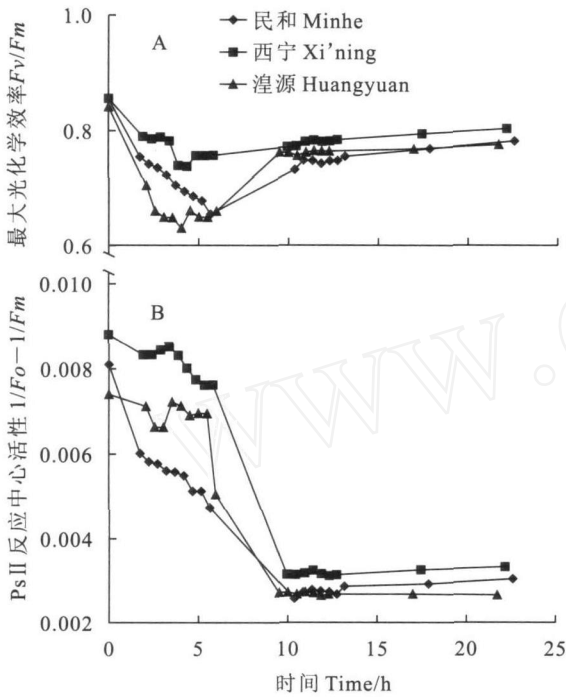


图 2 薄荷叶片 PS 反应中心的最大光化学效率(A)和 PS 反应中心活性(B)的变化

Fig.2 The variation of F_v / F_m (A) and $1 / F_o - 1 / F_m$ (B) in *M. haplocalyx*

经过一夜的恢复, F_v / F_m 仍然没有达到在植株上测定时的值。

$1 / F_o - 1 / F_m$ 这个参数可以反映 PS 反应中心的活性。12 h 充分暗适应后,薄荷叶片的 $1 / F_o - 1 / F_m$ 在民和、西宁和湟源分别为 0.008 1、0.008 8 和 0.007 4。照光和暗恢复处理时 3 个产地薄荷的 $1 / F_o - 1 / F_m$ 变化趋势相似(图 2,B)。在 5 h 的照光中,随着照光时间的延长,都明显下降;暗处理之后,三者的 $1 / F_o - 1 / F_m$ 随着时间的延长有所上升,但都维持在一个较低的水平。说明随光照时间增加,PS 反应中心活性下降,遮光时虽有恢复但未达到最初水平。

西宁薄荷的实际光化学量子效率(Φ_{PSII})要明显高于其它两地($P < 0.05$),湟源的最低(图 3,A)。

在一定光强下(450 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的 L_{PDF} 估算表明,西宁的 L_{PDF} 显著低于民和、湟源两地($P < 0.05$),民和薄荷的 L_{PDF} 稍低于湟源的(图 3,B)。荧光参数的变化说明 3 个产地的薄荷对于光能的利用存在着一定的差异,西宁薄荷吸收光能用于光化学过程的能力要大于其它两地的薄荷,且西宁薄荷对光强的适应范围在三者中为最广。

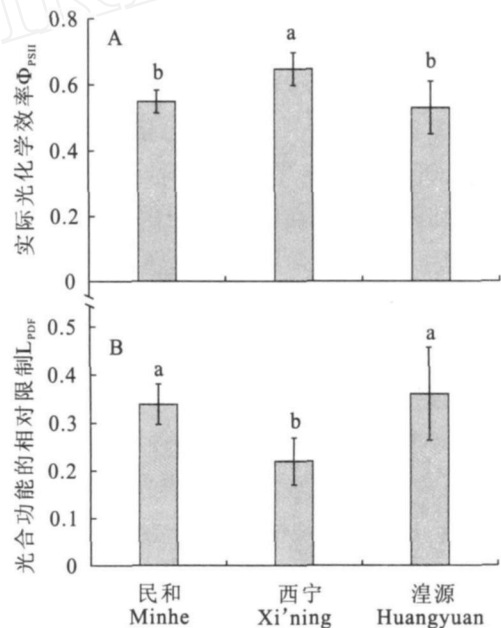


图 3 薄荷叶的实际光化学量子效率(A)和光合能力相对限制(B)的差异

Fig.3 The variation of Φ_{PSII} (A) and L_{PDF} (B) in *M. haplocalyx*

2.3.2 光化学猝灭(q_p)和非光化学猝灭(NPQ)的变化 表 3 比较了 3 个产地薄荷叶片的光化学猝灭(q_p)、非光化学猝灭(NPQ)和电子传递速率(ETR)的变化。西宁薄荷的光化学猝灭能力要大于民和和湟源的,而反映热能耗散能力的参数 NPQ 明显地低于民和和湟源薄荷($P < 0.05$)。3 个地区薄荷的电子传递速率也是西宁的明显高于湟源和民和的($P < 0.05$)。说明西宁薄荷 PS 反应中心的开放

表3 薄荷的光化学猝灭系数、非光化学猝灭系数和电子传递速率的变化

Table 3 The variation of photochemical fluorescence quenching (q_p), non-photochemical fluorescence quenching (NPQ) and electron transport rate (ETR) in *M. haplocalyx*

荧光参数 Fluorescence parameters	民和 Minhe	西宁 Xining	湟源 Huangyuan
光化学猝灭系数 q_p	0.811 ±0.036 b	0.875 ±0.029 a	0.834 ±0.064 ab
非光化学猝灭系数 NPQ	1.838 ±0.315 a	1.114 ±0.381 b	2.121 ±0.624 a
电子传递速率 ETR/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	80.66 ±5.10 b	95.13 ±7.33 a	77.96 ±11.73 b

程度在3个地区中是最大的;民和和湟源薄荷比西宁的具有较强的将过剩的激发能转化为热能耗散的能力。

3 讨论

光合色素在植物光合作用过程中起着光能吸收、传递和转化的重要作用^[9]。本实验中3个地区薄荷叶片的叶绿素a含量按照湟源、西宁和民和的顺序依次降低,而3个产地薄荷之间叶绿素a含量没有明显的差异($P>0.05$) (表1);3个地区薄荷叶片中湟源的叶绿素a/b比值为最低,叶绿素b含量最高,说明湟源薄荷叶片中捕光色素系统发达^[10],与其它2个产地薄荷相比湟源薄荷叶片对于光能的捕获能力要强,亦说明在一定范围内它更适应弱光环境^[11]。类胡萝卜素有助捕光色素捕获光能的功能,并且对植物体内产生的活性氧自由基有清除作用^[12]。3个地区的类胡萝卜素含量按照民和、西宁和湟源的顺序递增。通常认为,海拔越高,太阳辐射越强,同时紫外线辐射强度也增加,湟源薄荷叶片中类胡萝卜素含量较高是植物适应当地环境因素的表现^[13]。在一定光强范围内随着光强的增加,3个产地薄荷的净光合速率都随之增加;湟源薄荷的净光合速率要高于民和和西宁的(图1),即湟源薄荷比其它2个地方的有着较高的光合能力。前人实验结果表明,青海薄荷叶片中叶绿素含量和光合能力的大小有较紧密的关系,即叶绿素含量高,相对应的净光合速率就越高;尽管有研究认为植物的净光合速率和叶绿素含量的变化不一定都呈正相关的变化趋势^[9]。何涛^[13]通过对不同海拔3种高山植物火绒草、二裂委陵菜和蒲公英的光合生理研究表明,随着海拔的升高,3种高山植物叶片中叶绿素含量表现出不同程度的降低。然而在本实验中3个地区的薄荷叶片中叶绿素含量与海拔无相关性。本实验认为不同海拔产地青海薄荷所产生的光合生理特性差异,是由于各产地光照、水热等多种环境因子的差异综合作用所引起,海拔高度的变化仅仅是一个导致

局域环境变化的因素。

离体叶片进行人工光照处理时,随处理时间的延长开放PS反应中心最大光化学效率(F_v/F_m)也呈现降低趋势,说明光合机构吸收过剩光能后发生了光抑制^[14]。在此后的遮光暗恢复处理中,3个产地薄荷叶片的 F_v/F_m 都呈现上升趋势,PS反应中心活性开始恢复,意味着光照处理并未引起薄荷叶片光合机构功能的较大损伤,亦即并未造成PS反应中心的不可逆破坏^[15]。经过12h的暗恢复处理, F_v/F_m 始终没有达到最初在完整薄荷植株上测定的值,造成这个现象的原因可能是离体叶片暗恢复时的生理状况不同于在植株上的生理状况,从而形成了差异。进一步分析表明,在稳定作用光强下西宁薄荷的实际光化学量子效率(ϕ_{PS})要高于民和和湟源的,相对应的光合功能相对限制(L_{PDF})明显小于其它两地的。说明3个产地的薄荷对于光能的利用存在着一定的差异,西宁薄荷吸收光能用于光化学过程的能力要大于其它两地的薄荷。 $1/F_0 - 1/F_m$ 参数可以反映PS反应中心的活性,在照光处理的5h内(图2B)随着光照时间的延长,呈现出明显的下降趋势;在随后暗恢复处理中,随着暗处理时间增加,3个地方的薄荷叶片的PS反应中心活性都略微有上升,但维持在较低的水平(约0.03左右),说明随光照时间增加,PS反应中心活性下降,遮光暗恢复时虽有增加但未恢复到最初水平,其原因可能与 F_v/F_m 在暗处理时未能达到其初始最大值的原因相同。西宁薄荷叶片PS反应中心活性要高于其它两地的,和 ϕ_{PS} 变化趋势相同,进一步说明了西宁薄荷比其它两地薄荷更适应强光下生长,光抑制现象没有其它两地明显。

过剩激发能的耗散对于光能的吸收和电子传递起关键作用,而且对于防止光合器官的光抑制至关重要^[4]。荧光猝灭是过剩光能耗散的一种形式,可分为两类:非光化学荧光猝灭和光化学荧光猝灭。光化学猝灭与光系统电子传递和初始电子受体QA的氧化还原有关^[16],非光化学猝灭反映的是PS

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激发能部分^[17]。当 PS 反应中心天线色素吸收的光能超过所能利用的量时,如不及时地耗散掉这部分过剩激发能,则将对光合机构造成失活甚至是破坏,所以非光化学猝灭是植物的一种自我保护机制,对光合机构起一定的保护作用^[18]。

在室内恒定光强度下,西宁薄荷的光化学猝灭系数(q_p)要高于民和和湟源的。光化学猝灭系数愈大,表明 PS 反应中心的开放程度愈高^[19],即西宁薄荷 PS 反应中心的开放程度在 3 个地区中是最大的。3 个产地薄荷的电子传递速率(ETR)亦可证明西宁薄荷的电子传递速率要明显地高于其它 2 个地方的薄荷。

热耗散的程度通常可用荧光的非光化学猝灭来检测^[20]。西宁薄荷的非光化学猝灭系数(NPQ)要明显地低于其它两地的($P < 0.05$) (表 3),说明西宁薄荷的热耗散能力要低于民和和湟源的;与此同时,西宁薄荷的 F_v/F_m 、 PS_{II} 、 q_p 均较高,说明在处于同样光强之下时西宁薄荷较之于民和、湟源两地薄荷参与光化学的能力强。而民和和湟源薄荷比西宁的具有较强地将过剩的激发能转化为热能耗散的能

力,因此在吸收的光能用于光化学反应之后,过剩激发能则以热能形式耗散掉,从而也避免了光合机构的可能光伤害。

通过实验发现,同一种薄荷,由于产地的不同而呈现出不同的光合特性。在同样光强辐射下西宁薄荷将吸收光能用于光化学反应的程度要大于其它两地的薄荷,因此,西宁和湟源的薄荷可能更适应于在青海农业区大范围的引种栽培。

有研究表明,强光下植物光合作用所能利用的光能相对较少,而形成较多的过剩激发能。为避免光合机构的破坏需要光合功能的下调,而通过耗散过剩的激发能来抵御强光造成的伤害,是植物防御光破坏的机制之一^[21]。按照这个结论西宁的 q_p 高、NPQ 低,就该有较高的净光合速率,而本实验结果显示 3 个产地薄荷叶片净光合速率湟源的为最高。因此本实验中民和、西宁、湟源薄荷的净光合速率变化趋势和叶绿素荧光参数变化趋势没有直接的相关性。究其原因,可能是两种测定过程的差异所引起的。叶绿素荧光仅仅涉及了叶片浅层细胞内的叶绿素的激发现象,能够对外界环境变化产生灵敏的响应;而叶片净光合速率反映了单位面积叶片中整个厚度范围所有光合机构的特性。

参考文献:

- [1] GREER G H, BEN Y J A, BJORKMAN O. Photoinhibition of photosynthesis in intact bean leaves: the role of light and temperature and requirement for chloroplast-protein synthesis during recovery[J]. *Planta*, 1986, 168: 253 - 257.
- [2] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 165.
- [3] ANDERSON J M, PARKY, CHOW W S. Photoinactivation and photoprotection of photosystem. . In nature[J]. *Physiology Plant*, 1997, 100: 213 - 223.
- [4] WANG Q (王 强), WEN X G (温晓刚), ZHANG Q D (张其德). Progress in studies on photoinhibition[J]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 2003, 20(5): 539 - 548 (in Chinese).
- [5] LUO J (罗 俊), LIN Y Q (林彦铨), ZHANG M Q (张木清), L Ü J L (吕建林), CHEN R K (陈如凯), HONG W X (洪伟雄). Assessment of drought resistance of sugarcane varieties through chlorophyll a fluorescence induction kinetics parameters of leaf chloroplast and active oxygen metabolism[J]. *Sugarcane* (甘蔗), 1999, 6(3): 14 - 22 (in Chinese).
- [6] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海经济植物志[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987: 494 - 495.
- [7] GENT Y B, BRIAN T A J M, BACKER N R. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochimica and Biophysica Acta*, 1989, 990: 87 - 92.
- [8] SCHREIBER U, BIL GER W, NEUBAUER C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis[A]. In *Ecophysiology of Photosynthesis*[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 49 - 70.
- [9] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 46 - 47.
- [10] ZHANG SH R (张守仁), GAO R F (高荣孚), WANG L J (王连军). Response of oxygen evolution activity of photosystem. . Photosynthetic pigment and chloroplast ultrastructure of hybrid poplar clones to light stress[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2004, 28(2): 143 - 149 (in Chinese).
- [11] SHI X D (时向东), WEN ZH Q (文志强), LIU Y F (刘艳芳), WANG W J (汪文杰). Effect of shading on growth and photosynthetic capabilities of tobacco leaves of cigar-wrapper use[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2006, 26(8): 1 718 - 1 721 (in

- Chinese).
- [12] YONG A J. The photoprotective role of carotenoids in higher plants[J]. *Physiology Plant*, 1991, 83:702 - 708.
- [13] 何涛. 不同海拔三种高山植物叶片结构与光合生理相关性研究[D]. 青海:青海师范大学生命科学系, 2004.
- [14] FENG Y L(冯玉龙), FENG ZH L(冯志立), CAO K F(曹坤芳). The protection against photodamage in *Amomum villosum* Lour. [J]. *Acta Phytophysiologica Sinica* (植物生理学报), 2001, 27:483 - 488(in Chinese).
- [15] SHI SH B(师生波), LI H P(李和平), WANG X Y(王学英), LI H M(李惠梅), HAN F(韩发). Utilization and dissipation of strong solar radiation in two alpine plant, *Anisodus tangguticus* and *Rheum tangguticum*[J]. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2007, 31(1):129 - 137(in Chinese).
- [16] YI X F(易现峰), YANG Y Q(杨月琴). The photoprotection of plant in strong solar[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology* (河南科技大学学报), 2005, 26(6):78 - 81 (in Chinese).
- [17] WANG X Y(王学英), SHI SH B(师生波), WU B(吴兵). Diurnal comparison of the net photosynthetic rates and chlorophyll fluorescent parameters of *Gentiana straminea* Maxim. in Xining and Haibei [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2005, 25(12):2514 - 2518(in Chinese).
- [18] ZHANG SH R(张守仁). A discussion of chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1999, 16(4):444 - 448(in Chinese).
- [19] KATE MAXWELL, GILES N, JOHNSON. Chlorophyll fluorescence—a practical guide[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345):659 - 668.
- [20] DEMMING-ADAMS B, W W ADAMS. Photoprotection and other responses of plants to high light stress[J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43:599 - 626.
- [21] ZHANG S R, GAO R F. Diurnal changes of gas exchange, chlorophyll fluorescence, and stomatal aperture of hybrid poplar clones subjected to midday light stress[J]. *Photosynthetica*, 1999, 37(4):559 - 571.

《西北植物学报》投稿须知

1. 内容范围:《西北植物学报》立足西北,面向全国,主要刊载有关植物遗传育种学、分子生物学、植物基因工程、植物解剖学、植物分类学、植物生理生化、药用植物成分分析,以及植物群落生态学、生物多样性、植被演替、植物区系等基础理论研究方面具有创新性的原始论文、研究简报以及具有较高学术水平的综述论文和反映最新科技成果的快报。

2. 投稿:初稿需一式二份(图版、照片必须原件)或网上投稿均可。作者可提出要求回避的同行专家1~2名,也可以推荐3~5名非作者单位的审稿人。投稿时作者务必填写《西北植物学报》论文著作版权专有许可使用代理与授权书(本刊网站下载)寄编辑部,同时作者须支付审稿费100元(英文150元)。

3. 来稿信息要求:作者姓名、工作单位、地址、联系电话、E-mail,并在篇首页脚注明论文的基金项目:包括基金来源名称及项目编号;作者简介:包括姓名(出生年-),性别(民族)、学历、学位(或在读研究生)、职称(博士生导师、院士)及所从事的专业方向。

4. 打印要求:来稿请用5号字1.5倍行距打印,标点符号力求正确。外文字母大、小写必须分清,数字或符号的斜体、上下标必须标明。凡文中首次出现的植物属、种名须附拉丁文学名(斜体)并核对无误。

5. 说明:为扩大学术交流渠道,本刊已加入“中国期刊网全文数据库(《中国学术期刊·光盘版》)”、“中国核心期刊(遴选)数据库(万方数据-数字化期刊群)”、“中文科技期刊数据库(科技部西南信息中心重庆维普资讯公司)”和中国台湾华艺中文电子期刊服务——思博网(CEPS),作者著作权使用费与本刊稿酬一次付给。稿件一经刊出,将赠送样刊2本和抽印本若干。

来稿请寄:陕西杨陵西北农林科技大学西林校区《西北植物学报》编辑部

邮政编码:712100 电话:029-87082936

E-mail:xbzwx@vip.163.com 网址:http://xbzwx.nwsuaf.edu.cn