

不同海拔麻花苳植物光合特性的比较

李惠梅^{1,2}, 师生波¹ (1.中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁 810008; 2.青海民族学院公共管理系, 青海西宁 810008)

摘要 [目的]探讨不同海拔下麻花苳植物的光合特性。[方法]通过植物光合作用对光强、温度和 CO₂ 的响应和酶活性的比较, 研究了不同海拔麻花苳植物的光合性质。[结果]高海拔的青海麻花苳植物光合作用受到低温、强光、低气压的限制。低海拔的西宁麻花苳植物的净光合速率较高, 但是高海拔的青海麻花苳植物的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和抗坏血酸过氧化物酶 (AP) 的活性和丙二醛 (MDA) 的含量高于西宁的麻花苳植物。[结论]低海拔的麻花苳植物光合潜力和温度适应范围广, 引种栽培具有极大的优势, 但是高温有可能造成光抑制, 会降低光合生产力。高海拔的青海麻花苳植物光合色素的含量较低但具有较高的抗氧化酶的活性, 保护了光合机构免遭破坏。

关键词 麻花苳; 不同海拔; 光合作用

中图分类号 S567.23*9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)11-04799-06

Photosynthetic Characteristics of *Gentiana straminea* at Different Altitudes

LI Hui-mei et al (Northwest Plateau of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810008)

Abstract [Objective] The research aimed to explore photosynthetic characteristics of *Gentiana straminea* at different altitude. [Method] The photosynthetic characteristics in different light, temperature, CO₂ and the activities of SOD, POD, CAT, AP and the content of MDA were studied. [Result] The results showed that the photosynthesis of *Gentiana straminea* was always restricted by stronger radiation, lower air press and lower temperature in Haibei. Net Photosynthetic rate (Pn) of *Gentiana straminea* was higher in Xining than in Haibei. But the activities of SOD, POD, CAT, AP and the content of MDA were higher than in Xining. [Conclusion] *Gentiana straminea* extensive photosynthetic potential and better adaption in Xining. So it was propitious to plant. However, the highest temperature could result in photoinhibition. The pigment content of *Gentiana straminea* in Haibei was lower than in Xining, but the activities of antioxidases were higher than in Xining, it was responsived for protecting photosynthetic apparatus.

Key words *Gentiana straminea*; Different altitude; Photosynthesis

麻花苳 (*Gentiana straminea* Maxim) 为龙胆科 (Gentianaceae) 龙胆属多年生草本植物, 主要分布于青藏高原的山坡草地、河谷滩地、灌丛以及高寒草甸中, 为青藏高原的草地群落的主要伴随种。麻花苳在传统藏医里用于治疗关节痛、肺病、发烧和黄疸等症。虽然青藏高原药用植物在我国资源植物中占有相当的比例, 但由于市场的需要而长期滥挖乱采, 不仅破坏了当地脆弱的自然生态系统, 而且使一些物种处于濒危的边缘。因此, 采用人工栽培的途径开发药用植物, 对生态保护和缓和市场需求方面具有十分重要的现实意义。为此, 笔者通过对不同海拔麻花苳植物光合作用的光合“午睡”现象的研究, 探讨了长期生长在青藏高原地区的高山药用植物的光合作用对高原极端环境的适应方式, 旨在为人工栽培麻花苳提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验样地 试验共设 2 块样地。一块试验样地设在距离青海省西宁市中国科学院西北高原生物研究所约 5 km 的试验苗圃。西宁地区地处青藏高原的东北隅, 地理位置为 101°46' E, 36°37' N, 海拔 2 300 m。该地区属高原大陆性半干旱气候, 气压低, 太阳辐射强烈, 年总辐射量达 588 kJ/cm²; 夏季暖湿, 东南季风时间较长, 年平均温度 6.1℃, 年平均降雨量 371.2 mm。

另一块试验样地设在中国科学院海北高原草甸生态系统定位研究站地区的矮嵩草草甸。该站位于青藏高原的东北隅, 地处祁连山东段冷龙岭南麓, 地理位置为 101°12' ~ 101°33' E, 37°29' ~ 37°45' N, 海拔 3 200 m。定位站地区属高原大陆性气候, 气压低, 太阳辐射强烈, 太阳直接辐射强, 约占太阳总辐射的 70% 左右, 强度多在 1 000 W/m² 以上, 有效

辐射 (PAR) 可达 2 300~2 400 μmol/(m²·s), 紫外辐射非常强烈, 气温日变化大^[1]。

1.2 测定方法

1.2.1 光合速率的测定。 在每个对照和处理样方中, 各选 4~5 棵生育期相近、受辐射位点相近的植株。经过 50 d UV-B 辐射处理后, 用便携式光合气体分析系统 LI 6400, LI-Cor Inc, Lincoln NE, USA) 进行气体交换参数的测定。测定时使用开放式气路, 叶室环境因子控制条件为: 叶片温度 25℃, 相对湿度 50%~65%。试验选在全晴天进行, 并进行 5~6 次重复。测定时间为 7 月和 8 月上旬, 此时所有植物均处于营养生长早期。

叶片的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、蒸腾速率 (E)、饱和蒸汽压差 (Vpdl)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 直接由仪器自动读出。叶片光合作用过程中的水分利用效率 (WUE) 用 Pn/E 得出。叶片表观量子效率 (AQY) 的计算以光响应曲线中 0~200 μmol/(m²·s) 的 Pn 对光量子通量密度 (PFD) 作直线回归, 得回归方程为:

$$Pn=Rd+AQY \times PFD$$

式中, Rd 为暗呼吸速率; AQY 为表观量子效率。当 Pn=0 时, PFD 即为光合作用的光补偿点 LCP。

以光响应曲线中 0~2 000 μmol/(m²·s) 的 Pn 对 PFD 作曲线回归, 以 Pn 达到最大净光合速率的 95% 的光合 PAR 来估计饱和光强 (LSP)。

以 Pn 对 Ci 曲线中 0~200 μmol CO₂/mol 的点作直线回归, 得回归方程为:

$$Pn=Rp+CE \times Ci$$

式中, Rp 为光呼吸速率, CE 为羧化效率。当 Pn=0 时, Ci 即为光合作用的 CO₂ 补偿点。由于光下暗呼吸速率 (Rd) 很小, 可以近似将光下叶片向无 CO₂ 的空气中释放 CO₂ 的速率看作 Rp^[2]。

作者简介 李惠梅 (1980-), 女, 青海西宁市人, 讲师, 从事植物光合作用方面的研究。

收稿日期 2008-01-28

1.2.2 叶绿素和类胡萝卜素含量的测定。8月下旬取对照和处理样方中的叶片，剪碎混匀，分成3组，分别浸入含10 ml 80%丙酮的提取液中，盖紧样品瓶并密封，避光低温浸提48 h至叶片无色。用UV-2001紫外分光光度计(岛津制作所生产)检测波长为663、646、470 nm处的吸光度值，按下列公式计算：

$$\begin{aligned} \text{叶绿素 } a \text{ (Chl } a) &= 12.21 A_{663} - 2.81 A_{646} \times V / 1000 W \\ \text{叶绿素 } b \text{ (Chl } b) &= 20.13 A_{646} - 5.03 A_{663} \times V / 1000 W \\ \text{类胡萝卜素 (Car)} &= 4.40 A_{470} - 0.01 \times \text{Chl } a - 0.45 \times \text{Chl } b \times V / 1000 W \end{aligned}$$

叶绿素 Chl = Chl a + Chl b

式中，V为提取液总体积(ml)；W为叶片鲜重(g)。计算叶绿素Chl的含量及Chl a/Chl b的值。重复3次。

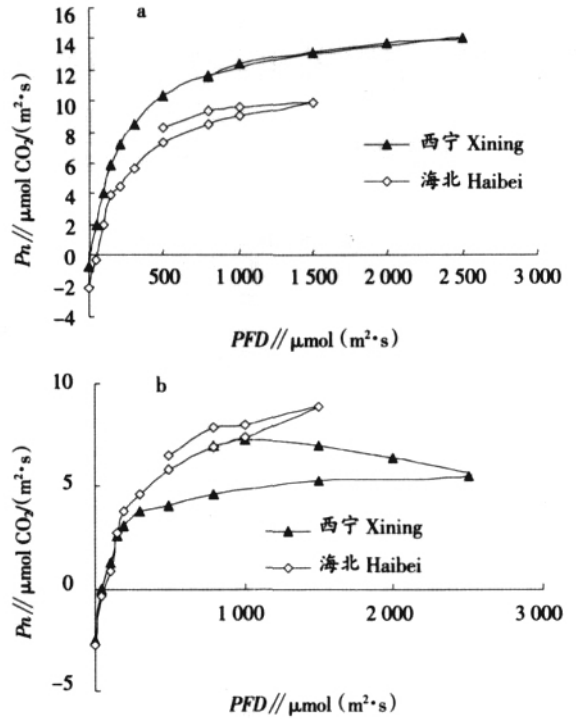
1.2.3 UV-B吸收物质含量的测定。测定方法见文献[3]。8月下旬取对照和处理样方中的叶片，剪碎混匀，分成3组，分别浸入含10 ml 79%酸化甲醇的样品瓶中，盖紧密封，避光低温7 d。结果以10 ml 酸化甲醇提取液中，每克鲜重的叶片在波长250~350 nm处的吸收曲线的面积表示，即A (cm²·gFW)。

1.2.4 抗氧化酶活性和MDA含量的测定。超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参照Giannopoulitis等^[4]的方法，以抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原50%作为1个酶单位(U)，酶活性以U/mg蛋白表示。过氧化物酶(POD)活性的测定参照Orman^[5]的方法，以每分钟A₄₇₀增加0.01为1个酶活单位(U)，酶活性以U/mg蛋白表示。过氧化氢酶(CAT)活性的测定参照Chance等^[6]的方法，测定H₂O₂减少时A₂₄₀的变化，以每分钟酶转变1 μmol/L H₂O₂为1个酶活单位(U)，酶活性以U/mg蛋白表示。抗坏血酸过氧化物酶(AP)活性的测定参照Nakano等^[7]的方法，测定H₂O₂减少时A₂₃₀的变化，以每分钟酶转变1 μmol/L H₂O₂为1个酶活单位(U)，酶活性以U/mg蛋白表示。蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝G-250染色法^[8]，以牛血清蛋白为标准蛋白作标准曲线。MDA含量的测定参照Raeri等^[9]的方法，以材料鲜重表示MDA含量，单位为μmol/gFW。

2 结果与分析

2.1 不同海拔下麻花苻植物光合作用对光的响应 光合适温下西宁的麻花苻植物的净光合速率远高于海北，而在高温下正好相反。西宁和海北的麻花苻植物的光合作用光响应曲线表现为：在PFD为500 μmol/(m²·s)以下时，Pn随着PFD增加直线式增加，在PFD为500~1 000 μmol/(m²·s)时，Pn随PFD增加曲线式地增加，此时温度等环境因素和叶片自身的生理因素极易成为限制因素。在叶片温度低于30 ℃时，西宁的麻花苻植物在PFD大于1 500 μmol/(m²·s)时，Pn随PFD增加而不再增大或缓慢增大，海北的麻花苻植物在PFD大于1 000 μmol/(m²·s)时，Pn随PFD增加而不再增大或缓慢增大。在叶片温度高于30 ℃时，西宁的麻花苻植物的Pn随PFD增大而减小，海北的麻花苻植物的Pn随PFD增加仍然增加，似乎没有饱和的趋势。这说明温度对麻花苻植物的光合作用影响极大，高温造成了西宁的麻花苻植物的光抑制甚至光破坏，而海北的低温限制了麻花苻植物的光合速率的高效进行(图1)。

光合适温下，西宁和海北的麻花苻植物的CE均在



注：a为20℃；b为30℃。Note: a. 20℃; b. 30℃.

图1 不同海拔麻花苻净光合速率的光响应
Fig. 1 Photoresponse of net photosynthetic rate of *G. straminea* at different altitudes

PFD 500 μmol/(m²·s)以下的弱光和PFD为1 000~1 500 μmol/(m²·s)的强光下被促进，并且海北的麻花苻植物的CE大于西宁；PFD高于1 500 μmol/(m²·s)以上的强光均使西宁和海北的麻花苻植物CE下降；PFD为500~1 500 μmol/(m²·s)时，随PFD增大CE增大(图2)。

西宁和海北的麻花苻植物的CO₂补偿点均在50 μmol CO₂/mol以上，说明是C₄植物。西宁的麻花苻植物的CO₂补偿点在PFD为500 μmol/(m²·s)以下的弱光下随PFD增大而增大，在PFD高于500 μmol/(m²·s)以上的强光下随PFD增大而迅速减小。海北的麻花苻植物的CO₂补偿点在PFD小于800 μmol/(m²·s)的弱光和高于1 500 μmol/(m²·s)的强光下均随PFD增大而增大，在PFD为800~1 500 μmol/(m²·s)时随PFD增大而减小。

西宁和海北的麻花苻植物的Rp受PFD在500~1 500 μmol/(m²·s)的强光促进，而在PFD小于500 μmol/(m²·s)的弱光和PFD大于1 500 μmol/(m²·s)的强光下的表现正好相反。即弱光促进了西宁的麻花苻植物的Rp，而限制了海北的麻花苻植物的Rp；强光促进了海北的麻花苻植物的Rp，而限制了西宁麻花苻植物的Rp。通常认为，Rp限制光合速率的增加，而西宁和海北的麻花苻植物的Rp对弱光和强光的不同响应也体现了强光对海北的麻花苻植物的抑制作用。

2.2 不同海拔下麻花苻植物光合作用对温度的响应 由图3可知，西宁和海北的麻花苻植物的Pn均在低温下随着温度而增加，表现出增温对光合作用有促进作用，在高温(温度大于20 ℃)下，随着温度的增加Pn下降，出现了2个最适温度，分别为10、20 ℃。麻花苻植物的Pn均在15 ℃时下降，尤其海北麻花苻植物的Pn下降更为明显。

西宁的麻花苻植物的AQY在光合适温以下的低温下随着温度的升高而增加，在光合适温以上的高温下随着温

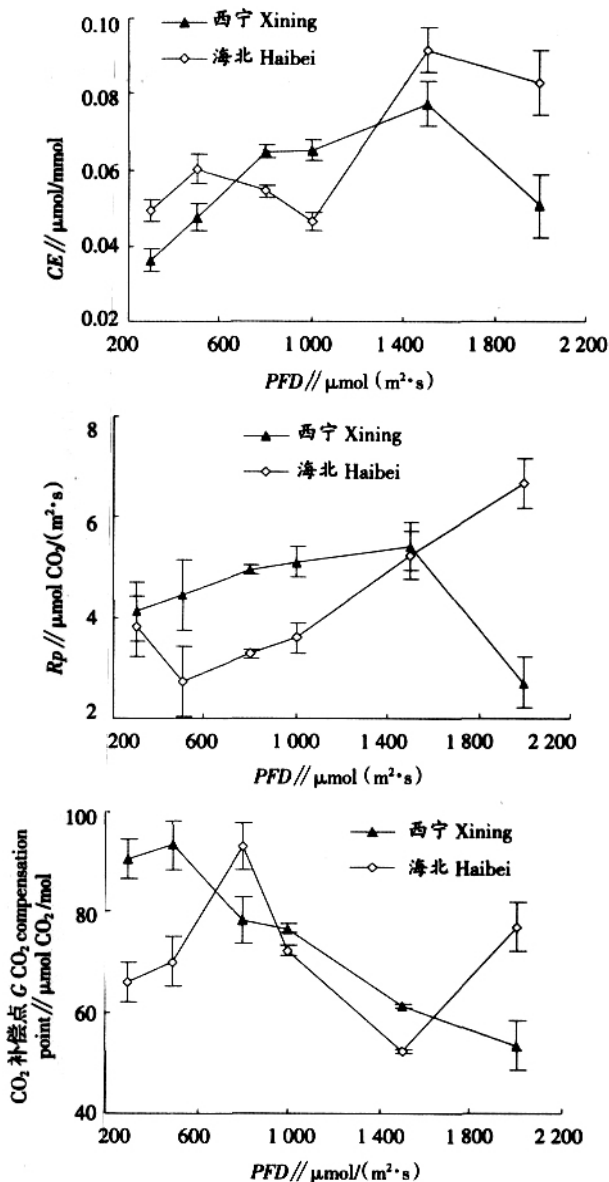


图2 20 °C下不同海拔麻花苳光合作用的光响应
Fig. 2 Photoresponse of photosynthesis of *G. straminea* at different altitudes under 20 °C

度的升高而下降,表现出低温下增温对AQY有促进作用和高温对AQY有限制作用。这可能是由于叶片叶绿素的含量差别引起的叶片吸收比的变化所致^[9]。海北的麻花苳植物的AQY和Pn的变化趋势一致,在光合适温以上的高温下,AQY随着温度的升高而下降,在15 °C时AQY下降。

西宁和海北的麻花苳植物的Rd和Rp均随温度的增加而增加。大于25 °C高温下,海北的麻花苳植物的Rd高而西宁的麻花苳植物的Rp高。高温下西宁的麻花苳植物的光合速率的下降可能与高呼吸速率有关。

西宁和海北的麻花苳植物的LCP和CO₂补偿点均随温度的增加而增加,海北的LCP高于西宁,CO₂补偿点则是西宁的高于海北。这说明低温限制了西宁和海北的麻花苳植物对光合CO₂的利用,而海北的麻花苳植物经常处于低气压、低温、强光下可能是海北的麻花苳植物光合速率低的主要原因。

西宁和海北的麻花苳植物的CE均随温度的升高而增加。大于25 °C高温下,西宁的麻花苳植物的CE大于海北,

并且升高迅速,而低温下海北的麻花苳植物的CE较高。这同样说明海北的麻花苳植物长期生活在低温下,已经适应了低温,增温有利于提高麻花苳植物的CE,进而促进光合作用,提高光合生产力。

西宁和海北的麻花苳植物的LSP均在小于15 °C的低温下随温度的增加而下降,在大于15 °C时随温度的增加而增加。西宁的麻花苳植物的LSP的变化更为明显,并且高于海北。

2.3 不同海拔麻花苳植物光合作用对CO₂的响应 高CO₂极大地促进了西宁和海北的麻花苳植物的Pn,但海北的麻花苳植物受促进更明显,在高CO₂浓度下海北的麻花苳植物的Pn高于西宁。这说明经常处于低气压下的海北的麻花苳植物的光合作用较低是由于受低CO₂浓度的限制所致,升高CO₂浓度有利于提高海北的麻花苳植物的光合速率,进而提高光合生产力。

由图4可知,西宁和海北的麻花苳植物的Pn均在低Ci(500 µmol CO₂/mol)下随Ci增加而直线式增加,此时的光合作用受Rubisco限制;西宁和海北的麻花苳植物的Pn在Ci为500~1000 µmol CO₂/mol的CO₂浓度下随Ci增加而曲线式增加,表明光合机构由受Rubisco限制转变为受类囊体的RUBP的再生限制;在高Ci下,Pn的变化由于温度的不同表现不同。在光合适温20 °C以下,西宁和海北的麻花苳植物的Pn在Ci大于1000 µmol CO₂/mol以上的高CO₂浓度下随Ci增加缓慢增加,表现为光合作用受到叶绿体无机磷(Pi)的再生限制;在25 °C时,西宁和海北的麻花苳植物的Pn在Ci大于1000 µmol CO₂/mol以上的高CO₂浓度下随Ci增加而曲线式增加,表现为光合作用受到类囊体的限制。

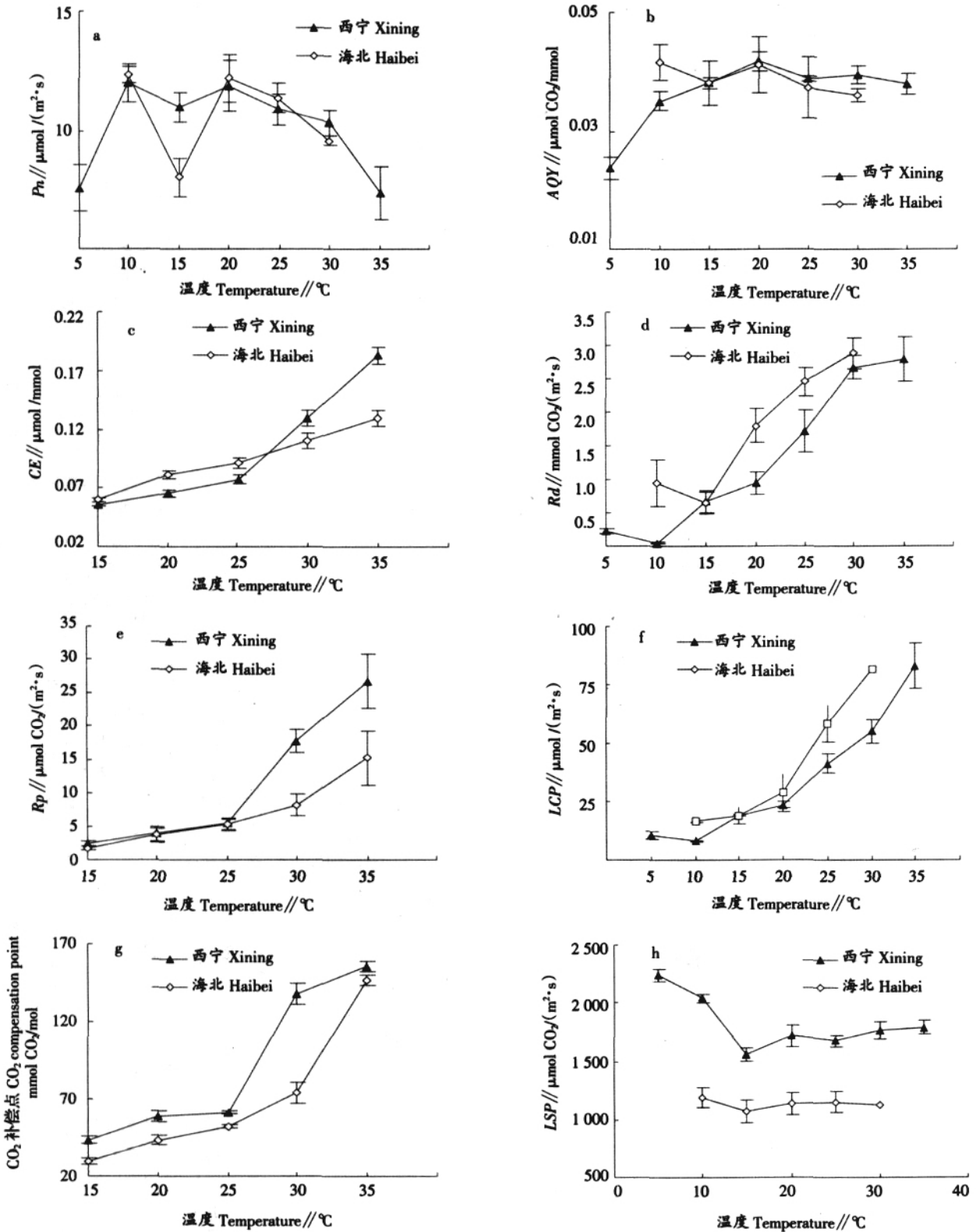
2.4 不同海拔麻花苳植物光合色素和紫外吸收物质的比较 由图5可知,海北的麻花苳植物的Chl、Car含量及UV-B吸收物质含量均低于低海拔的西宁的麻花苳植物,而Chla/chlb则正好相反。

2.5 不同海拔麻花苳植物的抗氧化酶活性和MDA含量的比较 由图6可知,海北的麻花苳植物的SOD、POD、CAT、AP酶活性和MDA的含量均高于低海拔的西宁的麻花苳植物。

3 结论与讨论

光合速率是反映光合有机物运转状况的一个灵敏的指标,它在经常变化的多种外界环境因素和植物体内部因素的影响下处于不断的变化中。这些环境因素包括光照、温度、水分、空气、无机营养等。经常遭受强光、低温、低气压等逆境的青藏高原植物具有独特的光合特性和适应机制。

光对光合作用的影响不仅体现在提供同化物质形成所需要的能量、活化参与光合作用的一些酶和促进气孔开放,还表现在光照不足时因同化物的短缺而限制光合碳同化和光能过量引起的光合作用的光抑制,进而造成光合机构的光破坏。强光下,西宁的麻花苳植物的Rp、CE均随PFD增加而增加,CO₂补偿点随PFD增加而下降,光强对西宁的麻花苳植物的CE的促进作用更为明显。这说明强光极大地促进了西宁的麻花苳植物的Rubisco活化酶数量的增加,进而促进了西宁麻花苳植物的光合效率,这可能也是西宁麻花苳植物的Pn高于海北的原因之一。无论是太强还是太弱的光都促进了西宁的麻花苳植物的Rubisco活化能力,



注: a 为净光合速率 P_n ; b 为表观量子效率 AQY ; c 为羧化效率 CE ; d 为暗呼吸速率 R_d ; e 为光呼吸速率 R_p ; f 为光补偿点 LCP ; g 为 CO_2 补偿点; h 为饱和光强 LSP 。

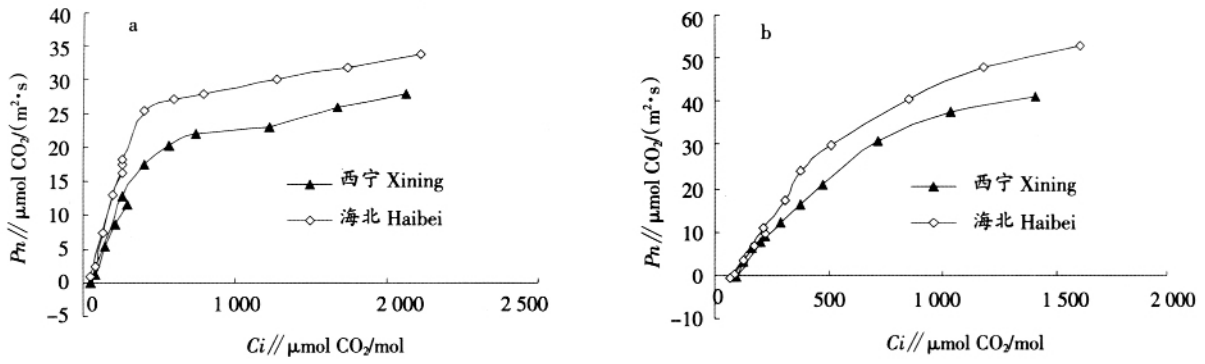
Note: a. Net photosynthetic rate P_n ; b. Apparent quantum efficiency AQY ; c. Carboxylation efficiency CE ; d. Dark respiration rate R_d ; e. Photorespiration rate R_p ; f. Light compensation point LCP ; g. CO_2 compensation point; h. Saturation light intensity LSP .

图 3 不同海拔麻花苜光合作用对温度的响应

Fig. 3 Response of *G. straminea* photosynthesis at different altitudes to temperature

进而促进了光合作用。在 PFD 为 500~1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的强光下, 西宁和海北的麻花苜植物的 R_p 随 PFD 增加而增加, 而 CO_2 补偿点却下降。推测可能是由于强光下发生的光合作用的 Pi 限制导致 R_p 增加, R_p 增加利于无机磷的再

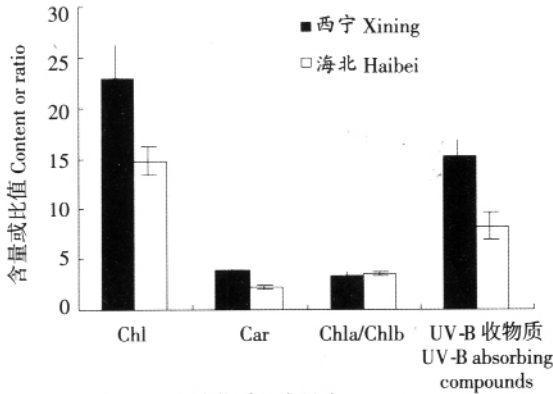
生, 进而引起 CO_2 补偿点下降, 降低了对 CO_2 的利用, 限制了光合作用所致。而大于 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的强光下, 西宁的麻花苜植物的 R_p 下降。这说明强光促进了西宁的麻花苜植物的光呼吸, 虽然造成了光合作用的降低, 但是消耗了



注:a 为 20 °C;b 为 25 °C。Note: a. 20 °C; b. 25 °C。

图 4 不同海拔麻花苜光合作用对 CO₂ 的响应

Fig. 4 Response of *G. straminea* photosynthesis at different altitudes to CO₂



注:Chl, Car 及 UV-B 吸收物质的含量为 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$
Note: Contents of Chl, Car and UV-B absorbing compounds are $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

图 5 不同海拔下麻花苜光合色素含量和紫外吸收物质的比较
Fig. 5 Comparison of photosynthetic pigment contents and UV-B absorbing compounds in *G. straminea* at different altitudes

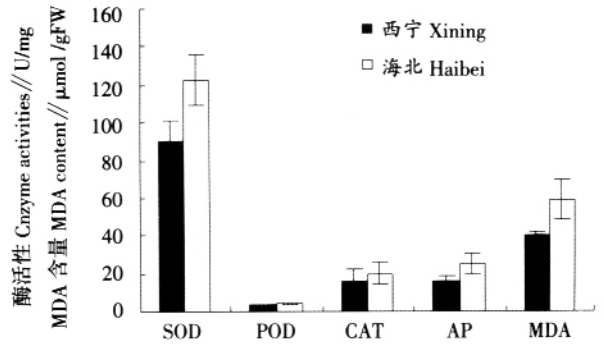


图 6 不同海拔下麻花苜抗氧化酶活性和 MDA 含量
Fig. 6 Antioxidation activity and MDA content of *G. straminea* at different altitudes

多余的光能,从而使光合机构免遭破坏。多数情况下,西宁的麻花苜植物的 CO₂ 补偿点高于海北,高于 1500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的强光对海北的麻花苜植物的 CO₂ 补偿点的促进和对西宁的麻花苜植物的 CO₂ 补偿点的限制也体现了海北的麻花苜植物对强光的耐受性较强,这也说明海北的麻花苜植物经常遭受强辐射,已经适应了强光等逆境。

温度是植物地形分布和光合生产力的一个主要的环境因子,植物可以在一个相当宽的温度范围内进行光合作用。该试验结果表明,海北的麻花苜植物的光合作用受到低温的限制。低温下,叶片光合因子的限制因素通常不是气孔导度,而是 Pi 的再生,这从低温下的 A-Ci 曲线受 Pi 的再生限制也可以得到验证。低温下,淀粉、蔗糖合成速率低, Pi 的再生速率低,对磷酸丙糖要求很低,促使叶绿体内的磷酸丙糖输出和无机磷输入也低,从而限制光合作用的进行。增温对麻花苜植物的光合作用的促进作用明显,对海北的麻花苜植物更明显,但是太高的温度有可能会造成麻花苜植物光合作用的光抑制。高温促进了西宁和海北的麻花苜植物的 CE,使 Rubisco 活化酶增加,同时 CO₂ 补偿点、Rp、LCP、Rd、AQY 均增加,而 LSP 却下降,说明高温引起的 Pn 下降可能是由于 Rd、Rp 增高, LCP、CO₂ 补偿点、光合潜力下降,进而使 Rubisco 对 O₂ 的特一性及 CO₂、O₂ 的溶解度下降,以及光合机构关键成为热稳性的降低限制了光合作用所致。高温促进了 AQY,可能与光合碳同化的 Rubisco 数量和碳化有

关。热胁迫下,活化的 Rubisco 限制叶片光合作用潜力的发挥,西宁的麻花苜植物在低温下较低的 LCP 和高温下较高的 LSP 说明它的光合潜力较高,具有广泛的适应性,也说明引种栽培具有极大的优势。

CO₂ 是植物光合作用的一种基本原料,它在空气中的浓度是影响光合速率的重要因子。海北的麻花苜植物经常遭受低 CO₂ 浓度的限制,从而限制了光合生产力,而高浓度 CO₂ 极大地促进了海北麻花苜植物的光合作用。因此,由于化石燃料的使用造成的空气中 CO₂ 浓度不断增加可能有利于海北的麻花苜植物的光合生产力的提高,空气中 CO₂ 浓度不断增加导致的温室效应引起的全球气候变暖也同样可能对促进海北的麻花苜植物的光合作用有利。

叶片中光合色素是叶片光合作用的物质基础,Chl 含量的高低在很大程度上反映了植株的生长状况和叶片的光合能力,Chl 含量与叶片的光合速率密切相关^[11]。Car 的含量增加一方面可以起到吸收过滤的功能,以避免叶绿体的光氧化,另一方面可通过直接吸收 UV-B 辐射以减少对植物的伤害。Chl a/Chl b 值的变化能反映叶片光合活性的强弱。UV-B 吸收物质主要是一些类黄酮、酚类物质及它们的次生代谢产物,主要聚集在叶表皮层中,以胸腺嘧啶二聚体的形式保护叶肉细胞、DNA 和光合机构免遭 UV-B 辐射的伤害^[12-13]。海北的麻花苜植物的光合色素含量低无疑是造成光合速率下降和 AQY 低的一个原因,西宁的麻花苜植物体内的 Car 含量和 UV-B 吸收物质增加减少了逆境的伤害,有利于保护光合机构免遭破坏,维持光合作用的高效进行。这也说明麻花苜植物更适宜在西宁生长,引种具有很大的潜力。

在正常的生理条件下,植物体内的活性氧自由基的产生和自身的抗氧化系统(主要是SOD、POD、CAT、AP等抗氧化酶和一些抗氧化剂)对活性氧的清除是动态平衡的,可以保持体内正常的代谢过程。SOD能在细胞质、叶绿体和线粒体内清除 $O_2^{\cdot-}$ 、 $O_2^{\cdot-}$ 被SOD歧化成 H_2O_2 和 O_2 ;POD、CAT、AP可以清除不同细胞器内的 H_2O_2 。SOD、POD、CAT、AP的协同作用可以使植物体内活性氧($O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 、 1O_2 、 $\cdot OH$ 等)浓度维持在一个低水平,从而防止活性氧毒害,因而这几种酶被称为活性氧防御酶系统^[14]。植物在低温和强紫外线等逆境条件下,体内会产生大量活性氧,一些清除活性氧的酶活性也随之升高。但当活性氧的产生和清除之间的平衡破坏以后,植物体内的自由基代谢发生紊乱,植物便会出现氧化伤害现象^[15-16]。MDA是膜脂过氧化的重要产物之一,其浓度表示过氧化程度和膜系统伤害程度,所以常作为逆境生理指标。海北的麻花苜蓿经常遭受强光、低温等逆境,体内具有较高的抗氧化酶活性,有利于清除在强光、低温等逆境下产生的自由基,保护光合机构免于光氧化破坏。但是MDA含量的增加说明体内产生的自由基并未被清除彻底,细胞内活性氧的积累已经引发了膜脂过氧化,而在逆境下由自由基诱发增生的膜脂过氧化产物反过来可对防御系统起破坏作用^[17],进一步对植物的膜系统造成伤害,从而影响光合作用的进行。

参考文献

- [1] GUO S, ZHOU X J. The results elementary assay of O_3 and UV-B in the air in Qinghai-Tibet plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 39: 50-53.
- [2] CAI S Q, XV D Q. Relationship between the CO_2 compensation point and photorespiration in soy bean leaves [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2000, 26: 545-550.
- [3] CALDWELL M M. Solar ultraviolet radiation as an ecological factor for alpine plants [J]. Ecological Monographs, 1968, 38: 243-267.
- [4] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutase II. Purification and quantitative relationship with water soluble protein in seedlings [J]. Plant Physiol, 1997, 59: 315-318.
- [5] ORMAN R G. Peroxide, Levels and the activities of catalase, peroxidase and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings [J]. Plant Physiol, 1980, 65: 407-408.
- [6] CHANCE B, MAEHLI A G. Assay of catalase and peroxidase [J]. Methods Enzymol, 1955, 2: 764-775.
- [7] NAKANO Y, ASADA K H. Peroxide is scavenged by ascorbate-specific in spinach chloroplasts [J]. Plant Cell Physiol, 1981, 22: 867.
- [8] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal Biochem, 1976, 72: 248.
- [9] RAERI A, LENCIONI I, SCHENONE G, et al. Gultathione-ascorbic acid cycle in pumpkin plants grown under polluted air in open-up chambers [J]. Plant Physiol, 1993, 142(3): 286-290.
- [10] BJ RKMAN O, DEMMIG B. Photo yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins [J]. Planta, 1987, 170: 489-504.
- [11] XU H F, LIU X S, JIN Y M, et al. Study on sunflower chlorophyll and the specific leaf weight [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2003, 19(2): 97-100.
- [12] BEGGS C G, WELLMAN E. Photocontrol of flavonoid biosynthesis. [M] Kendrick R E, G H M KRONEBARY, eds. Photomorphogenesis in plants. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994: 733-750.
- [13] FISCUS E L, BOOKER F L. Is increased UV-B a threat to crop photosynthesis and productivity [J]. Photosynthesis Research, 1995, 43(2): 81-92.
- [14] FRIDOVICH I. The discovery of superoxide dismutase: a history [M] OBERLY L W, eds. CRC: Superoxide dismutase Press, 1982: 89-124.
- [15] WANG Y R, ZENG S X, LI X P. Low temperature induced injury of light oxidation in rice seedlings [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1990, 16(2): 102-108.
- [16] LI S S, WANG Y, LIU X S. Effects of UV-B radiation on lipid peroxidation in rice seedlings [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2000, 9(1): 23-26.
- [17] ZENG S X, WANG Y R. Effects of low temperature stress on AsA peroxidase activity and content of GSH in cucumber cotyledons [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1990, 16(1): 37-42.

(上接第4796页)

弊端”、“如果某一公司安排你到国外考察棉花生产,你主要考察哪些内容”等。从试题上引导学生将理论与实践相结合,并进行创新性思考^[9-11]。

4 结语

在植保、林学、园艺、经贸、土管、中药材等专业的《作物学通论》教学中,始终坚持以“创新型”农业人才为培养目标,对教学内容、教学方式和考核方法进行了相应的改革,收到很好的效果。不仅使学生对作物学的相关知识掌握得更加牢固,而且提高了学生的写作和语言表达等综合素质,培养了创新意识和能力。同时,《作物学通论》的任课教师也必须坚持终身学习,不断提高自身的知识水平和教学能力,为创新型人才的培养提供源源不断的动力。

参考文献

- [1] 曹卫星.作物学通论[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [2] 教育部,财政部.关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见 教高[2007]1号 [EB/OL]. 2007-01-29 [2008-09-13]. <http://www.pgzx.edu.cn/main/webShowDoc?channel=wjhb-jyb-sjwj&docID=2007/01/29/1170048034812.xml>.
- [3] 聂绪学,覃凤英.论新时期思想政治理论课教学改革与创新型人才培养[J].河南广播电视大学学报,2007,20(3):84-85.
- [4] 黄英君,吕蔚.计算机网络课程教学改革的研究与实践[J].教育改革,2007(18):91-93.
- [5] 姚利民.高校教学现状调查分析[J].高教探索,2007(5):85-89.
- [6] 齐小保,王小红.《食品安全检测技术》微生物检验实验教学的探索与实践[J].安徽农业科学,2007,35(24):7656-7657.
- [7] 陶富源.学术论文写作通鉴[M].合肥:安徽大学出版社,2005.
- [8] 康钊.高师院校大学生演讲焦虑与应付方式[J].中国心理卫生杂志,2007,21(8):548.
- [9] 徐芬芬.植物生理实验教学中创造思维能力的培养[J].安徽农业科学,2007,35(8):2438-2440.
- [10] 马国胜,周英,吴雪芬,等.高职院校《园林植物保护》教学现状与课程改革[J].安徽农业科学,2007,35(34):11323-11324.
- [11] 李桂芳,杨晓献,孙辉.面向21世纪生命科学类实验教学的改革与管理[J].安徽农业科学,2007,35(33):10882-10883.

科技论文写作规范——材料与方法

清楚地交代出试验设计、研究对象及研究方法等。研究对象如品种、肥料、农药、土壤、病虫害等名称应交代清楚;还应交代试验必要的范围、重复次数及样本大小。对一般的研究方法注明出处即可,如采用××方法^[2](²为在参考文献中的序号)。对于有所改进或新的方法要详细叙述,以便他人重复。