

光质对草莓叶片光抑制的影响

潘刚, 徐凯^{2*}, 郭延平, 雷鸣 (1. 安徽农业大学园艺系, 安徽合肥 230036; 2. 浙江大学园艺系, 浙江杭州 310029)

摘要 用光谱仪、便携式调制叶绿素荧光仪和光合仪, 研究了相同光强(自然光强的55%~57%)的不同光质下草莓叶片的光抑制特性。结果表明, 不同光质下草莓叶片AQY、Fv/Fm、Fm的降幅为红膜>中性膜>绿膜>蓝膜, 与不同光质中紫外光和蓝紫光比例负相关。这说明红膜下发育的草莓叶片对光抑制最敏感, 而蓝膜下发育的草莓叶片的光合作用较耐光抑制。

关键词 草莓; 光质; 叶绿素荧光; 光抑制; 红光 远红光

中图分类号 Q945 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2006)22-5817-03

Effect of Light Quality on the Photoinhibition in Strawberry Leaves

PAN Gang et al (Department of Horticulture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

Abstract Portable chlorophyll fluorometer and photosynthesis measurement system were used to study the characteristics of photoinhibition in strawberry leaves grown under identical light intensity (55%~57% natural light) and different light quality. The results showed that the apparent quantum efficiency (AQY), maximal photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm) and maximal fluorescence (Fm) decreased in high light by the percent of the order: red film > neutral film > green film > blue film, which were correlated with the proportion of blue and ultraviolet in different light quality negatively. The results indicated that strawberry leaves grown under red film was sensitive to photoinhibition, but those grown under blue film was on the contrary.

Key words Strawberry; Light quality; Chlorophyll fluorescence; Photoinhibition; Red/ Far-red light

光是光合作用的首要生态因子。植物暴露在弱光环境中光合作用受到限制, 但在强光胁迫条件下光合作用也会下降, 即光合作用的光抑制^[1], 如小麦^[2]、草莓^[3]等。光抑制是限制作物光合生产力的主要因素之一。

光质对植物生长、形态建成、光合作用、物质代谢以及基因表达均有调控作用。在叶绿体的发育过程中, 光敏色素、隐花色素、原叶绿素酸酯及叶绿素均参与了叶绿体发育的调控。光敏色素主要感受红光与远红光, 也感受蓝光与紫外光, 隐花色素感受蓝光与UV-A^[4]。许多研究表明, 植物光合机构的发育长期受光调控, 红光对光合器官的正常发育至关重要, 它可通过抑制光合产物从叶片输出以增加叶片淀粉积累^[5]; 蓝光则调控叶绿素形成^[6]以及光合节律^[7]等生理过程。光质、光强能够调节光合作用不同类型叶绿素蛋白质复合物的形成以及光系统(PS)和光系统(PS)间电子传递^[8]。研究表明, 蓝光下生长的黄瓜叶片具阳生植物的特性, 而红光培养的黄瓜叶片具阴生植物的特性^[9], 而阴生植物比阳生植物的光抑制程度重。但光质对草莓叶片光抑制的影响尚未见报道。

有色农膜和转光膜已开始应用于作物设施栽培中。光质膜可作为非化学手段来调节植物生长, 并调节植物的温周期响应^[8]。草莓设施栽培面积较大, 研究不同光质对草莓叶片光合作用的影响, 对草莓设施栽培具有重要的理论和实践意义。该文在相同光强(自然光强的55%~57%)的条件下, 研究了不同光质对草莓叶片光抑制的影响, 以期了解光质影响草莓叶片光合机构的强光响应机理, 从而为草莓生产中适宜农膜的研发和改善草莓设施栽培的供光条件提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 试验于2004~2005年在浙江大学华家池校区进行。供试材料为草莓品种“丰香”。选取长势一致、健壮的3叶1心苗, 移栽于高168 mm、口部直径176 mm、底部直径122

mm的塑料盆钵中, 培养基质为含有壤土、泥炭和粗砂(体积比为7:3:2)的混合土, 生长期间保证水分供应充足, 每15 d补充1次营养液(Hagland), 其他管理同常规。

1.2 方法

1.2.1 光质处理。以太阳光透过不同滤光膜(上海伟康有色薄膜厂)而得到不同的光质。试验设中性滤膜、红色滤膜、绿色滤膜和蓝色滤膜4个处理, 各色滤膜覆盖于用0.6 cm铅丝做成的支架, 材料置于棚内接受不同光质光的照射, 调节棚高使棚内光强一致。为促进膜内空气流通和防止膜内侧凝结水珠, 膜各边下端距地面20 cm及地面铺无色地膜。每个处理18株, 随机排列, 重复3次。各处理间隔80 cm, 各处理位置每周调换1次。草莓苗在不同光质下生长3个月后, 随机选取完全展开的第4片叶进行强光处理, 测定光合和叶绿素荧光参数, 重复4次。

1.2.2 光谱辐射能的测定。在晴朗天气采用校准LI-1800(LI-COR, USA)便携式分光光谱辐射仪测定不同棚内透射光谱辐射能, 测定波段为300~1100 nm, 扫描波长间隔为2 nm, 输出的透射光谱辐射能为量化后的值。

1.2.3 强光光抑制处理。随机选取完全展开的第4片功能叶, 放在经流动水层滤热的镉灯下, 叶片表面光强为1800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 照光4 h, 然后暗恢复4 h。室温为(25 ± 1)。

1.2.4 叶片表观量子效率的测定。在室内镉等灯下, 用HCM1000(Walz, Germany)光合测定系统进行连体叶片测定, 灯与材料间用水槽(流动水)隔热。测定时在叶室上加盖不影响光质的透光率不同的中性滤光罩或改变叶室与光源的距离, 得到一系列不同强度的入射光, 然后测定不同光强下的净光合速率(Pn)。CO₂气源为室外大气。在0~150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ PFD范围内, 对叶片Pn和PFD进行直线回归, 其斜率即为光合的表观量子效率(AQY)。

1.2.5 叶片叶绿素荧光参数的测定。盆栽苗暗适应2 h以上后进行强光处理, 每隔1 h用PAM2000(Walz, Germany)便携式叶绿素荧光仪, 测定Fo(初始荧光)、Fm(最大荧光)、Fv/Fm(光系统最大光化学效率)、Fm(光下的最大荧光)和Fo。测定时, 打开检测光测定Fo, PFD < 0.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,

基金项目 国家自然科学基金项目(30471195)。

作者简介 潘刚(1979-), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 研究方向: 果树生理生态。* 通讯作者。

收稿日期 2006-08-23

频率为 600 Hz, 再打开一次饱和脉冲光, 测定 F_m 以及 F_v/F_m , PFD 为 $8000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 频率为 20 kHz, 0.8 s, 1 个脉冲; 然后打开作用光, F_t (光下稳态荧光) 稳定后, 再打一次饱和脉冲光测定 F_m' , PFD 约为 $336 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 白光; 关闭作用光, 继以一次远红外光, 测定 F_o' , PFD 约为 $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 3s。qP (光化学猝灭)、qN (非光化学猝灭)、PS (PS 的

量子产额) 和 ETR (电子传递速率) 按下列公式计算。

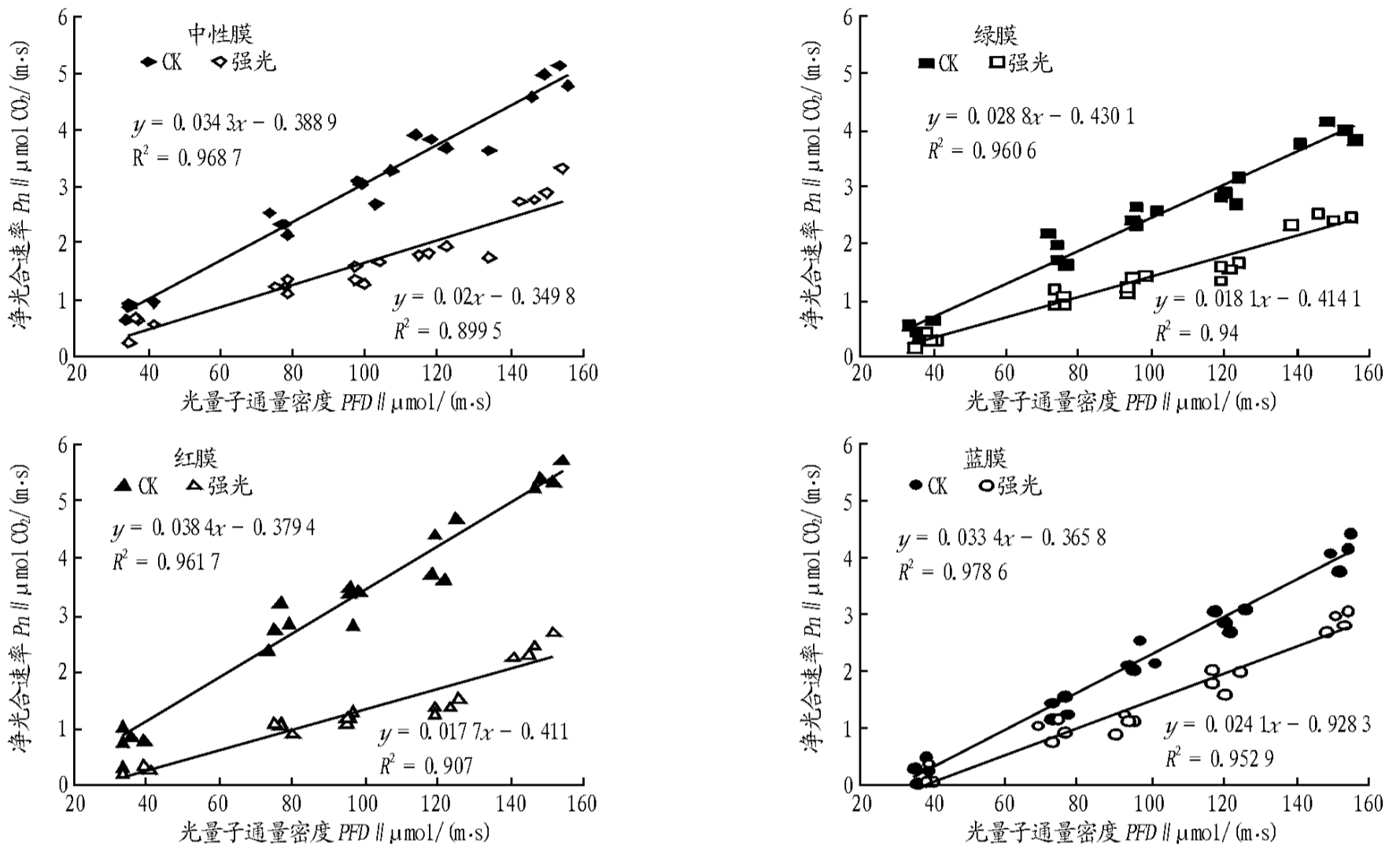
$$qP = (F_m' - F_t) / (F_m' - F_o') \quad (1)$$

$$qN = 1 - (F_m' - F_o') / (F_m - F_o) \quad (2)$$

$$PS = (F_m' - F_t) / F_m' \quad (3)$$

$$ETR = PS \times PFD \times 0.5 \times 0.84 \quad (4)$$

数据处理软件为 PAMWn (Wälz, Germany)。



注: CK 处理 (中等光强) 光强为 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 强光处理光强为 $1800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

图1 强光对不同光质下草莓叶片表观量子效率的影响

2 结果与分析

2.1 不同滤光膜光质特征 由表1可知, 与中性膜相比, 红膜中红橙光与近红外光比例较大, 紫外光、蓝紫光、绿光比例均最低; 绿膜中红橙光比例最低; 蓝膜中紫外光与蓝紫光比例均最高。红光与远红光的比值中性膜 > 红膜 > 绿膜 > 蓝膜, 紫外光比例蓝膜 > 绿膜 > 中性膜 > 红膜, 蓝紫光比例蓝膜 > 绿膜 > 中性膜 > 红膜。

表1 不同膜内透射光光谱成分比较 W m^2

	中性膜	绿膜	红膜	蓝膜
紫外光 (300~400 nm)	4.36 (2.77 B \pm 0.12)	5.03 (3.33 AB \pm 0.13)	2.47 (1.58 C \pm 0.14)	5.5 (3.54 A \pm 0.41)
蓝紫光 (400~510 nm)	12.61 (8.03 C \pm 0.24)	16.67 (11.03 B \pm 0.26)	2.84 (1.82 D \pm 0.14)	29.48 (18.98 A \pm 0.65)
绿光 (510~610 nm)	30.44 (19.36 A \pm 0.92)	32.4 (21.44 A \pm 0.54)	1.88 (1.21 B \pm 0.12)	5.33 (3.43 B \pm 0.26)
红橙光 (610~720 nm)	34.03 (21.6 B \pm 0.38)	14.55 (9.63 D \pm 0.28)	43.04 (27.44 A \pm 0.56)	19.76 (12.72 C \pm 0.39)
近红外 (720~1100 nm)	76.47 (48.64 D \pm 2.08)	82.48 (54.59 C \pm 0.98)	105.6 (67.78 A \pm 0.46)	95.26 (61.34 B \pm 0.67)
总辐射 (300~1100 nm)	157.2 [57.21 \pm 0.28]	151.1 [54.98 \pm 1.64]	155.8 [56.7 \pm 0.97]	155.3 [56.51 \pm 0.71]
红光/远红光	1.14 A \pm 0.04	0.45 C \pm 0.03	1.08 B \pm 0.04	0.22 D \pm 0.02

注: () 中数值为各波段光谱辐射能占相应总辐射能的百分数 (%) ; [] 中数值为不同膜的透光率; 大写英文字母表示差异 0.01 水平显著。

2.2 强光对不同光质下草莓叶片表观量子效率的影响 由图1可知, 与对照相比, 强光胁迫处理 4 h, 在中性膜、红膜、绿

膜和蓝膜下丰草莓叶片 AQY 分别下降了 41.7%、53.9%、37.2% 与 27.8%。

2.3 强光对不同光质下草莓叶片叶绿素荧光参数的影响

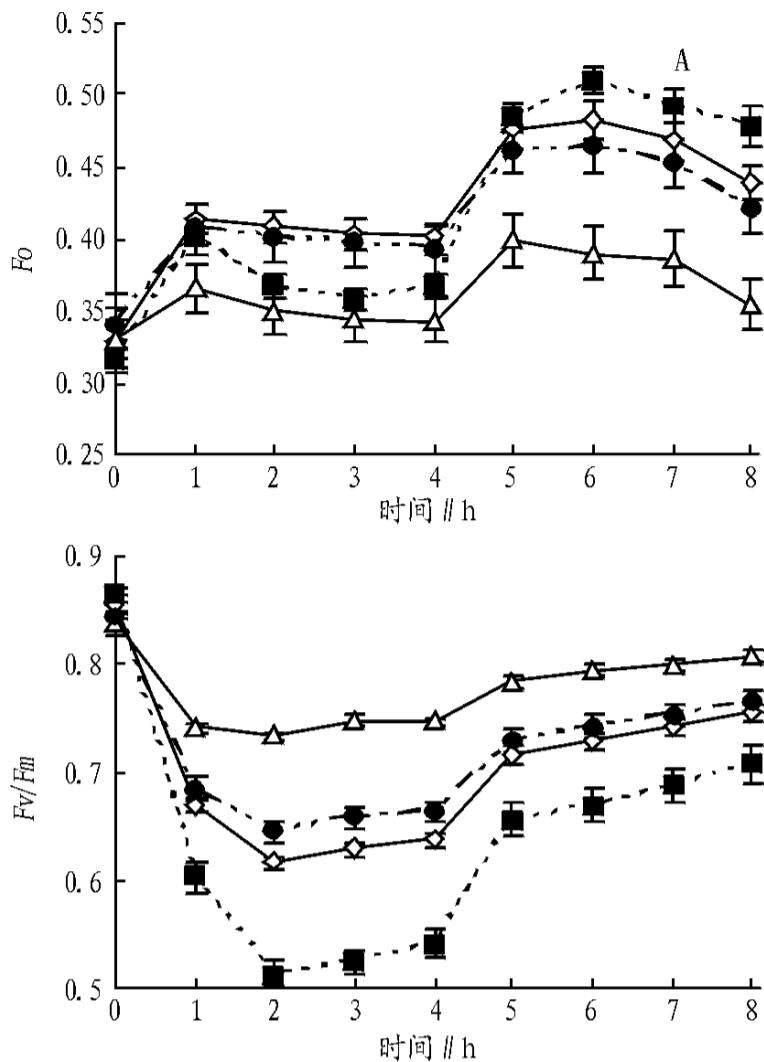
由图2可知, 强光胁迫过程中, 不同光质下发育的草莓叶片 F_m 和 F_v/F_m 的下降幅度不同, 红膜下降幅度最大, 中性膜次之, 蓝膜下降幅度最小。强光胁迫处理 4 h, 红膜的 F_m 和 F_v/F_m 分别下降了 65.9% 和 37.4%, 中性膜下降了 51.6% 和 25.5%, 绿膜下降了 46.7% 和 21.5%, 蓝膜下降了 33.7% 和 10.9%。暗恢复中, 蓝膜的 F_m 和 F_v/F_m 恢复最好, 绿膜次之, 红膜最差。暗恢复 4 h 后, 蓝膜的 F_m 和 F_v/F_m 分别恢复到处理前的 90.4% 和 96.5%, 绿膜分别恢复到处理前的 82.2% 和 90.7%, 中性膜分别恢复到处理前的 78.9% 和 88.4%, 红膜则仅分别恢复到处理前的 81.8% 和 69.6%。由此可见, 红膜的 F_m 和 F_v/F_m 比其他膜对强光胁迫更敏感, 蓝膜的 F_m 和 F_v/F_m 对强光胁迫最不敏感。

强光胁迫和暗恢复中, 不同膜下草莓叶片的 F_o 高于处理前。强光处理 4 h 后, 中性膜、红膜、绿膜和蓝膜下丰草莓叶片的 F_o 分别升高了 22.0%、16.1%、15.7% 与 4.1%; 暗恢复 4 h 后, 中性膜、红膜、绿膜和蓝膜下丰草莓叶片的 F_o 分别比处理前升高了 33.5%、50.7%、24.1% 与 7.3%。

强光胁迫下, 不同膜下草莓叶片的电子传递速率 (ETR) 先升后降, 但红膜与中性膜的 ETR 最先开始下降, 而蓝膜最

迟下降。强光处理4 h,中性膜、红膜的ETR 分别降低了3.2%、16.2%,而绿膜和蓝膜的ETR 则分别升高了1.0%、12.6%;暗

恢复4 h后,中性膜、红膜、绿膜的ETR 分别比处理前降低了14.9%、28.8%、10.5%,而蓝膜的ETR 则升高了1.9%。



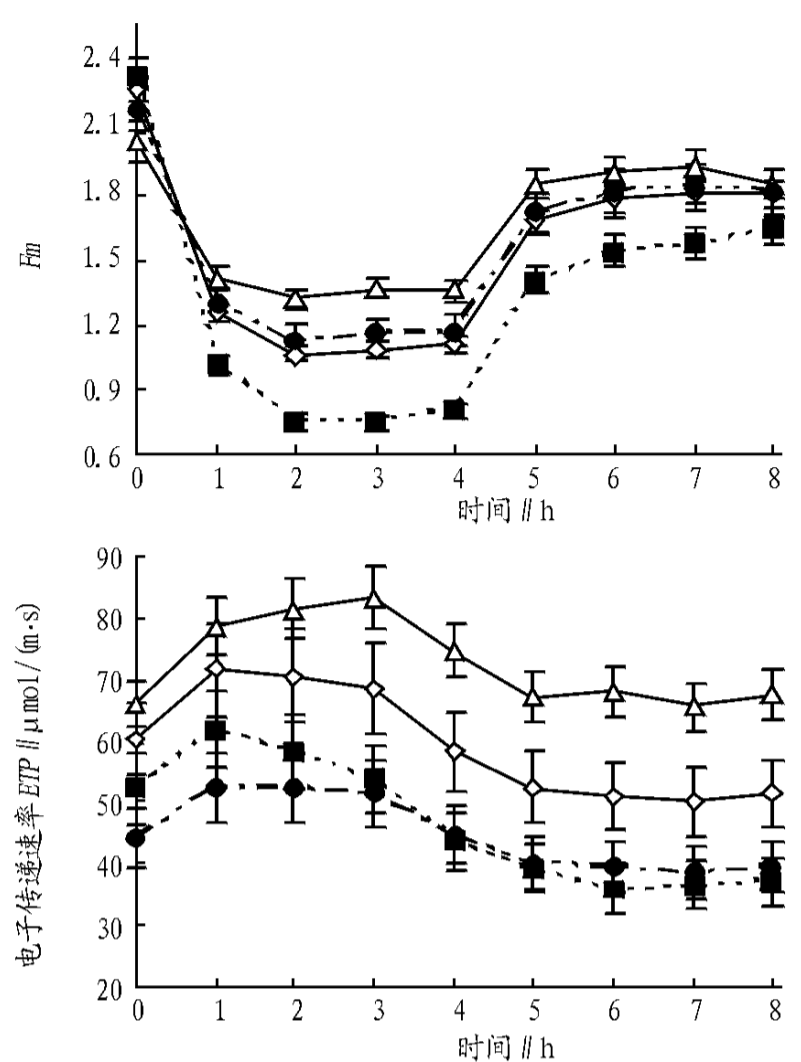
注: 强光处理和暗恢复时间分别为0~4 和4~8 h。

图2 强光对不同光质下草莓叶片叶绿素荧光参数的影响

3 讨论

AQY、 F_v/F_m 及 F_m 降低是判断光抑制的最重要特征^[7-8]。试验表明,不同膜下发育的草莓叶片经强光胁迫处理后,光合作用 AQY、 F_v/F_m 和 F_m 均明显下降,说明不同膜下发育的草莓叶片光合作用在强光胁迫时光抑制明显。这3个光抑制指标在强光下的下降幅度为红膜>中性膜>绿膜>蓝膜, F_v/F_m 和 F_m 的暗恢复程度为蓝膜>绿膜>中性膜>红膜,说明不同膜下发育的草莓叶片在强光胁迫时的光抑制程度存在明显差异,红膜下发育的草莓叶片对光抑制最敏感,而蓝膜下发育的草莓叶片光合作用较耐光抑制。结合不同膜下光谱成分分析发现,AQY、 F_v/F_m 和 F_m 在强光下的下降幅度与不同膜光质中的紫外光和蓝紫光比例负相关,与红光与远红光的比值基本一致。这说明在紫外光和蓝紫光比例较高的光质下发育的草莓叶片较耐光抑制,而在红光比例较高的光质下发育的草莓叶片光抑制严重。储钟稀等报道,蓝光下生长的黄瓜叶片具阳生植物的特性,而红光培养的黄瓜叶片具阴生植物的特性,而阴生植物比阳生植物的光抑制程度重^[9]。该试验结果与此一致。

有研究表明, F_0 上升,则 PS 反应中心受到破坏或发生可逆失活; F_0 下降,则依赖叶黄素循环的热耗散增强^[10]。储钟稀等报道,红光处理黄瓜叶片的 PSII 活性与 PSII 原初光能转换效率比白光与蓝光高,蓝光处理的黄瓜叶片 PSII 活性最低但 PSI 活性最高^[9]。试验表明,强光胁迫处理后,中性膜、红膜、绿膜和蓝膜下丰香草莓叶片的 F_0 均有不同程度升高,其升高程度与红光与远红光的比值一致。这表明草莓叶片强光下 PS 反应中心损伤或可逆失活受光敏色素的



调控。

强光胁迫及暗恢复中 ETR 的变化表明,强光胁迫处理4 h后蓝膜的电子传递速率升高,并且在暗恢复时能很快恢复;而红膜的电子传递速率在强光胁迫处理4 h及暗恢复4 h后均明显低于处理前。这说明光合电子传递易受强光胁迫的影响可能是红膜对光抑制更敏感的原因之一。试验还表明,较高蓝紫光比值下发育的草莓叶片更耐光抑制,而较高红光比值下发育的草莓叶片更易罹光抑制。

参考文献

- [1] POWLES S B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light[J]. Ann Rev Hart Physiol, 1984, 35: 15-50.
- [2] 郭连旺, 许大全, 沈允钢. 田间小麦无D1蛋白净损失条件下的光抑制[J]. 植物学报, 1996, 38(3): 196-202.
- [3] 徐凯, 郭延平, 张上隆, 等. 草莓叶片光合作用对强光响应机理的研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 73-78.
- [4] BAISCHAUER A. Photoreceptors of higher plants[J]. Planta, 1998, 206: 479-492.
- [5] SAEBO A, KREKING T, APPELGREN M. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 1995, 41: 177-185.
- [6] SENGER H. The effect of blue light on plants and microorganisms[J]. Photochemistry and Photobiology, 1982, 35: 911-920.
- [7] WHEELER R M, MACKOWAK C L, SAGER J C. Soybean stem growth under high pressure sodium with supplemental blue lighting[J]. Agronomy Journal, 1991, 83: 903-906.
- [8] PAUL GRETE G, Qi R, GISSINGER Astrid, et al. Plant morphology is affected by light quality selective plastic films and alternating day and night temperature[J]. Gartenbauwissenschaft, 2001, 66(2): 53-60.
- [9] 储钟稀, 童哲, 冯丽洁, 等. 不同光质对黄瓜叶片光合特性的影响[J]. 植物学报, 1999, 41(8): 867-870.
- [10] DEMMIG B, BJ RKMAN O. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O_2 evolution in leaves of higher plants[J]. Planta, 1987, 172: 171-184.