

黄金梨和鸭梨叶片光合作用的光抑制及其恢复的比较研究

王振磊¹, 陈海江^{2*}, 林敏娟³, 徐继忠²

(¹塔里木大学教务处, 新疆阿拉尔 843300; ²河北农业大学园艺学院, 河北保定 071000; ³塔里木大学植物科技学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要: 以黄金梨和鸭梨的连体和离体叶片为研究材料, 在自然光强和模拟光强下测定光合作用和叶绿素荧光参数。结果表明: 黄金梨和鸭梨连体叶片经午间强光处理后, 净光合速率 (P_n)、表观量子效率 (AQY) 和光系统 (PS) 的光化学效率 (F_v/F_m) 降低, 初始荧光 (F_0) 升高, 且其降低或升高的幅度随着光强的增强而加大, 说明强光胁迫使叶片发生了光抑制; 黄金梨和鸭梨离体叶片的光抑制程度均随着强光照射时间的延长而加重, 但是在光强减弱或在弱光下恢复 2~4 h, 均可基本恢复到正常值, 说明仅强光引起的光抑制是可逆的; 对 DTT处理的叶片进行强光处理, 其 F_v/F_m 比未吸入 DTT的叶片低, F_0 比对照高, 说明依靠叶黄素循环进行热耗散是梨树叶片防御强光破坏光合机构的重要途径之一; 黄金梨对强光胁迫的忍耐能力和恢复能力较鸭梨弱, 说明梨树光抑制程度品种间有差异。

关键词: 梨; 光抑制; 恢复; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S 661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 09-1261-08

Photoinhibition and Recovery of Photosynthesis in Pear Leaves

WANG Zhen-lei¹, CHEN Hai-jiang^{2*}, LIN Min-juan³, and XU Ji-zhong²

(¹Teaching Affairs Office, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; ²College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China; ³College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: Photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters are measured on W hangeumbae and Yali pear leaves and their disks in natural and simulated light. The results showed that net photosynthetic rate (P_n), apparent quantum yield (AQY), and photochemical efficiency of PS (F_v/F_m) decreased and minimal initial fluorescence (F_0) was improved after being exposed to midday high irradiance, indicating that photoinhibition of W hangeumbae pear and Yali pear occurred. However, photoinhibition was only induced by high light and could be recovered after 2 - 4 hours of low light, it indicated that photoinhibition only induced by high light is reversible. Photochemical efficiency of PS (F_v/F_m) decreased and minimal initial fluorescence (F_0) was improved after being exposed to DTT, which indicate that Xanthophyll cycle was the major protective mechanism to prevent from the deteriorating effects of strong light in the pear leaves. The capacity of patience and recovery of Yali on strong light stress was stronger than that of W hangeumbae, indicating that the extent of photoinhibition varied with varieties in pear.

Key words: pear; photoinhibition of photosynthesis; recovery of photoinhibition; chlorophyll fluorescence

收稿日期: 2009 - 01 - 20; 修回日期: 2009 - 07 - 02

基金项目: 河北省科技厅资助项目 (02220184D)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenhaijiang2001@163.com)

光能是植物进行光合作用的能量基础,但是当其超过光合机构所利用的量时,植物光合能力将下降,从而产生光合作用的光抑制 (Photoinhibition) (许大全等, 1992)。植物光合作用的光抑制,是近年来光合作用研究领域倍受关注的课题,了解强光条件下是否容易引起植物叶片光合作用的抑制,并对其自然条件下发生抑制的可能机理进行探讨,对果树的栽培管理很有参考价值。植物在没有其它环境因子胁迫的情况下,强光是其发生光合“午休”现象的主要原因 (Long et al, 1994; 陈贤田和柯世省, 2002)。

近年来已对阿月浑子、杨梅等果树的光抑制机理进行了研究 (路丙社等, 2002; 刘辉等, 2005),但是在梨树方面多以光合速率日变化中午间光合能力降低为依据,发现光合“午休”现象 (樊卫国和李迎春, 2006; 王晓婷等, 2007),而关于光抑制的研究尚未见报道。

本研究在前人工作基础上,以黄金梨和鸭梨连体叶片和离体叶圆片为研究材料,结合其实际光合能力和光系统 (PS) 主要荧光参数在自然光强和模拟光强下的变化,以探讨自然光强下梨树叶片是否容易发生光合作用的光抑制,光抑制后恢复情况及其品种差异,为我国梨树引种、栽培和推广以及梨树抗逆品种鉴定、筛选提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2004 年 8 月在保定市清苑县东间村果园进行。材料为黄金梨 [*Pyrus pyrifolia* (Bum. f.) Nakai] 和鸭梨 [*Pyrus bretschneideri* Rehd.]。黄金梨为高接 4 年生树 (砧木为 13 年生鸭梨),鸭梨为 13 年生树。试验果园网架整形,管理水平较高。

每品种选树体大小一致,生长势良好的 3 株 (3 次重复),挂牌标记;每株选树体南侧生长一致的 3 个新梢,每新梢选 2~3 片叶位和叶龄相对一致,受光相对一致的向阳成龄叶进行光合测定和叶绿素荧光测定,测定结果取平均值。

1.2 自然光强下连体叶片光合作用和荧光参数的测定

于 8 月 5—15 日选晴朗无风天,用英国 PP System s 公司生产的 CIRAS-2 型便携式光合仪开路系统测定净光合速率 (P_n),并同步测定光合有效辐射 (PAR)、叶温 (TL) 和大气相对湿度 (RH)、气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i) 等参数。

于 8 月 5—15 日选晴朗无风天,在 7:00—19:00 每隔 2 h 测定一次叶片 P_n ,以 3 d 测定平均值为日变化。

表观量子效率 (AQY) 的测定:设定条件为 CO_2 浓度 (C_i) $350 \mu L \cdot L^{-1}$,温度 $25^\circ C$,相对湿度 80%,在 $0 \sim 200 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 的光强间,梯度均匀的选 9 个光强水平,然后以 P_n 和 PAR 进行直线拟合,其初始斜率即为 AQY 。

于 8 月 5—15 日选晴朗无风天,利用英国 Hansatech 公司的 HMS2 型便携式荧光仪测定连体或离体叶片的叶绿素荧光参数的日变化。从 6:00 至 18:00,用荧光仪每隔 1 h 测定一次,荧光测定前将叶片暗适应 15 min。从仪器中直接读取初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m)、PS 潜在活性 (F_v/F_0) 和 PS 光化学效率 (F_v/F_m)。

以 3 d 测定平均值为叶绿素荧光参数的日变化。

1.3 自然强光和人工模拟强光下连体叶片的光抑制及恢复处理

选择在晴天中午 9:00 ($1300 \sim 1400 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) 和 13:00 ($1800 \sim 2000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

s^{-1}) 测定黄金梨和鸭梨连体叶片在自然光强和人工模拟光强 (400 和 $2\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 条件下的表量子效率 (AQY) 以及其它光合参数。

1.4 人工模拟光强下离体叶片的光抑制及恢复处理

用打孔器获取离体叶圆片 (直径 $1.5\ \text{cm}$), 将其漂浮于水面, 并放置于镓灯下方, 灯与叶圆片间用一恒温循环水层隔离, 以控制温度, 人工模拟光强为 $2\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 对照光强为 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 处理 $3\ \text{h}$, 期间温度始终控制在 $25\ ^\circ\text{C}$ 左右。光抑制处理后进行 $3\ \text{h}$ 弱光恢复, 恢复光强为 $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

抑制剂 DTT (1, 4 - 二硫苏糖醇) 处理: 将叶片在水中剪下, 浸入 $10\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 DTT 溶液中, 对照叶片浸入蒸馏水中, 在弱光 ($10\sim 20\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 下通过叶片蒸腾将 DTT 引入。将弱光下吸入 DTT 的叶片进行 $3\ \text{h}$ 强光 ($2\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 处理后再进行 $3\ \text{h}$ 的弱光 ($50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 恢复。

分别用荧光仪测定强光处理前和弱光恢复后的相关参数。

2 结果与分析

2.1 自然光强下黄金梨和鸭梨连体叶片光合作用的比较

2.1.1 叶片光合速率的日变化

试验表明, 自然条件下, 黄金梨和鸭梨净光合速率 (P_n) 日变化均表现为典型的双峰曲线 (图 1), 有明显的“午休”现象。

黄金梨和鸭梨第 1 次峰值分别出现在 $9:00$ 和 $11:00$, 接着逐渐下降, $13:00$ 左右降至全天最低, 随后又逐渐回升, 至 $17:00$ 出现次高峰。黄金梨和鸭梨 P_n 由最高峰降到午间最低值, 降幅分别达到 52.1% 和 37.0% , 可见黄金梨“午休”现象比鸭梨更为明显, 这表明黄金梨对午间强光、高温环境的适应能力低于鸭梨。

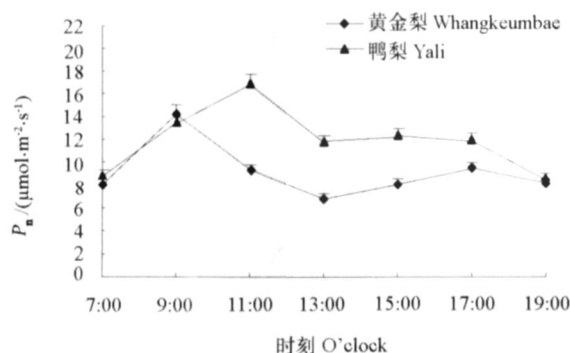


图 1 自然晴天条件下黄金梨和鸭梨连体叶片净光合速率日变化

Fig 1 Diurnal variation of P_n in leaves of 'Wangkeumbae' and 'Yali' pears in sunny day

2.1.2 午间自然强光对连体叶片表观量子效率 (AQY) 的影响

田间条件下对黄金梨和鸭梨进行自然强光照试验, 结果表明, 经中午自然强光 ($1\,800\sim 2\,000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 照射后, 黄金梨和鸭梨 AQY 明显下降, 下降幅度分别为 18.9% 和 13.4% (图 2)。

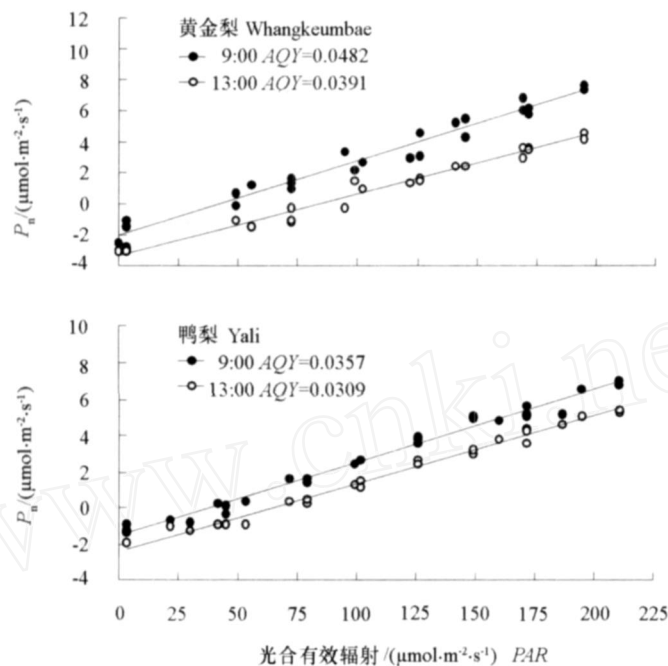


图 2 黄金梨和鸭梨连体叶片在不同自然光强下叶片的表观量子效率 (AQY)

Fig. 2 Apparent quantum yield (AQY) in leaves of 'Whangkeumbae' and 'Yali' pears in variant light intensities

2. 1. 3 午间强光对叶片胞间 CO₂浓度和气孔导度的影响

黄金梨和鸭梨的叶片经午间自然强光照射 2 h后, 在人工光强条件下进行测定表明, AQY和 P_n均较对照极显著降低, 尤以黄金梨更明显, 其 AQY和 P_n降幅分别达到 21. 9%和 21. 4%, 鸭梨的 AQY和 P_n降幅为 10. 6%和 17. 2%; 但无论在强光还是在弱光条件下, 测得的细胞间隙 CO₂浓度 (C_i) 变化均不显著, 而气孔导度 (G_s) 的差异也不明显, 这说明强光使黄金梨和鸭梨叶片的 AQY和 P_n降低并非由于气孔关闭而引起 CO₂供应不足所致。

表 1 中午强光照射后黄金梨和鸭梨叶片 AQY、P_n、G_s和 C_i的变化

Table 1 Changes of AQY, P_n, G_s and C_i in leaves of 'Whangkeumbae' and 'Yali' pears after being exposed to midday strong light intensities

品种 Cultivar	时间 Time	PAR / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 AQY	P _n / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	G _s / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	C _i / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
鸭梨 Yali	9: 00	2 000	0. 0349 ±0. 0009a	16. 8 ±0. 77a	246 ±4. 82a	211 ±10. 0a
		400 (对照 Control)		13. 9 ±0. 32a	259 ±10. 20a	225 ±10. 2a
	13: 00	2 000	0. 0312 ±0. 0012b	13. 9 ±0. 56b	232 ±8. 22a	235 ±6. 9a
		400 (对照 Control)		11. 5 ±0. 55a	250 ±9. 60a	235 ±7. 9a
黄金梨 Whangkeumbae	9: 00	2 000	0. 0493 ±0. 0013a	15. 4 ±0. 88a	267 ±8. 44a	205 ±10. 6a
		400 (对照 Control)		11. 0 ±0. 89a	303 ±11. 30a	254 ±11. 0a
	13: 00	2 000	0. 0385 ±0. 0009b	12. 1 ±0. 76b	288 ±9. 33b	229 ±11. 2a
		400 (对照 Control)		9. 4 ±0. 82b	312 ±9. 70a	262 ±13. 2a

注: 表中数据为平均数 ±标准误差, 同一列数据中不同字母表示差异达 5%显著水平。

Note: Values are means ±SD, different letters within the same column indicate significant difference an 5% level

2.2 黄金梨和鸭梨叶片叶绿素荧光参数的日变化以及对强光的响应

2.2.1 自然光强条件下连体叶片叶绿素荧光参数的日变化

图 3 结果表明, 在自然光下的 F_v/F_m 值自 6: 00 开始, 随着光强增加, 由最高值逐渐降低, 并于 13: 00 降到最低, 黄金梨和鸭梨的最低值分别比最高值降低了 10.8% 和 4.9%, 13: 00 以后随着光强的减弱又逐渐升高, 到 18: 00 分别恢复到上午最高值的 98.6% 和 99.4%; F_o 的日变化则与 F_v/F_m 差异较大, 6: 00 开始逐渐降低, 到 9: 00 降至一天中的最低, 随后的日变化与 F_v/F_m 呈完全相反趋势, 最高值和最低值分别出现在 13: 00 和 18: 00, 两个品种的最高值分别比各自的最低值增加了 20.02% 和 15.80%。从图 3 还可看出, 在自然条件下黄金梨的 F_v/F_m 和 F_o 的变化幅度均大于鸭梨。表明生长在较低光照条件下的梨树经过强光照射均产生光抑制现象, 而且这种光抑制程度不同品种间有一定的差异。

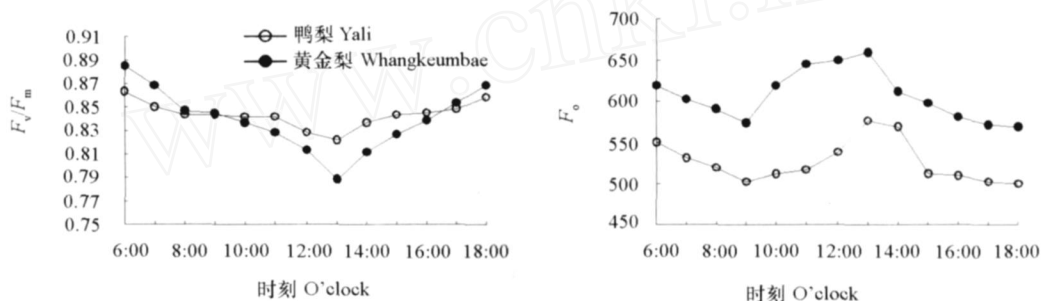


图 3 黄金梨和鸭梨连体叶片叶绿素荧光参数的日变化

Fig. 3 Diurnal variation on chlorophyll fluorescence in leaves of 'Whangkeumbae' and 'Yali'

2.2.2 模拟光强下离体叶片叶绿素荧光参数的比较

为了真实而准确地反映梨树光抑制情况, 将离体叶圆片在室内模拟强光下进行测定。试验表明, 原在 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强下的离体叶片经 $2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 人工模拟强光处理后, 叶绿素荧光参数均发生明显变化, 并且随着处理时间的延长, 变化幅度逐渐加大。在强光胁迫 30 min 后, 黄金梨和鸭梨叶片的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 均略有上升, 但变化幅度均较小, 随着胁迫时间的延长, F_v/F_m 和 F_v/F_o 的值逐渐降低, 经过 120 min 后, 黄金梨和鸭梨的 F_v/F_m 比处理前分别降低了 24.7% 和 23.0%, F_v/F_o 分别降低了 43.1% 和 27.1%; F_o 在强光处理 30 min 后稍有降低, 之后随着处理时间的增加又逐渐升高, 经 120 min 后, 黄金梨和鸭梨比最低值分别升高了 13.0% 和 9.7% (表 2)。

表 2 人工强光照后黄金梨和鸭梨叶片主要叶绿素荧光参数的变化

Table 2 Changes of mainly chlorophyll fluorescence parameters in leaves of 'Whangkeumbae' and 'Yali' pears after being exposed to strong light

品种	PAR /	时间 /min	F_o	F_v/F_o	F_v/F_m
Cultivar	($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Time			
鸭梨	400 (对照 Control)	30	532 \pm 8a	4.16 \pm 0.13a	0.827 \pm 0.012a
	2000		522 \pm 5a	4.30 \pm 0.32a	0.837 \pm 0.087a
	400 (对照 Control)	120	525 \pm 7a	4.16 \pm 0.21a	0.832 \pm 0.009a
	2000		576 \pm 5b	3.02 \pm 0.31b	0.645 \pm 0.054b
黄金梨	400 (对照 Control)	30	602 \pm 4a	4.32 \pm 0.11a	0.820 \pm 0.036a
	2000		577 \pm 9a	4.42 \pm 0.25a	0.832 \pm 0.008a
	400 (对照 Control)	120	584 \pm 6a	4.32 \pm 0.22a	0.826 \pm 0.058b
	2000		660 \pm 5b	2.50 \pm 0.34b	0.621 \pm 0.033b

注: 表中数据为平均数 \pm 标准误差, 同一列数据中不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values are means \pm SD, different letters within the same column indicate significant difference at 5% level

2.3 黄金梨和鸭梨叶片光抑制和随后在弱光下的恢复

2.3.1 人工模拟强光处理的光抑制和随后弱光下的恢复

由表 3 可知, 黄金梨和鸭梨的连体叶片经人工模拟强光处理 3 h, 再经 3 h 的弱光恢复后, 其 F_v/F_m 分别恢复到正常值的 97.8% 和 98.5%; F_o 分别恢复到最初的 105.8% 和 101.9%; 其离体叶圆片在室内经模拟强光处理 3 h, 再恢复 3 h 后, 其 F_v/F_m 分别恢复到正常值的 95.5% 和 97.4%; F_o 分别恢复到最初的 109.4% 和 102%。这说明强光引起梨树叶片的光抑制并没有对其光合机构造成不可逆转的破坏。特别值得注意的是, 叶片经弱光恢复后, 这些参数都不能恢复到照光前的水平。

表 3 黄金梨和鸭梨叶片在光抑制及其在弱光下恢复过程中 F_v/F_m 和 F_o 的变化

Table 3 Changes of F_v/F_m and F_o in leaves of 'Whangkeumbae' and 'Yali' pears during photoinhibition and the recovery under weak light

条件 Conditions	F_v/F_m				F_o			
	连体 Intact		离体 Detached		连体 Intact		离体 Detached	
	黄金梨 Whangke- umbae	鸭梨 Yali	黄金梨 Whangke- umbae	鸭梨 Yali	黄金梨 Whangke- umbae	鸭梨 Yali	黄金梨 Whangke- umbae	鸭梨 Yali
对照 Control	0.868 \pm 0.083 a	0.851 \pm 0.015 a	0.860 \pm 0.320 a	0.852 \pm 0.032 a	555 \pm 3 a	503 \pm 5 a	530 \pm 9 a	500 \pm 4 a
处理 Treatment								
1 h	0.843 \pm 0.032 a	0.833 \pm 0.039 a	0.829 \pm 0.089 b	0.840 \pm 0.111 a	610 \pm 8 a	532 \pm 2 a	613 \pm 6 a	522 \pm 8 a
2 h	0.779 \pm 0.018 b	0.801 \pm 0.187 b	0.745 \pm 0.110 b	0.815 \pm 0.089 b	632 \pm 5 b	555 \pm 4 b	639 \pm 6 b	562 \pm 4 b
3 h	0.789 \pm 0.010 b	0.786 \pm 0.120 b	0.764 \pm 0.038 b	0.79 \pm 0.009 b	660 \pm 8 b	576 \pm 8 b	650 \pm 4 b	580 \pm 2 b
恢复 Recovery								
1 h	0.835 \pm 0.021 b	0.829 \pm 0.006 b	0.790 \pm 0.004 b	0.813 \pm 0.102 b	622 \pm 9 b	532 \pm 3 b	613 \pm 2 b	540 \pm 5 b
2 h	0.840 \pm 0.009 b	0.834 \pm 0.013 b	0.810 \pm 0.007 b	0.821 \pm 0.008 b	592 \pm 7 b	517 \pm 4 b	597 \pm 3 b	523 \pm 5 b
3 h	0.849 \pm 0.018 a	0.837 \pm 0.025 a	0.821 \pm 0.104 b	0.830 \pm 0.008a	587 \pm 6 a	512 \pm 7 b	580 \pm 4 b	510 \pm 6 b

注: 表中数据为平均数 \pm 标准误差, 同一列数据中不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values are means \pm SD. Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level.

2.3.2 1, 4 - 二巯代苏糖醇 (DTT) 处理对黄金梨和鸭梨离体叶片荧光参数的影响

经 DTT 处理后的离体叶圆片经室内模拟强光照后 F_v/F_m 下降, F_o 上升, 且两者变化幅度均高于对照 (表 4)。强光照后再进行弱光恢复 3 h, 黄金梨与鸭梨的 F_v/F_m 分别恢复到原值的 92.9% 和 97.6%, 均低于对照的恢复率 (97.8% 和 98.4%); 两者的 F_o 分别恢复为原值的 112.7% 和 112.2%, 均高于对照 (111.4% 和 104.1%)。这表明, 与对照相比低浓度 DTT 处理叶片的 F_v/F_m 和 F_o 恢复能力有所下降。

表 4 DTT 预处理对黄金梨和鸭梨叶片光抑制及其弱光恢复后荧光参数的影响

Table 4 Effect of DTT on photoinhibition and the recovery under weak light in leaves of 'Whangkeumbae' and 'Yali' pears

品种 Cultivar	处理 Treatment	F_m	F_o	F_v/F_m	F_v/F_o
黄金梨 Whangkeumbae	DTT	1.236 \pm 0.091a	0.432 \pm 0.008a	0.640 \pm 0.036a	2.71 \pm 0.223a
	H ₂ O (对照 Control)	1.611 \pm 0.048b	0.358 \pm 0.015b	0.776 \pm 0.009b	3.50 \pm 0.100b
鸭梨 Yali	DTT	2.135 \pm 0.077a	0.512 \pm 0.007a	0.728 \pm 0.050a	2.98 \pm 0.188a
	H ₂ O (对照 Control)	2.327 \pm 0.098b	0.498 \pm 0.005b	0.809 \pm 0.025b	3.78 \pm 0.132b

注: 表中数据为平均数 \pm 标准误差, 同一列数据中不同字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: Values are means \pm SD. Different letters within the same column indicate significant difference an 5% level

3 讨论

造成植物叶片净光合速率午间降低的自身因素不外乎气孔的部分关闭引起的气孔限制和叶肉细胞自身活性下降引起的非气孔限制两类, 前者使 C_i 降低, 而后者使 C_i 增高。黄金梨和鸭梨在自然条件

下和强光处理条件下 P_n 和 AQY 降低, 但胞间 CO_2 浓度未降反而略有升高, 证实在强光胁迫下非气孔因素是限制梨树叶片光合作用降低的主要因素, 这与郭延平等 (1999) 在蜜柑上的研究结果是一致的。

一般来说, 表观量子效率 (AQY) 和 PS 光化学效率 (F_v/F_m) 的降低被认为是植物发生光抑制的两个最明显的特征 (Demmig & Björkman, 1987; Ogren & Evans, 1992)。本试验结果表明, 在没有其它环境因子胁迫情况下, 无论是经室外强光照射还是室内模拟强光处理, 黄金梨和鸭梨叶片的 AQY 和 F_v/F_m 均显著下降, 这说明黄金梨和鸭梨叶片在中午强光下或经强光处理后, 光合作用下降主要是由光抑制引起的, 同时“午休”现象进一步证实了光抑制的存在。

F_o 反映了 PS 反应中心处于完全开放时的荧光产额。在光下, F_o 下降被认为与叶黄素循环有关, 叶黄素循环的热耗散使其降低, PS 反应中心的可逆失活和破坏使其升高 (Demmig & Admas, 1992; 孟庆伟等, 1999)。本试验表明, 一天中 9:00 前光照强度不高时, F_o 呈降低趋势, 说明供试梨品种叶片光合机构得到的多余光能主要依靠叶黄素循环以热能形式耗散出去; 而 9:00 以后, 当光强过高时, F_o 逐渐上升, 说明多余强光对其 PS 反应中心造成损伤, 且随着光强的增加, 损伤愈严重。到 15:00 后, 随着光强的减弱, F_o 又逐渐降低, 同时自然强光和室内模拟强光处理和弱光恢复试验结果均说明, 强光对 PS 反应中心的损伤是可逆的。DTT 是催化叶黄素循环的关键酶—紫黄素脱环氧化酶的专一抑制剂, 低浓度 DTT 能强烈抑制紫黄素脱环氧化酶 (VDE) 活性 (Demmig & Admas, 1998)。对在弱光下吸入二硫苏糖醇 (DTT) 的黄金梨和鸭梨叶片进行强光处理发现, 其 F_v/F_m 比未吸入 DTT 的叶片低, F_o 比对照高, 这说明依靠叶黄素循环进行热耗散是梨树叶片防御强光破坏光合机构的重要途径之一。

砂梨原生分布于长江沿岸, 适宜于温暖湿润地区, 黄金梨亦属于砂梨系统, 白梨又称华北梨, 原生分布于气候相对炎热干燥的河北、山西等华北地区, 鸭梨原产于河北省, 属典型的白梨系统品种。俞德浚 (1979) 认为白梨和砂梨形态特征、生物学特性及产地分布等差异较大。本试验结果表明, 鸭梨在自然强光和人工强光条件下发生光抑制的程度均比黄金梨低, 且对光抑制的恢复能力高于黄金梨。说明梨树在强光条件下产生光合作用的光抑制程度有品种差异性。因此在梨树育种和引种中, 可以有针对性地选育一些既耐强光又优质的品种以及引种适宜当地环境条件的品种。在实际生产中, 针对容易发生光抑制的梨品种可采取遮阳、喷水等相应的栽培措施以降低光合抑制程度, 从而提高梨树生产的经济效益, 这一点对北方引种栽培黄金梨等日韩梨品种的果园尤为重要。

References

- Chen Xian-tian, Ke Shi-sheng. 2002. Analysis on causes of photosynthetic midday-depress in *Camellia sinensis* leaves. Zhejiang For Sci & Tech, 22 (3): 80 - 83. (in Chinese)
- 陈贤田, 柯世省. 2002. 茶树光合“午休”的原因分析. 浙江林业科技, 22 (3): 80 - 83.
- Demmig B, Admas WW. 1992. Photoinhibition and other responses of plants to high light stress. Rev Plant Physiol Plant Mol, 43: 599 - 626.
- Demmig B, Admas WW. 1998. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. Physiol Plant, 253 - 264.
- Demmig B, Björkman O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photonyield of O_2 evolution on leaves of higher plants. Planta, 171: 171 - 184.
- Fan Wei-guo, Li Ying-chun. 2006. Photosynthetic characters and water utilization of four species of *Pyrus*. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 19 (6): 1144 - 1146. (in Chinese)
- 樊卫国, 李迎春. 2006. 梨属 4 个重要种的光合特性及水分利用率. 西南农业学报, 19 (6): 1144 - 1146.
- Guo Yan-ping, Zhang Liang-cheng, Hong Shuang-song, Shen Yun-gang. 1999. Photoinhibition of photosynthesis in Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu* Marc). Acta Horticulturae Sinica, 26 (5): 281 - 286. (in Chinese)
- 郭延平, 张良诚, 洪双松, 沈允钢. 1999. 温州蜜柑叶片光合作用的光抑制. 园艺学报, 26 (5): 281 - 286.

- Liu Hui, Guo Yan-ping, Hu Mei-jun. 2005. Chilling-induced photoinhibition of photosynthesis in *Myrica rubra* leaves. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 13 (4): 338 - 342. (in Chinese)
- 刘 辉, 郭延平, 胡美君. 2005. 杨梅光合作用的低温光抑制. 热带亚热带植物学报, 13 (4): 338 - 342
- Long S P, Humphries S, Falkowski P G. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 45: 633 - 662.
- Lu Bing-she, Bai Zhi-ying, Liang Hai-yong, Wu Jing-min, Dong Yuan. 2002. A study on photoinhibition of photosynthesis in pistachio (*Pistacia vera* L.) leaves. Acta Horticulturae Sinica, 29 (4): 313 - 316. (in Chinese)
- 路丙社, 白志英, 梁海永, 吴京民, 董 源. 2002. 阿月浑子叶片光合作用的光抑制研究. 园艺学报, 29 (4): 313 - 316.
- Meng Qing-wei, Weis E, Zou Qi, Zhao Shi-jie. 1999. Photoinhibition and photoprotection in *Ginkgo biloba* leaves: Influence of temperature, CO₂ and O₂. Chinese Bulletin of Botany, 41 (4): 398 - 404. (in Chinese)
- 孟庆伟, Weis E, 邹 琦, 赵世杰. 1999. 银杏叶片的光抑制和光保护机制: 温度、CO₂和 O₂的影响. 植物学报, 41 (4): 398 - 404.
- Ogren E, Evans J R. 1992. Photoinhibition insitu in six species of *Eucalyptus*. Aust J Plant Physiol, 19: 223 - 232.
- Wang Xiao-ting, Li Yong-mei, Wang Yong-zhang. 2007. Studies on leaf photosynthetic characteristics and affecting factors in different pear cultivar. Shandong For Sci & Tech, 2: 11 - 13. (in Chinese)
- 王晓婷, 李永梅, 王永章. 2007. 不同梨品种叶片光合特性及其影响因素研究. 山东林业科技, 2: 11 - 13.
- Xu Da-quan, Zhang Yu-zhong, Zhang Rong-xian. 1992. Photoinhibition of photosynthesis of plants. Physiol Comm, 28 (4): 237 - 243. (in Chinese)
- 许大全, 张玉忠, 张荣铎. 1992. 植物光合作用的光抑制. 植物生理学通讯, 28 (4): 237 - 243.
- Yu De-jun. 1979. Taxonomy of the fruit trees in China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 122 - 146. (in Chinese)
- 俞德浚. 1979. 中国果树分类学. 北京: 农业出版社: 122 - 146.

期刊征订

欢迎订阅 《园艺学报》

《园艺学报》是中国园艺学会主办的学术期刊, 创刊于 1962 年, 刊载有关果树、蔬菜、观赏植物、茶及药用植物等方面的学术论文、研究简报、专题文献综述、问题与讨论、新技术新品种以及园艺研究动态与信息, 适合园艺科研人员、大专院校师生及农业技术推广部门专业技术人员阅读参考。

《园艺学报》是中文核心期刊, 被中国科学引文数据库 Chinese Science Citation Database 等多家重要数据库收录。《园艺学报》2005 年荣获第三届国家期刊奖, 2008 年获中国科技信息所“中国精品科技期刊”称号及武汉大学中国科学评价研究中心“中国权威学术期刊”称号。《园艺学报》总被引频次为 4 213 次, 影响因子为 1.323。

《园艺学报》为月刊, 每月 25 日出版。2010 年每期定价 40.00 元, 全年 480.00 元。国内外公开发行, 全国各地邮局办理订阅, 国内邮发代号 82 - 471, 国外发行由中国国际图书贸易总公司承办, 代号 M448。漏订者可直接寄款至本编辑部订购。

编辑部地址: 北京市海淀区中关村南大街 12 号 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 《园艺学报》编辑部;

邮政编码: 100081; 电 话: (010) 82109523。

E-mail: yuanyixuebao@126.com。

网址: http: www. ahs. ac. cn。