

水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化

曹慧¹ 许雪峰¹ 韩振海^{1*} 王孝威¹ 郭图强²

(¹ 中国农业大学园艺植物研究所, 北京 100094; ² 新疆塔里木农垦大学植物科技学院, 阿拉尔 843300)

摘要: 水分胁迫使苹果属植物叶绿素-蛋白质 (Chl-Pro) 结合度松弛, 净光合速率 (Pn)、气孔导度下降, 胞间 CO₂ 浓度先降后升, SOD、CAT 活性先升后降, 类胡萝卜素、抗坏血酸含量大幅度降低, O₂⁻ 产生速率、H₂O₂ 含量增高; 这些参数下降和上升的幅度均为: 平邑甜茶 > 新疆野苹果。水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果幼苗叶片的 Pn 与其 Chl-Pro、O₂⁻、H₂O₂ 间均呈显著负相关。表明水分胁迫对苹果属植物光合速率的影响除受气孔因素限制之外, 在胁迫后期由活性氧代谢失调所诱导的非气孔因素成为限制光合速率的主要因素之一。

关键词: 苹果属; 水分胁迫; 光合作用; 活性氧; 非气孔限制

中图分类号: S 661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2004) 03-0285-06

Changes of Physiological Characteristic on Photosynthesis in *Malus* Seedling Leaves during Water Stress

Cao Hui¹, Xu Xuefeng¹, Han Zhenhai^{1*}, Wang Xiaowei¹, and Guo Tuqiang²

(¹ Institute for Horticultural Plants, China Agricultural University, Beijing 100094, China; ² Department of Plant Science and Technology, Tarim Agricultural University, Alaer 843300, China)

Abstract: Changes of physiological characteristic on photosynthesis in *Malus* seedling leaves during water stress were studied with polyethylene glycol (PEG 6000) treatment. The results were as follows: Under water stress, the binding of Chl-Pro was loosened with the changes of time and intensity of water stress. Net photosynthesis rate (Pn), stomatal conductance (Gs) decreased, intercellular CO₂ concentration (Ci) increased, then decreased. The activities of SOD, CAT increased in the early period, then decreased. The O₂⁻ generating rate and contents of H₂O₂ increased during water stress, the content of antioxidants carotenoid (Car)、ASA decreased. The changing extents of these parameters in the drought tolerant variety *M. sieversii* were lower than the drought resistive variety *M. hupehensis*. Under water stress, there are high negative significant correlation between Pn and Chl-Pro O₂⁻, H₂O₂ in *M. hupehensis* (Pamp.) Rehd. and *M. sieversii* (Ledeb.) Roem. seedlings. With the duration of water stress, the excessive accumulation of O₂⁻, H₂O₂ induced the nonstomatal limitation. It played key role in the decline of the photosynthetic rate.

Key words: *Malus*; Water stress; Photosynthesis; Active oxygen; Nonstomatal limitation

近年来, 由于人口增加、森林面积减少及现代工业发展对生态环境的破坏, 干旱与半干旱地区逐渐扩大, 致使干旱对农业的威胁日趋严重^[1]。作为决定植物产量的主要因素的光合作用对干旱胁迫的响应, 已引起许多学者的关注。在光下, 水分胁迫的植物叶绿体在碳同化过程中利用 CO₂ 的能力受到限制, 能耗降低, 光合电子传递到 O₂ 的比例相对增加, 因而可形成 O₂⁻、H₂O₂, 当自由基的产生超过了防御系统的清除能力时, 会造成自由基的积累, 这样植物体内的自由基的产生与清除之间的平衡被打破, O₂⁻ 累积到一定程度会引起叶绿素的破坏^[2], H₂O₂ 过剩又会抑制 CO₂ 的固定和加速植

收稿日期: 2003-09-22; 修回日期: 2003-12-05

基金项目: 北京市重点实验室“果树逆境生理与分子生物学实验室”资助项目; 教育部优秀教师教科奖励基金资助项目

* 通讯作者 Corresponding author

物的衰老,更严重的是 O_2^- 、 H_2O_2 在过渡金属离子 Fe^{2+} 或 Cu^{2+} 的催化下可通过Fenton型Haber-weiss反应形成化学性质更活泼、攻击力更强的羟自由基($\cdot OH$)^[3],这些活性氧会加剧膜脂过氧化而造成整体膜的损伤^[4,5]。近年来的研究表明,植物体内活性氧代谢失调而引发的生物膜结构的破坏,是导致光合作用非气孔限制的主要原因^[6,7]。作者以苹果属植物平邑甜茶和新疆野苹果为材料,研究了水分胁迫下活性氧代谢失调对光合速率的影响,旨在探明抗旱性不同的苹果属植物在水分胁迫下光合作用降低的生理机制,从而为果树抗旱机理的研究提供理论依据。

1 材料与方法

抗旱性较弱的平邑甜茶 [*Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd.] 与抗旱性较强的新疆野苹果 [*Malus sieversii* (Ledeb.) Roem.]^[8]种子经4℃层积处理发芽后播入蛭石中,温室内培养。待幼苗长到4片真叶移至1/2剂量Hoagland营养液培养1周,然后以Hoagland营养液培养,初始pH用KOH调至6.0。每周更换1次营养液,每天定时通气,日光灯恒定光源,14h光照,光强 $400 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,温度为白天22~28℃,夜间17~21℃。选取生长一致的10周龄幼苗分别移入含有20% PEG 6000的营养液中进行水分胁迫处理,对照为正常营养液水培,重复6次。从胁迫处理第1天开始,每2d取样1次(早晨8:00取样),叶片取自幼苗顶端第3至第5片叶。

测定类胡萝卜素含量^[9]、Chl-Pro结合度^[10] [以0.4%乙醇—石油醚浸提叶绿素的量表示非游离态的牢固性较弱的络合物数量,0.8%乙醇—石油醚浸提叶绿素的量表示牢固性较强的络合物数量,以叶绿素相对含量(%)表示]。用美国CID公司生产的CID-301PS便携式光合测定仪测定胞间 CO_2 浓度、气孔导度、净光合速率,采用开放式气路,测定条件:(30 ± 1)℃,空气 CO_2 浓度(400 ± 5) $\mu L \cdot L^{-1}$ 。测定SOD活性(以抑制NBT光化还原50%的酶量为一个酶活性单位,结果以 $units \cdot g^{-1} FM$ 表示)^[11]、CAT活性^[12]、抗坏血酸含量^[13]、 O_2^- 产生速率^[14]和 H_2O_2 含量^[15]。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片Chl-Pro松弛度的变化

水分胁迫使平邑甜茶和新疆野苹果叶片Chl-Pro结合度发生了变化(图1),牢固性较弱的Chl-Pro结合度发生松弛,胁迫后第5天,在0.4%乙醇—石油醚混合液剂中,平邑甜茶叶绿素(Chl.)的浸提量比对照提高了17.1%,新疆野苹果Chl.的浸提量比对照提高了10.1%。而水分胁迫对牢固性较强的Chl-Pro复合体结合度,无论是抗旱性较强的新疆野苹果还是抗旱性较弱的平邑甜茶几乎没有变化。

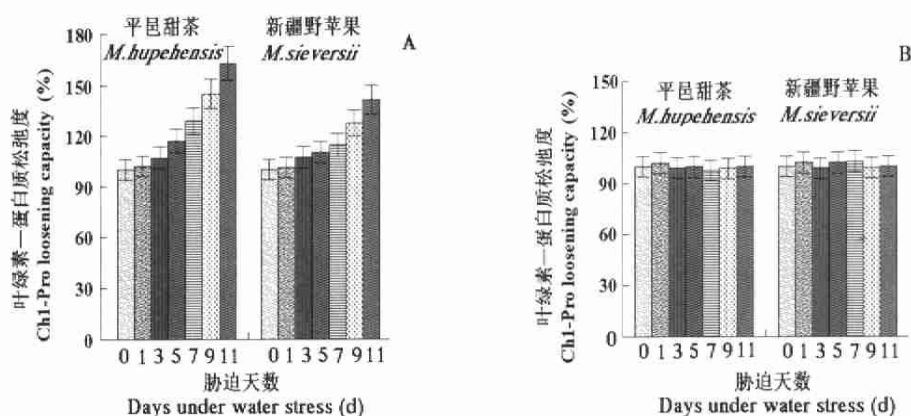


图1 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果幼苗叶绿素—蛋白质松弛度的变化

A: 0.4%乙醇—石油醚中可提取叶绿素; B: 0.8%乙醇—石油醚中可提取叶绿素。

Fig. 1 Changes of Chl-Pro loosening capacity in *M. hupehensis* and *M. sieversii* seedling under water stress

A: Extractable % of Chl. by 0.4% ethanol-petroleum; B: Extractable % of Chl. by 0.8% ethanol-petroleum.

2.2 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片净光合速率和 CO₂ 交换参数的变化

由图 2 表明, 随着水分胁迫时间的延长, 净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs) 明显下降, 苹果属不同植物之间下降程度不同, 平邑甜茶 > 新疆野苹果, Gs 的变化与 Pn 的变化相一致。目前判断光合速率下降是否受非气孔因素限制依据是: Pn 和 Gs 下降与细胞间隙 CO₂ 浓度 (Ci) 的变化呈相反趋势。水分胁迫下, 平邑甜茶和新疆野苹果 Ci 均是先降低后升高, 其中, 平邑甜茶于胁迫 3 d 后 Ci 开始大幅度升高, 新疆野苹果于胁迫 5 d 后开始相对缓慢上升。由此表明, 在水分胁迫前期 Pn 的降低主要与气孔因素有关, 但随着胁迫时间的延长和胁迫程度的加剧, 已影响了叶肉细胞光合活性, Pn 的降低除与气孔因素有关外, 非气孔因素逐渐起主导作用。

2.3 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片保护酶 (SOD、CAT) 活性的变化

SOD 是植物体内清除 O₂⁻ 的关键酶, SOD 受 O₂⁻ 的调节。从图 3 可知, 在正常供水条件下, SOD 在整个处理期内变化幅度不大。在水分胁迫前期, 苹果属不同植物 SOD 活性均呈上升趋势, 平邑甜茶于胁迫第 3 天升至最高, 之后呈下降趋势; 新疆野苹果于胁迫第 5 天升至最高, 之后开始降低。在胁迫前期 SOD 升高的幅度: 平邑甜茶 < 新疆野苹果; 之后 SOD 下降的幅度: 平邑甜茶 > 新疆野苹果。

CAT 是清除植物体内 H₂O₂ 的关键酶。SOD 清除 O₂⁻ 并产生歧化产物 H₂O₂, CAT 受 H₂O₂ 诱导。苹果属不同植物, 在正常供水条件下 CAT 变化幅度不大, 平邑甜茶在胁迫前期 0~5 d 上升幅

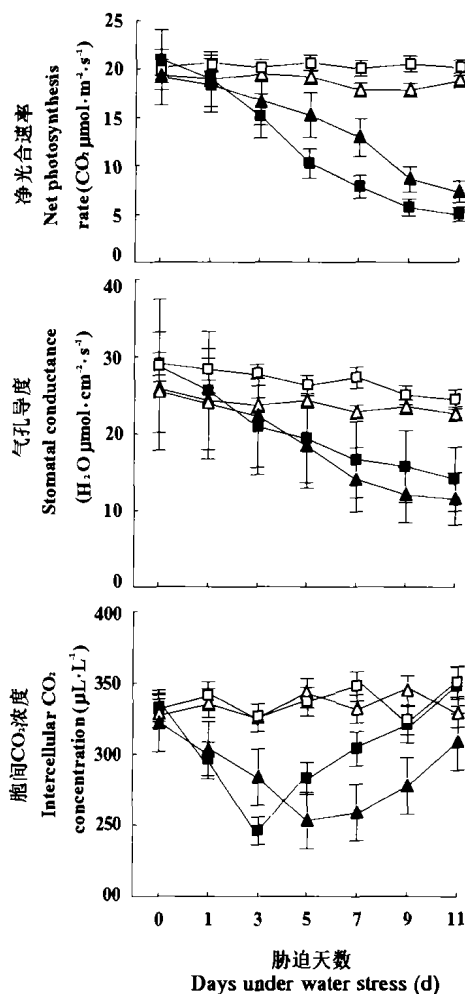


图 2 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果净光合速率、气孔导度及胞间 CO₂ 浓度的变化

□: 平邑甜茶对照; ■: 平邑甜茶 20% PEG;
△: 新疆野苹果对照; ▲: 新疆野苹果 20% PEG。

Fig. 2 Changes of net photosynthetic rate, stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration in *M. hupehensis* and *M. sieversii* under water stress

□: *M. hupehensis* control; ■: *M. hupehensis* 20% PEG;
△: *M. sieversii* control; ▲: *M. sieversii* 20% PEG.

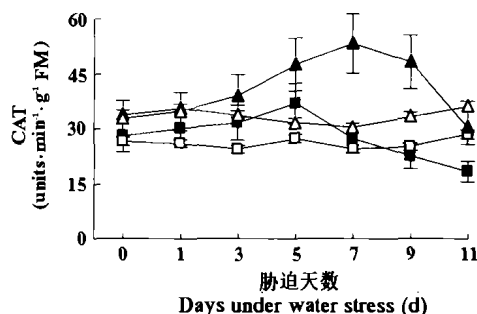
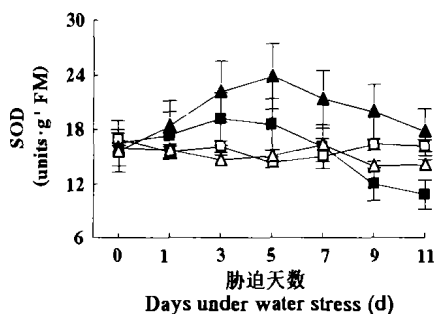


图 3 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果 SOD 和 CAT 活性的变化

□: 平邑甜茶对照; ■: 平邑甜茶 20% PEG; △: 新疆野苹果对照; ▲: 新疆野苹果 20% PEG。

Fig. 3 Changes of SOD and CAT activity in *M. hupehensis* and *M. sieversii* under water stress

□: *M. hupehensis* control; ■: *M. hupehensis* 20% PEG; △: *M. sieversii* control; ▲: *M. sieversii* 20% PEG.

度缓慢,于胁迫后第5天升至最高,之后呈下降趋势,于胁迫第7天开始低于对照水平。水分胁迫下新疆野苹果 CAT 呈上升趋势,于胁迫后第7天升至最高,之后呈下降趋势,于胁迫后第11天降至最低,且低于对照水平。在整个处理期内平邑甜茶 CAT 变化幅度大于新疆野苹果(图3)。

2.4 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片抗氧化剂类胡萝卜素(Car)、抗坏血酸(ASA)含量的变化

水分胁迫下,苹果属不同植物幼苗 Car 含量随着胁迫时间的延长而下降(图4)。胁迫后第5天,平邑甜茶和新疆野苹果 Car 含量分别比对照降低了27.2%、18.8%。

ASA 可还原 O_2^- 、清除 $\cdot OH$ 、淬灭 1O_2 及歧化 H_2O_2 。试验结果表明(图4),在水分胁迫过程中,ASA 含量持续下降,水分胁迫后第3天,平邑甜茶 ASA 含量比对照降低了20.7%,新疆野苹果 ASA 含量比对照降低了13.3%;到胁迫后第11天,平邑甜茶 ASA 含量比对照降低了70.2%,新疆野苹果 ASA 含量比对照降低了48.1%。说明 ASA 对水分胁迫非常敏感。

2.5 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片活性氧 O_2^- 产生速率及 H_2O_2 含量的变化

水分胁迫下,苹果属植物幼苗叶片中主要活性氧(O_2^- 、 H_2O_2)的产生有明显变化(图5),其变化趋势和上升幅度与前文结果^[16]相一致。

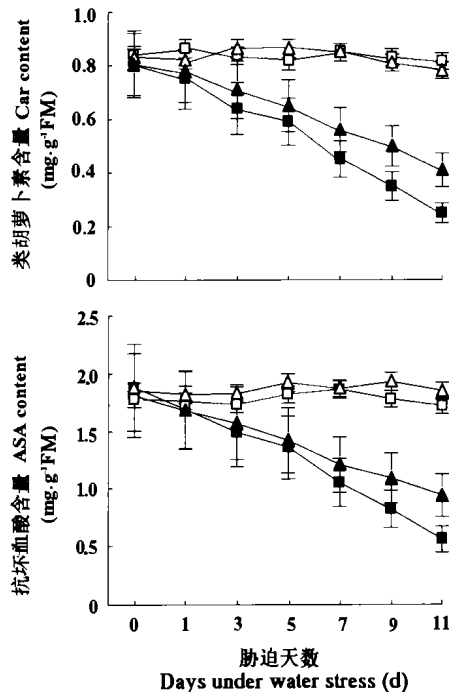


图4 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果 Car 和 ASA 含量的变化

□: 平邑甜茶对照; ■: 平邑甜茶 20% PEG;
△: 新疆野苹果对照; ▲: 新疆野苹果 20% PEG。

Fig. 4 Changes of Car and ASA content in *M. hupehensis* and *M. sieversii* under water stress

□: *M. hupehensis* control; ■: *M. hupehensis* 20% PEG;
△: *M. sieversii* control; ▲: *M. sieversii* 20% PEG.

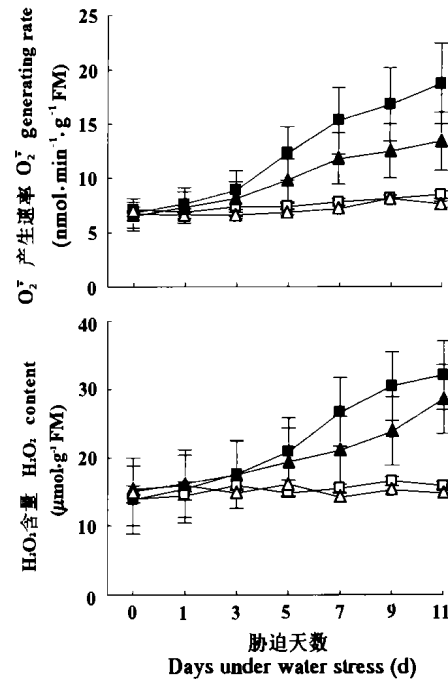


图5 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果产生 O_2^- 速率和 H_2O_2 含量的变化

□: 平邑甜茶对照; ■: 平邑甜茶 20% PEG;
△: 新疆野苹果对照; ▲: 新疆野苹果 20% PEG。

Fig. 5 Changes of O_2^- generating rate and H_2O_2 content in *M. hupehensis* and *M. sieversii* under water stress

□: *M. hupehensis* control; ■: *M. hupehensis* 20% PEG;
△: *M. sieversii* control; ▲: *M. sieversii* 20% PEG.

2.6 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片 Chl-Pro、 O_2^- 、 H_2O_2 与 Pn 间的相关回归分析

叶绿体中的各种色素都是以非共价键和膜上的特殊蛋白相结合,形成 Chl-Pro 复合体。水分胁迫下使苹果属植物幼苗 Chl-Pro 复合体中牢固性较弱的色素蛋白络合物结合松弛,Chl-Pro 复合体结合度的松弛为活性氧对 Chl. 的氧化损伤提供了有利条件。表1表明,水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果 Pn 的降低与其胁迫期间叶片内 Chl-Pro、 O_2^- 、 H_2O_2 变化均呈高度负相关。表明水分胁迫下苹果属植

物光合速率的下降除与气孔因素有关外, 还与活性氧代谢失调所引发的自由基 ($O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2) 的累积而导致的非气孔因素限制直接相关。

表 1 水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果叶片 Chl-Pro、 $O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 与 Pn 间的相关回归分析

Table 1 Correlation and linear analysis between the contents of Chl-Pro、 $O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2 and Pn in *M. hupehensis* and *M. sieversii* seedling leaves under water stress

相关因素 Correlation factor	平邑甜茶 <i>M. hupehensis</i>		新疆野苹果 <i>M. sieversii</i>	
	回归方程 Linear regression	相关系数 Correlation coefficient	回归方程 Linear regression	相关系数 Correlation coefficient
Chl-Pro 与 Pn	$Y = -3.3489X + 163.12$	-0.8354 *	$Y = -3.123X + 158.25$	-0.9327 *
$O_2^{\cdot-}$ 与 Pn	$Y = -0.7222X + 20.968$	-0.9568 **	$Y = -0.5688X + 17.885$	-0.9007 *
H_2O_2 与 Pn	$Y = -1.1139X + 35.732$	-0.9351 *	$Y = -1.0057X + 33.337$	-0.9155 *

3 讨论

水分胁迫下苹果属植物叶片 Pn 和 Gs 下降的同时, 随着胁迫时间的延长, Ci 浓度却升高, 这种现象说明气孔导度不是抑制水分胁迫下苹果属植物光合作用下降的唯一因子。

水分胁迫改变了苹果属植物体内正常的活性氧代谢平衡, 既刺激了活性氧的生成, 也削弱了活性氧的清除体系。水分胁迫使苹果属植物幼苗体内保护酶 SOD、CAT 活性在胁迫前期有不同程度的提高, 提高的幅度均为: 新疆野苹果 > 平邑甜茶, 从时间上看 SOD 活性变化与 $O_2^{\cdot-}$ 变化相一致, CAT 活性变化与 H_2O_2 含量的变化相一致。在水分胁迫过程中酶活性水平的变化, 反应了细胞内保护酶类在产生和清除活性氧平衡之间的调控关系。而抗氧化剂 ASA、Car 对水分胁迫非常敏感, 整个胁迫处理期内均呈下降趋势, 且下降的幅度为平邑甜茶 > 新疆野苹果。

由此推测, 水分胁迫下苹果属不同植物, 随着叶片内 $O_2^{\cdot-}$ 的积累, 诱导了叶片内 SOD 酶活性水平的提高, 而 SOD 酶活性的提高又可催化 $O_2^{\cdot-}$ 歧化反应, 避免了 $O_2^{\cdot-}$ 在叶内过多积累, 歧化生成的 H_2O_2 可调动 CAT 活性, 因此胁迫前期, $O_2^{\cdot-}$ 的产生与清除处于平衡状态, 尽管 ASA、Car 含量降低, 但 CAT 酶活性处于上升趋势, 活性氧不至于产生毒害作用, 叶片生理功能保持基本正常。但平邑甜茶、新疆野苹果分别于胁迫 5 d、7 d 后, 保护酶的活性大幅度降低, 抗氧化剂含量大幅度下降, 从而导致活性氧代谢失调, $O_2^{\cdot-}$ 等自由基在叶内的迅速积累而产生毒害作用, 一般认为, $O_2^{\cdot-}$ 不能直接启动膜脂过氧化, 但可引发 Haber-Weiss 反应生成攻击力更强的 $\cdot OH$ 。本试验研究中, 苹果属植物幼苗 $O_2^{\cdot-}$ 在大量积累之前, 已有 H_2O_2 的积累, 所以这一反应有可能发生。 $O_2^{\cdot-}$ 可直接启动膜脂过氧化, 导致膜透性增大, 使光合作用过程中许多酶活性受到抑制以及许多酶 (蛋白质) 的降解, 同时还可直接攻击核酸、蛋白质等生物大分子, 造成 Chl-Pro 复合体中牢固性较弱的色素蛋白络合物结合松弛, 引起光合色素大量降解, 为活性氧对 Chl 的氧化损伤提供了有利条件, 从而使 Chl-Pro 复合体调节和控制着光合作用的光能吸收、传递、分配和转化受到影响。水分胁迫下平邑甜茶和新疆野苹果 Pn 的降低与其胁迫期间 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 含量变化均呈显著负相关。表明水分胁迫下苹果属植物光合速率的下降与活性氧代谢失调所引发的自由基 ($O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2) 的累积而导致的非气孔因素限制高度相关。

综上所述, 水分胁迫使苹果属植物光合速率降低、植物的衰老源于氧代谢的失调, 水分胁迫下, 一方面提高了活性氧 ($O_2^{\cdot-}$ 、 H_2O_2) 的产生速率, 另一方面破坏了以 SOD 为主导的细胞保护酶系统和抗氧化还原剂的含量, 叶片在这双重因素作用下, 加速膜脂过氧化链式反应, 增加过氧化有害物积累, 导致了细胞膜系统破坏及大分子生命物质的损伤, 光合速率急剧下降, 叶片开始走向衰老死亡, 因此, 水分胁迫诱发的活性氧自由基代谢失调而导致的光合器官与功能的破坏, 可能是导致光合器官光合活性下降, 特别是非可逆下降的原因之一, 本试验结果与卢从明等^[17]的结果相一致。由此推断, 随着胁迫时间的延长, 由活性氧自由基代谢失调所诱发的非气孔因素所导致的对苹果属植物 Pn 下降、

叶片伤害的顺序为：保护酶（SOD、CAT）活性下降、抗氧化剂（ASA、Car）含量降低→活性氧（ O_2^- 、 H_2O_2 ）累积→膜脂过氧化加剧→MDA 含量增多、质膜受损→光合机构破坏→不可逆伤害→衰老死亡。

参考文献：

- 1 陈 阳, 曾福礼. 黄瓜叶片光合电子传递对水分胁迫的响应. 西北植物学报, 2001, 21 (3): 456~461
- 2 Asada K, Kiso K. Initiation of aerobic oxidation of sulfite by illuminated spinach chloroplasts. Eur. J. Biochem., 1975, 33: 253~257
- 3 Fridovich I. The biology of oxygen radicals. Science, 1978, 201: 875~880
- 4 Kellogg E W, Fridovich I. Superoxide hydrogen peroxide and singlet oxygen in lipid peroxidation by a xanthine oxidase system. J. Biol. Chem., 1975, 250: 8812~8817
- 5 蒋明义, 郭绍川. 渗透胁迫及光照下水稻幼苗叶片光合色素降解过程中 1O_2 的参与. 植物学报, 1996, 32 (10): 797~802
- 6 关义新, 戴俊英, 林 艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制. 植物生理学通讯, 1995, 31 (4): 293~297
- 7 贾虎森, 潘秋红, 蔡世英. 水分胁迫下油梨幼苗活性氧代谢对光合作用的影响. 热带作物学报, 2001, 22 (1): 48~55
- 8 韩振海. 落叶果树种质资源学. 北京: 中国农业大学出版社, 1994. 232~233
- 9 张宪政. 作物生理研究法. 北京: 中国农业出版社, 1986. 148~149
- 10 波钦诺克著. 荆家海, 丁钟荣译. 植物生物化学分析方法. 北京: 科学出版社, 1981. 255~259
- 11 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000. 167~169
- 12 邹 琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000. 168~169
- 13 汤章诚. 现代植物生理学实验指导. 北京: 科学出版社, 1999. 315~316
- 14 王爱国, 罗广华. 植物的超氧自由基与羟胺反应的定量关系. 植物生理学通讯, 1990, 26 (6): 55~57
- 15 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 衰老叶片和叶绿体中的累积与膜脂过氧化的关系. 植物生理学报, 1988, 14: 16~22
- 16 曹 慧, 韩振海, 许雪峰. 抗旱性不同的苹果属植物水分胁迫下核酸代谢及自由基变化. 园艺学报, 2002, 29 (6): 505~509
- 17 卢从明, 张其德, 匡廷云, 等. 水分胁迫抑制水稻光合作用的机理. 作物学报, 1994, 20 (5): 601~606

欢迎购阅下列新书

- | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1-1 《英汉生物学词汇》(第二版) 99 元 | 1-39《蛋白质技术手册》33 元 | 1-64《植物数量性状遗传体系》57 元 |
| 1-2 《英汉/汉英生物化学词汇》30 元 | 1-41《英汉生物化学及分子生物学词典》88 元 | 1-65《体外培养的原理与技术》165 元 |
| 1-3 《拉汉英农业害虫名称》90 元 | 1-42《生物技术概论》23 元 | 2-1《英汉农业大词典》218 元 |
| 1-7 《PCR 技术实验指南》(译) 110 元 | 1-43《分子细胞生物学》78 元 | 2-2《英汉园艺学词典》23 元 |
| 1-8 《植物生理与分子生物学》94 元 | 1-44《现代遗传学原理》77 元 | 2-3《花卉资源原色图谱》218 元 |
| 1-9 《汉英生物学词汇》106 元 | 1-45《分子克隆实验指南》(第三版英文原版) 1300 元 | 2-5《农业百科全书·观赏园艺卷》165 元 |
| 1-10《新英汉病毒学词典》36 元 | 1-48《细胞信号转导》(第三版) 55 元 | 2-6《农业百科全书·果树卷》61 元 |
| 1-11《蛋白质结构分析》(译) 46 元 | 1-50《细胞实验指南》(译)(上、下)244 元 | 2-8《葡萄学》141 元 |
| 1-12《生物化学制备技术》39 元 | 1-51《拉汉英种子植物名称》(第3版) 134 元 | 2-9《苹果学》176 元 |
| 1-13《蛋白质电泳实验技术》29 元 | 1-52《分子克隆实验指南》(第三版) 187 元 | 2-10《柑橘学》207 元 |
| 1-14《分子遗传学》70 元 | 1-53《生物信息学: 序列与基因组分析》82 元 | 2-12《中国水生蔬菜》62 元 |
| 1-17《植物分子遗传学》(第二版) 88 元 | 1-54《生物化学技术原理及应用》(第三版) 45 元 | 2-13《花卉病虫害防治手册》42 元 |
| 1-22《英汉化学化工词汇》(第四版) 110 元 | 1-55《基因工程》49 元 | 2-14《花卉病虫害防治彩色图说》20 元 |
| 1-24《精编分子生物学实验指南》(译) 123 元 | 1-56《分子生物学》89 元 | 2-15《中国蔬菜花粉扫描电镜图解》40 元 |
| 1-25《植物分子生物学实验指南》(译) 52 元 | 1-57《微注射和转基因实验指南》66 元 | 2-17《中国科学技术专家传略》(农学编园艺卷2) 57 元 |
| 1-26《蛋白质纯化与鉴定实验指南》(译) 52 元 | 1-58《真核生物转录调控——概念、策略和方法》86 元 | 2-18《中国科学技术专家传略》(农学编综合卷2) 66 元 |
| 1-27《实用分子生物学方法手册》32 元 | 1-59《DNA 与 RNA 基本操作技术》52 元 | 2-27《芽苗蔬菜生产技术图册》32 元 |
| 1-31《被子植物有性生殖图谱》96 元 | 1-60《蛋白质组学: 从序列到功能》50 元 | 3-4《新编拉汉英植物名称》185 元 |
| 1-32《基因工程原理》(第二版) 上册 58 元 | 1-62《植物基因工程》(第2版) 97 元 | 3-6《中国蔬菜品种志》(上、下)卷 490 元 |
| 1-33《基因工程原理》(第二版) 下册 78 元 | 1-63《基因组》55 元 | |
| 1-34《基因及其表达》24 元 | | |
| 1-38《植物生殖遗传学》30 元 | | |

以上价格已含邮资。购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号《园艺学报》编辑部, 邮编: 100081。