

环割对柑橘叶片衰老的影响

梁春辉^{1,2}, 陈惠敏¹, 李娟³, 贺世雄¹, 陈杰忠^{1,*}, 姚青¹

(¹ 华南农业大学园艺学院, 广州 510642; ² 广东农工商职业技术学院, 广州 510507; ³ 仲恺农业工程学院园艺园林学院, 广州 510225)

摘要: 以3年生红黎檬砧‘暗柳橙’(Anliucheng)为试材, 研究了环割与环剥对柑橘叶片光合性能及活性氧代谢的影响。结果表明, 环割和环剥30 d后均不同程度降低了叶片叶绿素相对含量(SPAD)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和细胞间CO₂浓度(C_i), 其中环剥处理对叶片SPAD和 P_n 产生了持续性的影响; 环割和环剥在处理的前期均显著增加了叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性; 处理30 d后叶片抗氧化物质抗坏血酸(AsA)和还原型谷胱甘肽(GSH)含量显著低于对照, 随后呈上升趋势, 达到一个峰值后缓慢恢复到正常状态; 各处理叶片膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量均呈上升趋势, 环割2次和环剥处理叶片初期MDA含量显著高于对照, 引发柑橘叶片中一系列抗氧化反应, 造成其膜脂氧化程度加剧。

关键词: 柑橘; 环割; 光合作用; 活性氧

中图分类号: S 666.4

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2018) 06-1204-09

Effects of Girdling on Senescence of *Citrus* Leaf

LIANG Chunhui^{1,2}, CHEN Huimin¹, LI Juan³, HE Shixiong¹, CHEN Jiezhong^{1,*}, and YAO Qing¹

(¹ College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; ² Guangdong Agriculture Industry Business Polytechnic College, Guangzhou 510507, China; ³ Department of Horticulture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: The 3-year-old ‘Anliu’ orange (*Citrus sinensis* Osbeck) grafted on Honglimeng (*Citrus limonia* Osbeck) was used as experimental material to study the effect of girdling on photosynthetic property and reactive oxygen metabolism of *Citrus* leaves. The results showed that ringing and spiral girdling decreased the chlorophyll relative content (SPAD), net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s) and intercellular CO₂ concentration (C_i) of leaves with different degrees after 30-day treatment. Girdling treatment had a long-term impact on leaf SPAD and P_n . The activities of antioxidant enzymes (SOD, POD and CAT) in leaves were improved after ringing and girdling. The antioxidant compounds (GSH and AsA) contents in leaves were significantly decreased at 30 d after treatment, then began rising to a peak and returned to a normal state slowly at last. The malondialdehyde (MDA) content was increased in all treatments, which was significantly increased compared with the control by ringing twice and girdling. These data showed that ringing and girdling in early stage affected

收稿日期: 2018-03-26; 修回日期: 2018-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31372008); 广东省科技计划项目(2014A020209081, 2014A020208085, 2015A020209110, 2016LM3174); 广东省高等学校优秀青年教师培养计划项目(Yq2013095)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: cjzlx@scau.edu.cn)

photosynthetic metabolism of citrus leaves, and caused a series of antioxidation reaction and accumulation of reactive oxygen species in citrus leaves.

Keywords: citrus; girdling; photosynthesis; reactive oxygen

环割和环剥是调控果树生长发育的常用手段, 在控制果树营养生长、促花保果、增加产量以及提高果实品质等方面有较好的效果, 已在全世界范围内广泛应用 (Khandaker et al., 2011), 其调控原理主要是通过切断或移除主干或枝条韧皮部, 阻断同化物经韧皮部的向下运输, 从而导致同化物在环割和环剥口上方积累 (Chen et al., 2010)。利用环割和环剥技术调控树体生长, 可以有效降低生产中大量喷施植物生长调节剂对果实和环境造成的污染。许多果树研究人员对环割和环剥技术在果树生产上的应用进行了有效的探索, 主要集中在柑橘 (吴黎明 等, 2009; Yang et al., 2013)、葡萄 (张永福 等, 2013)、荔枝 (戴宏芬 等, 2010; 莫伟平 等, 2013)、龙眼 (张义刚 等, 2012) 等果树上, 且仅关注环割和环剥对树体生长、果实产量与品质的影响 (吴黎明 等, 2009; Rivas et al., 2015), 对光合性能以及活性氧代谢影响的研究较少。环割和环剥对果树的伤害会导致叶片衰老、黄化 (Dai & Dong, 2011; Tang et al., 2015), 处于不利的生长环境条件或树势较弱的植株不能进行环割处理。本试验中以 3 年生红黎檬砧 ‘暗柳橙’ 盆栽树为试材, 观察环割和环剥后叶片的生长状况, 分析柑橘环割和环剥处理后叶片的光合性能和抗氧化系统的变化规律, 了解环割和环剥引起的伤害, 为调控果树生长发育提供理论依据和安全生产技术研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

2015 年 3 月 29 日和 4 月 15 日在华南农业大学园艺学院果园对 3 年生红黎檬 (*Citrus limonia* Osbeck) 砧 ‘暗柳橙’ (*Citrus sinensis* Osbeck ‘Anliu’) 盆栽树主干分别进行环割和环剥处理。设 4 个处理, 分别为环割 1 次、环割 2 次 (15 d 后环割第 2 圈)、螺旋环剥 1 圈 (剥口宽 2.5 mm) 以及不做任何处理为对照。每个处理 10 株树, 单株重复, 共 40 株树。2015 年 4 月 29 日起每 30 d 取每株树中上部枝梢顶端 3~4 节位的成熟叶 10 片, 立即放入冰壶带回实验室, 用蒸馏水冲洗干净, 液氮速冻后保存在 -80 °C 冰箱里, 用于相关物质的测定。

1.2 测定方法

1.2.1 枝梢生长量的测定

2016 年 10 月 8 日 (秋梢老熟时) 统计盆栽秋梢的数量、长度、粗度及其平均叶片数。

1.2.2 光合指标测定

2015 年 4 月 26 日、6 月 26 日、8 月 26 日和 10 月 26 日上午 9:00—11:30 天气晴朗时用 LI-6400 型光合仪 (LI-COR Inc, Lincoln, USA) 进行光合指标测定。每个处理选 5 株, 选取枝梢中部成熟叶片测定净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i)。2015 年 4 月 26 日起, 每 30 d 用 SPAD-502Plus 仪测定 1 次叶片叶绿素相对含量 (SPAD)。

1.2.3 酶活性测定

抗氧化酶液提取: 称取叶片 0.5 g, 加预冷的 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 7.8 磷酸缓冲液 5 mL (含 1% PVP) 研磨, 冰上放置 1 h, $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下 $10\,000 \times g$ 离心 20 min, 取上清液测定酶活性。

SOD 活性测定采用氮蓝四唑法, POD 活性测定采用愈创木酚法, CAT 活性测定参照李合生 (2000) 的文献。

1.2.4 抗氧化物质和 MDA 含量的测定

抗氧化物质提取: 取研磨好的叶片加入 5 mL 5% 的三氯乙酸, 磨成匀浆, 4 °C 10 000×g 离心 15 min, 上清液定容至 5 mL, 用于 GSH 和 AsA 测定。

谷胱甘肽 (GSH) 含量的测定参照曾韶西和王以柔 (1990) 的方法稍加修改。取 0.2 mL 提取液, 加入 100 mmol·L⁻¹ 磷酸缓冲液 (pH 7.7) 2.6 mL, 混合后再加入 0.2 mL DTNB 试剂 (二硫代硝基苯甲酸, 75.3 mg DTNB 溶于 30 mL 100 mmol·L⁻¹ 磷酸缓冲液, pH 6.8), 以加磷酸缓冲液代替 DTNB 试剂作空白, 摇匀, 于 30 °C 保温 5 min, 然后测定 412 nm 波长下的光吸收值。以 GSH 作标准曲线, 计算 GSH 含量。

抗坏血酸 (AsA) 含量的测定参照 Nakano 和 Asada (1981) 的方法, 0.4 mL 提取液与 0.2 mL 150 mmol·L⁻¹ NaH₂PO₄ (pH 7.7) 混合, 依次加入 10% 三氯乙酸 0.4 mL 44% 磷酸 0.4 mL、4% 2,2 - 二联吡啶 (70% 乙醇溶解) 0.4 mL、3% FeCl₃ 0.2 mL, 混匀后于 37 °C 保温 1 h, 测定 525 nm 波长的吸光值。根据 AsA 标准曲线计算样品 AsA 含量。

MDA 含量的测定按硫代巴比妥酸 (TBA) 法 (Sudhakar et al., 2001) 略作改动。提取方法同 CAT、SOD 和 POD, 2 mL 提取液中加入 0.67% 硫代巴比妥酸 (少量 NaOH 溶解后用 5% 的三氯乙酸溶液定容) 溶液 2 mL, 将试管放入沸水浴中煮沸 10~15 min (自试管内溶液出现小气泡开始计时), 取出试管冷却, 10 000 ×g 下离心 15 min, 以 0.6% TBA 溶液为空白, 测定 532、600 和 450 nm 处的吸光度值。计算 MDA 浓度 (μmol·L⁻¹) 和单位叶片中的 MDA 含量 (μmol·g⁻¹ FW)。

1.3 数据分析与统计

所有数据均采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析, 多处理间差异采用 Duncan's 新复极差检测, 并进行差异显著性分析 ($P \leq 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 环割和环剥对柑橘新梢生长的影响

如表 1 所示, 环割和环剥对柑橘秋梢生长影响较显著, 环剥后秋梢的数量和粗度比对照分别降低了 45.7% 和 15.2%, 环割 1 次处理的秋梢长度比对照降低了 29.9%。这表明环割、环剥使树体的生长势变弱, 呈现早衰迹象。

表 1 环割和环剥对柑橘秋梢生长的影响
Table 1 The effect of girdling and ringing on the growth of *Citrus* autumn shoots

处理 Treatment	秋梢数量 Number of autumn shoot	秋梢平均叶片数 Average number of leaves in autumn shoot	秋梢长度/cm Length of autumn shoot	秋梢粗度/mm Diameter of autumn shoot
对照 Control	28.00 ± 3.81 b	8.85 ± 0.98 a	15.62 ± 1.50 b	3.29 ± 0.08 b
环割 1 次 Ringing once	21.00 ± 3.65 ab	7.55 ± 0.76 a	10.95 ± 0.98 a	3.08 ± 0.07 ab
环割 2 次 Ringing twice	21.40 ± 4.06 ab	9.25 ± 0.76 a	13.29 ± 1.79 ab	3.11 ± 0.09 ab
环剥 Sprial girdling	15.20 ± 3.12 a	8.15 ± 0.35 a	11.35 ± 1.26 ab	2.79 ± 0.15 a

注: 不同小写字母表示在 $P \leq 0.05$ 水平上显著性差异, $n = 5$ 。

Note: Different letters indicate significant differences at $P \leq 0.05$ level, $n = 5$.

2.2 环割和环剥对柑橘叶片叶绿素相对含量的影响

如图 1 所示, 不同处理柑橘叶片叶绿素相对含量 (SPAD) 在 65~80 之间, 其中环剥处理与对照相比降低幅度最大, 环割 2 次的次之, 环割 1 次的与对照间无显著差异。随着处理后时间的延长, SPAD 值波动较小。

2.3 环割和环剥对柑橘叶片光合特性的影响

如图 2 所示, 环割和环剥均显著降低柑橘叶片的净光合速率, 大小关系为对照 > 环割 1 次 > 环割 2 次 > 环剥。处理后 30 d 时环割 2 次和环剥的净光合速率比对照分别降低了 13% 和 14.1%; 处理后 90 d, 各处理叶片净光合速率均显著低于对照, 3 个处理间无显著差异; 处理后 150 d 和 210 d 环剥比对照分别降低了 23.9% 和 14.6%。处理后 30 d, 环剥叶片的蒸腾速率和气孔导度比对照显著降低了 23% 和 14.6%, 其余时期均无显著差异。环剥处理 30 d 时细胞间 CO_2 浓度最低, 210 d 时反而最高。

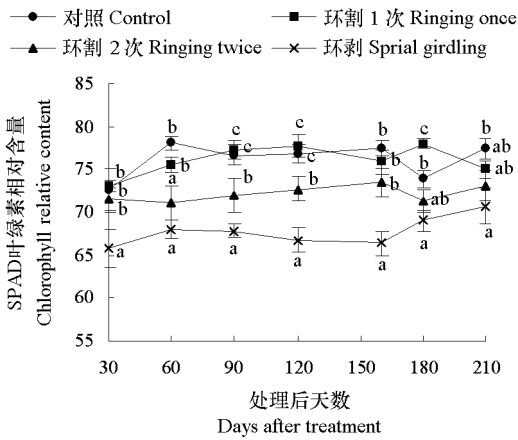


图 1 环割和环剥对柑橘叶片叶绿素相对含量的影响
Fig. 1 The effect of sprial girdling and ringing on chlorophyll relative content of *Citrus* leaves

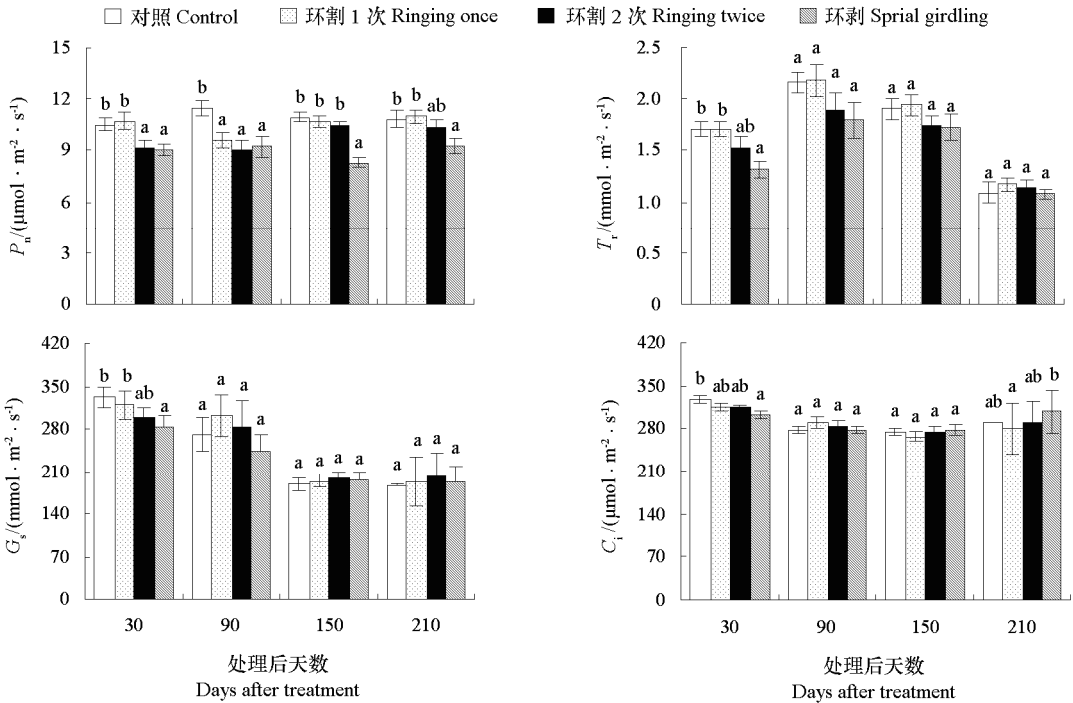


图 2 环割和环剥处理后不同时间阶段的柑橘叶片光合性能
Fig. 2 The effect of sprial girdling and ringing on photosynthesis performance of *Citrus* leaves

2.4 环割和环剥对柑橘叶片抗氧化酶活性的影响

如图 3 所示, 环割和环剥处理后 30 d 时叶片 SOD 活性均显著高于对照, 环剥处理 60 d 时达到最高, 环割 2 次和环剥处理后 60~120 d 显著高于对照。POD 活性, 环割 1 次处理仅在 60 d 高于对照, 环割 2 次在处理 30、60 和 150 d 时高于对照, 环剥对 POD 活性影响最为显著, 处理后 30~90 d 和 150 d 时高于对照。CAT 活性总体呈先上升后下降的趋势, 环割 2 次和环剥处理后 60 和 90 d 高于对照, 环割 1 次与对照无显著差异。

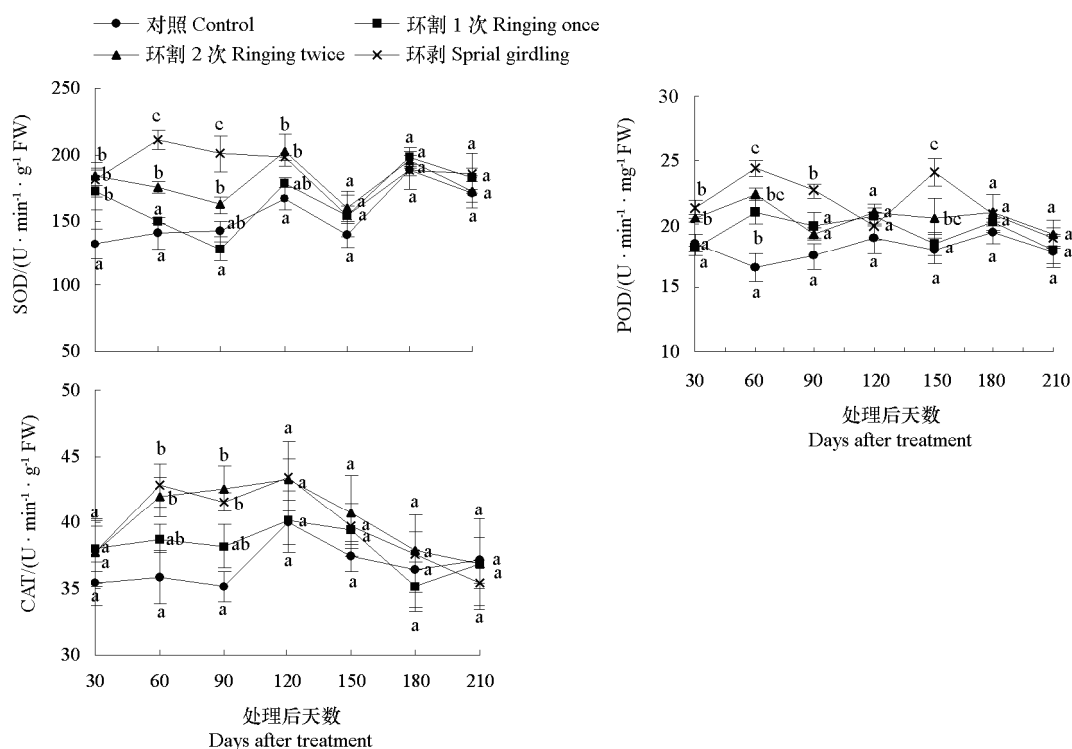


图 3 环割和环剥对柑橘叶片抗氧化酶活性的影响

Fig. 3 The effect of sprial girdling and ringing on antioxidant enzyme activities of *Citrus* leaves

2.5 环割和环剥对柑橘叶片抗氧化物质含量的影响

如图 4 所示, 柑橘叶片中的 GSH 含量总体在 $15 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 上下波动, 处理后 30 d, 环割 2 次和环剥处理低于对照, 随后持续上升, 处理后 60 d, 对照和环割 1 次处理则开始下降, 处理后 90 d, 环割 2 次和环剥处理高于对照, 处理后 120~210 d GSH 变化平稳, 且各处理间无显著差异。

环割和环剥处理的柑橘叶片 AsA 含量呈先上升后下降的趋势 (图 4)。处理后 30 d, 环割和环剥处理低于对照, 随后上升, 环剥处理后 90 d 时达到峰值 ($1245.43 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$), 比对照增加了 25.2%。处理 90~210 d 各处理叶片 AsA 含量总体持续下降, 处理后 120 d 环剥高于对照, 随后趋于稳定, 且各处理间无显著差异。

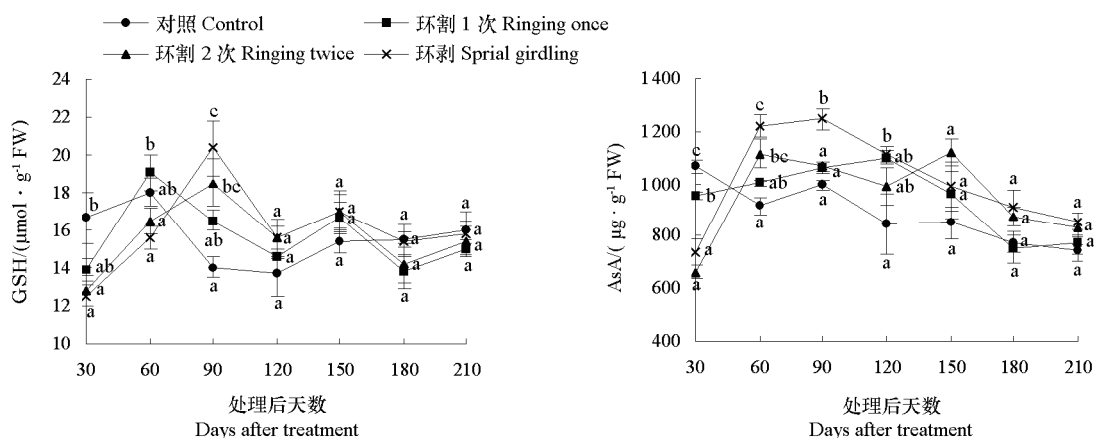


图 4 环割和环剥对柑橘叶片抗氧化物质含量的影响

Fig. 4 The effect of sprial girdling and ringing on antioxidant substance content of *Citrus* leaves

2.6 环割和环剥对柑橘叶片丙二醛的影响

如图 5 所示, 柑橘叶片中 MDA 含量呈现增长趋势, 环剥对叶片 MDA 含量影响较显著, 处理后 30~90 d 以及 150 d 均显著高于对照; 环割 1 次和环割 2 次仅在处理后 60 d 高于对照。

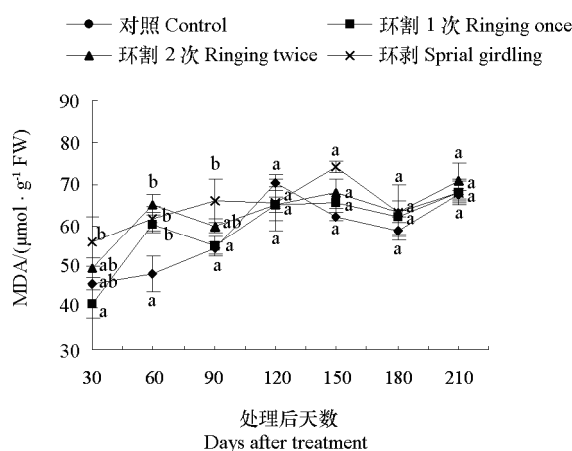


图 5 环割和环剥对柑橘叶片丙二醛 (MDA) 含量的影响

Fig. 5 The effect of sprial girdling and ringing on malondialdehyde (MDA) content of *Citrus* leaves

3 讨论

在苹果 (Cheng et al., 2008)、杧果 (Urban & Alphonsout, 2007)、甜樱桃 (Quentin et al., 2013) 等果树上的研究表明, 环割和环剥会降低植株的光合性能。本试验结果也表明, 环割和环剥均显著降低了柑橘叶片叶绿素相对含量和净光合速率, 其中以环剥的影响效应最为显著。叶绿素作为最重要的光合色素, 在捕获光能和传递过程中起关键性的作用, 其含量的迅速下降被认为是叶片发生衰老的重要标志。本研究中环剥 30 d 后叶片气孔导度和蒸腾速率均显著低于对照, 但气孔导度的下降

并不是导致叶片净光合速率降低的唯一因素,环剥后 90 d 叶片净光合速率显著低于对照,但其气孔导度与对照无显著差异,这说明除气孔限制外,还可能还存在其他因素影响了净光合速率,如叶片中碳水化合物含量(Goren et al., 2004)、光合色素含量(Talaie et al., 2010; 唐钢梁 等, 2014)以及 PS II 最大光化学量子产量(Rivas et al., 2007)等。

SOD 活性高低可视为植物抵御外界伤害的能力,是植物衰老程度的标志(魏道智 等, 2002; 李青萍 等, 2017)。POD 是与膜保护相关的同工酶,除了清除有害 H_2O_2 , 减少氧化力更强的 $\cdot OH$ 生成的作用外,还参与细胞壁成分的生物合成和木质化,因而在抗氧化胁迫中具有重要作用(Cavalcanti et al., 2004)。CAT 与 POD 协同作用清除植物体内的 H_2O_2 ,从而减轻外界逆境条件对植物的伤害(林冬 等, 2006)。本研究中发现,环割 2 次及环剥处理 30 d 和 60 d 均显著增加了柑橘叶片 SOD、POD 和 CAT 活性。可能是由于环割和环剥导致树体受到机械伤害,破坏了组织或细胞结构,致使其需调控自身的防御机制,提高叶片抗氧化酶活性,以抵御外界环境的伤害。随着环割伤口的愈合,后期抗氧化酶活性逐渐趋于正常水平。由此说明环割和环剥仅对处理前期叶片抗氧化酶活性的有较大影响。因此环割和环剥是否会对柑橘造成永久性伤害还需进一步研究,后期研究可通过加大环割和环剥力度以及延长处理年限来进行探究。在环割和环剥口未愈合前,果树的生长会受到抑制,因而在果树枝梢快速生长期进行环割和环剥处理,能有效抑制枝条的生长,尤其是徒长枝。这对于控制树势,减少徒长枝量是较为有效的措施。

AsA 的主要作用是还原 O_2^- ,清除 $\cdot OH$ 和 H_2O_2 。GSH 则可以抑制不饱和脂肪酸生物膜成分的氧化分解,防止膜脂过氧化,从而保持细胞膜系统的完整性(高天 等, 2006)。AsA - GSH 循环在清除活性氧方面具有重要作用。本研究中,环割和环剥后 30 d 柑橘叶片中 AsA 和 GSH 含量均显著低于对照,这可能是由于伤害导致产生大量活性氧,AsA 和 GSH 作为非酶抗氧化物质参与了自由基的淬灭,也有可能是因为环割和环剥抑制了 AsA 和 GSH 的生物合成。环割和环剥早期叶片抗氧化物质含量的降低说明环割和环剥早期降低了柑橘叶片的非酶促防御系统,使叶片受到一定程度的氧化伤害;后期各处理叶片 AsA 和 GSH 含量显著上升,可能是由于植物伤口的愈合,以及保护酶系统的清除作用,让 AsA 和 GSH 合成逐渐恢复,而后通过 AsA - GSH 循环代谢(Halliwell - Asada 途径)参与植物体内活性氧自由基的清除。

膜脂过氧化产物丙二醛由体内自由基引发产生,能与细胞中的成分反应,引起生物膜中结构蛋白和酶的聚合,严重伤害生物膜(黄玉山 等, 1997)。本研究中环割 2 次和环剥处理均显著提高了叶片丙二醛含量,说明机械伤害引起了氧化胁迫,导致膜脂过氧化程度的加剧,且随着伤害程度的加深,丙二醛含量越高。本研究中环割和环剥后柑橘叶片中抗氧化酶活性和抗氧化物质含量的上升,并不意味着活性氧清除能力的同步上升,因为活性氧的清除能力需要整个防御系统的协调作用。当环割和环剥引起的活性氧超过了机体防御系统的清除能力, O_2^- 、 H_2O_2 等活性氧含量持续增加,使得膜脂过氧化程度加剧,导致细胞膜系统被破坏。

References

- Cavalcanti F R, Oliveira J T A, Martins M A S, Viégas R A, Silveira J A G. 2004. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. *New Phytologist*, 163 (3): 563 - 571.
- Chen D, Yang Z, Lin Y, Zhu W, Fu S. 2010. Changes in belowground carbon in *Acacia crassiparva* and *Eucalyptus urophylla* plantations after tree girdling. *Plant and Soil*, 326 (1): 123.
- Cheng Y, Arakawa O, Kasai M, Sawada S. 2008. Analysis of reduced photosynthesis in the apple leaf under sink-limited conditions due to girdling. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 77 (2): 115 - 121.

- Dai Hong-fen, Qiu Yan-ping, Yuan Pei-yuan, Li Zhi-qiang, Wang Xiao-rong. 2010. Effects of trunk spiral girdling on photosynthesis and transpiration of young 'Guiwei' litchi during fruit development period. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (8): 1241 - 1246. (in Chinese)
- 戴宏芬, 邱燕萍, 袁沛元, 李志强, 王晓容. 2010. 螺旋环剥对幼龄 '桂味' 荔枝果期光合和蒸腾作用的影响. *园艺学报*, 37 (8): 1241 - 1246.
- Dai J, Dong H. 2011. Stem girdling influences concentrations of endogenous cytokinins and abscisic acid in relation to leaf senescence in cotton. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33 (5): 1697 - 1705.
- Gao Tian, Ma Feng-wang, Liang Dong. 2006. Effects of high temperature stress on antioxidant system in two cyclamen cultivars. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 34 (6): 82 - 84. (in Chinese)
- 高 天, 马锋旺, 梁 东. 2006. 高温胁迫对两个仙客来品种抗氧化系统的影响. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 34 (6): 82 - 84.
- Goren R, Huberman M, Goldschmidt E E. 2004. Girdling: physiological and horticultural aspects. *Horticultural Reviews*, 30: 1 - 36.
- Huang Yu-shan, Luo Guang-hua, Guan Qi-wen. 1997. Peroxidation damage of oxygen free radicals induced by cadmium to plant. *Acta Botanica Sinica*, 39 (6): 522 - 526. (in Chinese)
- 黄玉山, 罗广华, 关荣文. 1997. 镉诱导植物的自由基过氧化损伤. *植物学报*, 39 (6): 522 - 526.
- Khandaker M M, Hossain A S, Osman N, Boyce A N. 2011. Application of girdling for improved fruit retention, yield and fruit quality in *Syzygium samarangense* under field conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13 (1): 18 - 24.
- Li He-sheng. 2000. Experimental principle and technology of plant physiology and biochemistry. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Qingping, Chen Jiao, Zhu Shiping, Yang Yifei, Lu Zhiming, Zhao Xiaochun. 2017. Evaluation of citrus rootstocks for the tolerance to acidity/alkaline stresses. *Acta Horticulturae Sinica*, 44 (3): 431 - 440. (in Chinese)
- 李青萍, 陈 娇, 朱世平, 杨翼飞, 陆智明, 赵晓春. 2017. 柑橘砧木对酸碱耐性的评价. *园艺学报*, 44 (3): 431 - 440.
- Lin Dong, Zhu Cheng, Sun Zhong-xiu. 2006. Alterations of oxidative metabolism respond to cadmium stress in Cd-sensitive mutant rice seedlings. *Environmental Science*, 27 (3): 561 - 566. (in Chinese)
- 林 冬, 朱 诚, 孙宗修. 2006. 镉敏感水稻突变体在镉胁迫下活性氧代谢的变化. *环境科学*, 27 (3): 561 - 566.
- Mo Wei-ping, Zhou Lin-yao, Zhang Jing-yi, Huang Jun-bo, Bei Xue-wen, Fu Xin-yu. 2013. Effects of shading and girdling on shoot growth and photosynthesis in litchi. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (1): 117 - 124. (in Chinese)
- 莫伟平, 周琳耀, 张静逸, 黄俊波, 贝学文, 付欣雨. 2013. 遮荫和环剥对荔枝枝梢生长和光合生理的影响. *园艺学报*, 40 (1): 117 - 124.
- Nakano Y, Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant & Cell Physiology*, 22 (5): 867 - 880.
- Quentin A G, Close D C, Hennen L M, Pinkard E A. 2013. Down-regulation of photosynthesis following girdling, but contrasting effects on fruit set and retention, in two sweet cherry cultivars. *Plant Physiology & Biochemistry*, 73: 359 - 367.
- Rivas F, Erner Y, Alós E, Juan M, Almela V, Agustí M. 2015. Girdling increases carbohydrate availability and fruit-set in citrus cultivars irrespective of parthenocarpic ability. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81 (2): 289 - 295.
- Rivas F, Gravina A, Agustí M. 2007. Girdling effects on fruit set and quantum yield efficiency of PSII in two citrus cultivars. *Tree Physiology*, 27 (4): 527 - 535.
- Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161 (3): 613 - 619.
- Talaie A R, Esmailizade M, Lesani H, Javanshah A A, Hokmabadi H. 2010. Effect of shoot girdling, fruit thinning, urea, zinc sulfate and sucrose application on inflorescence bud retention in pistachio cv. 'Ohadi'. *Journal of Horticultural Science*, 28 (3): 33.
- Tang G, Li X, Lin L, Guo H, Li L. 2015. Combined effects of girdling and leaf removal on fluorescence characteristic of *Alhagi sparsifolia* leaf senescence. *Plant Biology*, 17 (5): 980 - 989.
- Tang Gang-liang, Li Xiang-yi, Lin Li-sha, Li Lei, Lu Jian-rong. 2014. Short-term effect of phloem girdling on water potential and photosynthetic

- characteristics in *Karelinia caspica*. *Journal of Desert Research*, 34 (6): 1527 - 1536. (in Chinese)
- 唐钢梁, 李向义, 林丽莎, 李磊, 鲁建荣. 2014. 表皮环割对花花柴 (*Karelinia caspica*) 水势及光合参数的短期影响. *中国沙漠*, 34 (6): 1527 - 1536.
- Urban L, Alphonsout L. 2007. Girdling decreases photosynthetic electron fluxes and induces sustained photoprotection in mango leaves. *Tree Physiology*, 27 (3): 345 - 352.
- Wei Dao-zhi, Jiang Li, Zhang Rong-xian, Ning Shu-ju. 2002. Effects of ABA and ZT on some physiological characteristics of cell membrane in wheat leaf. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 22 (6): 1360 - 1364. (in Chinese)
- 魏道智, 江力, 张荣铤, 宁书菊. 2002. ABA 和 ZT 对小麦叶细胞质膜某些生理特性的影响. *西北植物学报*, 22 (6): 1360 - 1364.
- Wu Li-ming, Jiang Ying-chun, Zhou Min-sheng, Wang Zhi-jing, Tu Jun-fan, Zhou Yu. 2009. Effect of ringing on growth, nutrition and fruit quality of Jinshuigan ponkan mandarin. *Hubei Agricultural Science*, 48 (11): 2762 - 2766. (in Chinese)
- 吴黎明, 蒋迎春, 周民生, 王志静, 涂俊凡, 周玉. 2009. 环割对金水柑树体生长、树体营养及果实品质的影响. *湖北农业科学*, 48 (11): 2762 - 2766.
- Yang X Y, Wang F F, Teixeira da Silva J A, Zhong J, Liu Y Z, Peng S A. 2013. Branch girdling at fruit green mature stage affects fruit ascorbic acid contents and expression of genes involved in *L*-galactose pathway in citrus. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 41 (1): 23 - 31.
- Zeng Shao-xi, Wang Yi-rou. 1990. Effects of chilling stress on the activity of ascorbic acid peroxidase and glutathione content in cotyledons of cucumber seedlings. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 16 (1): 39 - 42. (in Chinese)
- 曾韶西, 王以柔. 1990. 低温胁迫对黄瓜子叶抗坏血酸过氧化物酶活性和谷胱甘肽含量的影响. *植物生理学报*, 16 (1): 39 - 42.
- Zhang Yi-gang, Zhang Yan, Yang Shi-yong, Wang Hong, Liu Jian-fei. 2012. Effect of spiral girdling and girdling on twing growth and blossom in longan trees. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 25 (4): 1522 - 1524. (in Chinese)
- 张义刚, 张葵, 杨世勇, 王虹, 刘剑飞. 2012. 螺旋环剥、环割处理对龙眼幼树的控梢促花效应研究. *西南农业学报*, 25 (4): 1522 - 1524.
- Zhang Yong-fu, Ren Zhen, Han Li, Liu Jia-ni, Niu Yan-fen, Xu Sheng-guang. 2013. Effects of trunk girdling on quality and formation of grape berry. *South China Fruits*, 42 (4): 22 - 26. (in Chinese)
- 张永福, 任祺, 韩丽, 刘佳妮, 牛燕芬, 徐胜光. 2013. 主干环剥对葡萄果实品质及其形成规律的影响. *中国南方果树*, 42 (4): 22 - 26.