

模拟酸雨对 3 种果树的胁迫效应

肖艳 黄建昌

(仲恺农业技术学院园艺系, 广东广州 510225)

摘要:以青梅 (*Prunus mume* Sieb. & Zucc.)、龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 和杨桃 (*Averrhoa carambola* L.) 3 种南方果树为材料, 研究不同 pH 值的模拟酸雨对其生理胁迫的效应。在酸雨胁迫下 3 种果树的叶片叶绿素含量均随 pH 值的降低有不同程度的下降, 叶片伤害率、细胞质膜透性、脯氨酸及丙二醛 (MDA) 含量则随 pH 值的降低而上升。抗性较强的龙眼的生理生化指标的变幅最小, 其次是杨桃, 对酸雨胁迫反应较敏感的青梅变幅最大。

关键词:模拟酸雨; 青梅; 龙眼; 杨桃; 胁迫效应

中图分类号:Q945.78

文献标识码:A

文章编号:1005-3395 (2004) 04-0351-04

Stress Effects of Simulated Acid Rain on Three Fruit Species

XIAO Yan HUANG Jian-chang

(Department of Horticulture, Zhongkai Agrotechnical College, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Observations and analyses were made of changes in the physiology of leaves of *Prunus mume*, *Averrhoa carambola* and *Dimocarpus longan* subjected to simulated acid rain at pHs 2.0, 2.5, 3.0 and 4.0 levels. The results showed that chlorophyll contents in the three fruit species decreased with the decrease of pH level, while leaf damage rate, cell permeability, proline and malodialdehyde contents increased. Physiological changes in *D. longan* was the least. *P. mume* was most sensitive to acid rain stress.

Key words: Simulated acid rain; *Prunus mume*; *Dimocarpus longan*; *Averrhoa carambola*; Stress effect

酸雨是指大气中的 SO_2 、 SO_3 和氮化物与雨、雪等作用形成 H_2SO_4 和 HNO_3 等, 并落到地面的含酸成份的雨或雪等, 国际规定酸雨为 $\text{pH} < 5.6$ 的降水^[1]。酸雨已成为目前世界生态环境主要问题之一, 也是我国的重大环境问题。我国的酸雨降水面积从 80 年代的 $1.75 \times 10^6 \text{ km}^2$ 扩大到 90 年代的 $3.84 \times 10^6 \text{ km}^2$, 约占国土面积的 40%^[2]。广东省有 17 个市被国家列为“酸雨控制区”, 其中包括珠江三角洲所有的地级市^[3,4]。酸雨伤害植物的生态学效应与生物学机理已有一些相关报道^[5,6], 并在此基础上开展了酸沉降地区植被生态恢复技术的研究与实践。研究不同类别植物间产生差异的内在原因的工作也有一些报道^[7,8], 但对果树尤其是南方果树缺乏系统性的研究, 因此在一定程度上影响了华南地区对抗酸雨果树种类的筛选。本研究以华南地区广泛栽培

的龙眼、青梅及杨桃 3 种主要果树为材料, 研究模拟酸雨对这 3 种木本果树植物叶片细胞质膜透性 (Cell membrane permeability), 脯氨酸 (Proline, Pro)、丙二醛 (Malondialdehyde, MDA)、叶绿素 (Chlorophyll, Chl) 含量等生理生化指标的影响, 试图进一步了解不同抗性果树抗酸雨能力差异的内在机理, 为今后评价筛选抗酸雨胁迫果树种类及其生产区划提供相关依据。

1 材料和方法

1.1 试材及酸雨处理

实验材料均取自本校果园。于 2002 年 4 月天气晴朗时进行处理, 处理日的平均温度为 23.4°C – 24.6°C , 相对湿度为 84%–95%。选择常规水肥管理、树势与立地条件基本一致的 10–12 a 生龙眼

(*Dimocarpus longan* Lour.)、青梅 (*Prunus mume* Sieb. & Zucc.)、杨桃 (*Averrhoa carambola* L.) 作为供试材料。

根据广州天然酸雨中硫酸根与硝酸根离子含量的摩尔比 ($\text{SO}_4^{2-}:\text{NO}_3^- = 5:1$)^[9], 用 pH SH-4 型酸度计配成 pH 值为 4.0、3.0、2.5、2.0 的 4 种不同酸度的模拟酸雨, 并以 pH5.6 的蒸馏水为对照。用微型喷雾器向受试材料叶面喷洒模拟酸雨, 喷至叶片滴液为度, 对照植株喷等量蒸馏水, 24 h 后喷第 2 次, 一周后观测计算叶片伤害率。喷洒第 2 次后 24 h, 每种果树剪取 30 片成熟叶片, 测定各项生理指标。各处理与对照植株的叶片皆来自同向、同节位枝条上的成熟叶片。

1.2 生理生化指标测定

叶片相对电导率参照肖艳等^[10]方法进行, 叶绿素和丙二醛 (MDA) 含量分别按照 Arnon 法^[11]和曾韶西等^[12]方法测定, 脯氨酸含量按文献^[11]的方法测定。3 次重复, 以平均值表示。

模拟酸雨处理后的第 10 天, 观测分析叶片的伤害程度, 按下列公式计算叶面积伤害率:

叶面积伤害率 (%) = 受害叶面积 / 总处理叶片面积 × 100%

2 结果和分析

2.1 叶片可见伤害和叶绿素含量

模拟酸雨对果树的叶片产生不同程度的伤害, 受害症状表现为叶缘和叶脉间产生黄棕色和黑褐

色的不规则斑块、衰老斑, 顶端幼叶卷曲、皱缩, 难以展开。pH 值越低, 对叶片的伤害越大, 尤以 pH 值为 2.0 的模拟酸雨对叶片的伤害最为严重。试验中, 我们观察到, 处理初期, 先是新嫩叶产生局部的、散生的斑点和坏死斑点, 继而叶片退绿、黄化、慢慢枯萎, 且叶片的宽度和展开度都受到不同程度的抑制, 斑点的直径 < 1.1 mm。处理后期, 成熟叶片出现坏死斑点, 继而叶片退绿、黄化, 最后脱落。叶片伤害率统计结果 (表 1) 表明, 3 种果树叶片伤害率随酸雨 pH 值的降低而增大, 在同一酸雨 pH 值处理中, 青梅叶片伤害率最高, 在 pH 值 2.0 时为 34.6%; 龙眼最低, 仅为 12.9%, 差异显著。说明青梅对酸雨的反应最敏感, 杨桃次之, 龙眼对酸雨的抗性最强。

叶绿素含量是常用以表征植物在逆境胁迫下伤害程度的生理指标, 从表 2 可见, 酸雨胁迫下 3 种果树叶片细胞叶绿素含量均有不同程度的下降, 但下降幅度不同, 青梅下降幅度最大, 杨桃次之, 龙眼降幅最小。3 种果树下降幅度存在明显的级差, 表明龙眼抗酸雨胁迫能力强于杨桃, 青梅最弱, 与叶片伤害率统计结果相吻合。

2.3 叶片细胞质膜透性和 MDA 含量

细胞质膜透性是反映植物遭受酸雨伤害的一个敏感指标^[13]。如表 3 所示, 在模拟酸雨处理下, 3 种果树叶片的细胞质膜透性上升, 且随 pH 值的降低而显著增大。在 pH 4.0 时, 酸雨对青梅、杨桃、龙眼 3 种果树叶片的细胞质膜透性影响不大, 伤害程度较小, pH 值低于 3.0 时伤害明显加剧。pH 值为

表 1 模拟酸雨对果树叶片的伤害

Table 1 Leaf damage rate (%) of fruit species under simulated acid rain stress

种类 Species	叶片伤害率 Leaf damage rate (%)				
	pH2.0	pH2.5	pH3.0	pH4.0	pH5.6
青梅 <i>P. mume</i>	34.6±0.22Aa	30.1±0.22Aa	27.3±0.22Aa	10.4±0.22Aa	0.0
杨桃 <i>A. carambola</i>	28.2±0.22Bb	22.6±0.22Bb	20.2±0.22Bb	2.7±0.22Bb	0.0
龙眼 <i>D. longan</i>	12.9±0.22Cc	12.0±0.22Cc	10.3±0.22Cc	0.3±0.22Bc	0.0

用 L.S.D. 法测验, 不同大写字母代表 0.01 差异水平, 不同小写字母代表 0.05 差异水平。以下各表同。
Means within columns with different capital letters are significant at the P=0.01, while those with different small letters are at the P=0.05 (LSD test). The same for Tables 2, 3, 4 and 5.

表 2 模拟酸雨对 3 种木本植物叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of simulated acid rain on chlorophyll content in fruit species

种类 Species	叶绿素含量 Chlorophyll content (mg g ⁻¹ FW)				
	pH5.6 (Control)	pH4.0	pH3.0	pH2.5	pH2.0
青梅 <i>P. mume</i>	3.41±0.22Aa	3.29±0.14Ab	2.59±0.11Bb	1.85±0.10Bc	1.63±0.37Bc
杨桃 <i>A. carambola</i>	3.68±0.31Aa	3.62±0.70Aab	3.07±0.32ABb	2.60±0.26ABb	2.15±0.40Bb
龙眼 <i>D. longan</i>	4.27±0.15Aa	4.25±0.03Aa	4.01±0.17Aa	3.75±0.11Aa	3.18±0.32Aa

4.0至2.0的酸雨处理中,青梅的细胞质膜透性上升幅度最大,杨桃次之,3种果树间存在明显差异。说明青梅对酸雨反应的敏感性大于杨桃和龙眼。MDA是细胞膜系统与自由基反应生成的过氧化产物,可间接表征细胞衰老或植物受逆境损伤的程度。表4显示,3种果树叶片在酸雨胁迫下,MDA的含量均有不同程度的上升,与细胞质膜透性的变化趋势相一致,反映出3种果树细胞膜系统在酸雨胁迫下过氧化反应强度的差异,也表明龙眼抗酸雨胁迫能力强于杨桃,杨桃又优于青梅。

2.4 叶片脯氨酸含量

脯氨酸含量也是反映植物逆境损伤和抗逆能力的良好生化指标^[8]。从表5可以看出,在酸雨胁迫下,与对照相比,3种果树叶片内的脯氨酸含量均发生明显改变,其中,青梅叶片中脯氨酸含量的增加幅度最大,杨桃次之,龙眼最小。但对同一种植物而言,龙眼在不同强度酸雨(pH4.0-2.0)胁迫下的叶片脯氨酸含量变化却相对较为平缓,其变幅在3.72%-37.75%之间;杨桃在15.85%-92.68%之间,变幅相对较大;青梅在29.13%-125.10%之间,变幅最大。表明龙眼抗酸雨胁迫能力最强,青梅最弱。

3 讨论

酸雨对植物伤害及其机理的研究,已有较多报道^[5-9],本试验表明,酸雨胁迫下3种果树叶片细胞质膜透性增大。这是由于细胞膜对逆境胁迫反应比较敏感,是逆境首击的目标之一^[9,13-14]。细胞质膜是控制细胞内外物质交换的屏障,其透性状况关系到细胞内离子平衡(营养离子平衡、电化学平衡等)、胞液pH值稳定、能量代谢及酶化学反应等能否正常进行。酸雨对植物损伤的生理机制之一在于自由基增加,保护酶系统活力下降,质膜过氧化加剧,膜选择透性丧失^[9,15-17]。在本实验条件下,龙眼的叶片细胞质膜透性增幅最小,杨桃次之,青梅最大,这或许是龙眼抗酸雨胁迫能力优于杨桃和青梅的重要内在生理原因。与此相对应的是在酸雨胁迫下,3种植物叶片MDA含量变化也呈现出龙眼<杨桃<青梅的规律。这2项生理指标较好地表征了3种果树间的抗性差异。3种果树叶片细胞质膜透性和MDA含量变化均随pH值的降低而显著增大,两者存在显著的正相关,既反映出细胞质膜透性与酸雨pH值的密切关系,又反映出不同果树种类对酸雨敏感性的差异性,同时也与表观症状的变化一致,因此

表3 模拟酸雨对3种果树叶片细胞质膜透性的影响

Table 3 Effect of simulated acid rain on cell membrane permeability in fruit species

种类 Species	细胞质膜透性 Cell membrane permeability (%)				
	pH5.6 (Control)	pH4.0	pH3.0	pH2.5	pH2.0
青梅 <i>P. mume</i>	8.76±1.50Aa	12.30±0.40Aa	21.41±1.98Aa	29.29±2.13Aa	39.40±10.14Aa
杨桃 <i>A. carambola</i>	7.10±0.02Aa	9.45±0.07Aa	16.51±0.07Bb	21.55±2.31Bb	30.16±13.55Ab
龙眼 <i>D. longan</i>	8.88±0.25Aa	9.13±0.02Bb	14.80±0.06Bc	18.32±1.96Cc	27.48±5.70Bc

表4 模拟酸雨对3种果树叶片MDA含量的影响

Table 4 Effect of simulated acid rain on MDA content in fruit species

种类 Species	MDA含量 MDA content (nmol g ⁻¹ FW)				
	pH5.6 (Control)	pH4.0	pH3.0	pH2.5	pH2.0
青梅 <i>P. mume</i>	0.155±0.11Aa	0.204±0.04Aa	0.245±0.18Aa	0.289±0.14Aa	0.396±0.19Aa
杨桃 <i>A. carambola</i>	0.114±0.08Aa	0.129±0.01Bb	0.184±0.15Bb	0.207±0.08Bb	0.250±0.03Bb
龙眼 <i>D. longan</i>	0.120±0.01Aa	0.128±0.06Bb	0.151±0.05Bc	0.160±0.10Bc	0.216±0.05Cc

表5 模拟酸雨对3种果树叶片脯氨酸含量的影响

Table 5 Effect of simulated acid rain on proline content in fruit species

种类 Species	脯氨酸含量 Proline content (μg g ⁻¹ DW)				
	pH5.6 (Control)	pH4.0	pH3.0	pH2.5	pH2.0
青梅 <i>P. mume</i>	7.21±0.10Aa	9.31±0.39 Aa	14.59±0.92Aa	15.68±0.40Aa	16.23±1.11Aa
杨桃 <i>A. carambola</i>	7.51±0.88Aa	8.70±0.42 Aa	11.44±1.08Ab	12.85±0.84Ab	14.47±1.02Aab
龙眼 <i>D. longan</i>	9.14±0.05Aa	9.48±0.41Aa	11.0±0.83Ab	11.93±0.10Ab	12.59±0.16Ab

细胞质膜透性和 MDA 含量可作为不同果树种类对酸雨敏感性的评价指标。

本实验结果表明,在酸雨胁迫下,3 种木本果树的叶绿素含量均随 pH 值的降低而明显降低,与前人研究结果^[5,9,18]相似。但龙眼叶片叶绿素含量的降幅小于青梅与杨桃,表明龙眼叶片叶绿素对酸雨胁迫具有较高的稳定性。正常情况下,由于植物体内叶绿素含量丰富,很难成为光合作用的限制因子。然而当酸雨伤害发生时,因其含量下降,体内叶绿素水平可能就会转化为光合作用的内在限制因子,导致光合作用下降,这一方面造成植物生长缓慢,另一方面也使植物受损细胞在短时间内失去了修复过程中的部分物质基础,这可能是抗性植物与敏感植物抗性差异的原因之一^[5,8,18]。逆境胁迫下,植物体内脯氨酸含量变化的生态生理学意义尚有争议,有人认为是积极的适应性反应,此时脯氨酸应当是保护性物质;也有人认为是被动的损伤,此时脯氨酸被视为蛋白质的降解产物^[8,19],周青等^[19]认为脯氨酸含量变化能反映对酸雨伤害应激反应的灵敏程度。我们认为脯氨酸含量变化的意义应结合植物生长和伤害状况具体分析。就本实验结果而言,酸雨胁迫下,3 种果树叶片的脯氨酸含量随 pH 值的降低而上升,且增幅顺序是青梅 > 杨桃 > 龙眼,与这 3 种果树的酸雨伤害表现(叶片伤害率)及其他生化指标的变化表现相吻合。因此,脯氨酸含量变化可认为是 3 种果树对酸雨伤害应激反应的灵敏程度的反映。我们赞同周青等的观点,脯氨酸含量的上升,可视为是植物的自我保护性应激反应,是其抗酸雨的内在原因之一。

参考文献

- [1] McLaughlin S B. Effects of air pollution on forests [J]. *J Air Pollut Contr*, 1985, 35:512-534.
- [2] Lü Z C(吕忠才), Gao H(高晖), Huang J G(黄继国). Acid rain pollution and its control in China [J]. *China Envir Manag* (中国环境管理), 2001, (4): 7-10. (in Chinese)
- [3] Xie M(谢媚). The basic feature research of acid rain pollution in Guangzhou area between 1996 and 2000 [J]. *Res Envir Sci* (环境科学研究), 2002, 15(1): 31-33. (in Chinese)
- [4] Guan G C(关共湊). The present situation of acid precipitation in Foshan City and its prevention [J]. *J Foshan Univ (Natl Sci)* (佛山科学技术学院学报自然科学版), 2001, 19(1): 23-27. (in Chinese)
- [5] Cao H F(曹洪法), Gao Y X(高映新), Shu J M(舒俭民), et al. Study on simulated acid precipitation effects on growth and yield of agricultural crops [J]. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学报), 1989, 13(1): 58-65. (in Chinese)
- [6] Chen S Y(陈树元), Xu H B(徐和宝), Xie M Y(谢明云), et al. Effects of the acid rain and sulfuric dioxide exposure on several woody young trees with different resistance [J]. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 1998, 17(2): 20-25. (in Chinese)
- [7] Feng Z W(冯宗炜), Cao H F(曹洪法), Zhou X P(周修萍), et al. The Effect of Acid Rain on Ecology and Ecological Resume [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1999. 1, 9-5, 124-129. (in Chinese)
- [8] Liu L G(刘连贵), Cao H F(曹洪法), Xiong Y J(熊严军). A study on effects of simulated acid rain and sulphur dioxide on crops [J]. *Envir Sci* (环境科学), 1996, 17(2): 16-19. (in Chinese)
- [9] Yang M X(杨妙贤), Zheng H M(郑慧明), Zhang W F(张伟峰), et al. Effects of artificial acid rain on growth and physiological indexes of flowering Chinese cabbage [J]. *J Zhongkai Agrotechn Coll* (仲恺农业技术学院学报), 2001, 14(3): 38-42. (in Chinese)
- [10] Xiao Y(肖艳), Huang J C(黄建昌). Protective effect of free radical scavenger in strawberry plants under drought stress [J]. *J Zhongkai Agrotechn Coll* (仲恺农业技术学院学报), 1995, 2: 63-67. (in Chinese)
- [11] Zhou Q(邹琦). *Plant Physiological Experiment* [M]. Beijing: Agricultural Press of China, 1988. 36, 94-96. (in Chinese)
- [12] Zeng S X(曾韶西), Wang Y R(王以柔). Low temperature injury and peroxidation of membrane lipids in rice seedlings [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1987, 29(5): 506-512. (in Chinese)
- [13] Lü J L(吕均良), Li S Y(李金玉), Huang S B(黄寿波). Effect of simulated acid rain on leaves and fruits of peach and pear [J]. *J Zhejiang Agri Univ* (浙江农业大学学报), 1998, 24(6): 603-607. (in Chinese)
- [14] Levitt J. *Response of Plants to Environmental Stress II: Water, Radiation, Salt and Other Stresses* [M]. New York: Academic Press, 1980. 40-46.
- [15] Liu Y Y(刘燕云), Cao H F(曹洪法). Leaf injury and superoxide dismutase activity in spinach leaves exposed to SO₂ and /or simulated acid rain [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1993, 4(2): 23-225. (in Chinese)
- [16] Zhou Q(周青), Huang X H(黄晓华), Wang D Y(王冬燕), et al. Effect of calcium on cell membrane permeability in acid rain stressed *Cucumis melo* seedling [J]. *Envir Sci* (环境科学), 1997, 18(3): 60-61. (in Chinese)
- [17] Liu D Y(刘大永), Zhu L Q(朱利泉), Liang Y(梁颖). Effect of acid rain and deposited coal dust on the activities of three antioxidant enzymes in lettuce and Chinese cabbage [J]. *Chin J Appl Envir Biol* (应用与环境生物学报), 1997, 3(1): 26-30. (in Chinese)
- [18] Wang J H(王建华), Xu T(徐同). Effect of the simulated acid rain on the protecting enzymes and lipid peroxidation of membrane in cotton cotyledon disc [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 1993, 13(3): 228-234. (in Chinese)
- [19] Zhou Q(周青), Huang X L(黄晓华), Liu X L(刘小林). Stress effects of simulant acid on three woody plants [J]. *Envir Sci* (环境科学), 2002, 23(5): 42-46. (in Chinese)