

# 糯米糍荔枝裂果的生理机理与防裂效果研究

彭 坚<sup>1</sup>, 席嘉宾<sup>2</sup>

(1. 深圳职业技术学院生物系, 广东深圳 518055; 2. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275)

**摘要:** 以果实易裂品种糯米糍荔枝为材料, 对果皮内与裂果有关的一些生理指标以及两种处理硝酸钙( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ )和赤霉素(GA)的防裂效果进行了探索性研究。结果表明: 在果实发育初期, 果皮内的水溶性果胶和原果胶的含量均升高, 且原果胶含量的增长幅度大于水溶性果胶。除果实成熟期外, 果胶脂酶(PE)和多聚半乳糖醛酸酶(PG)的活性一直呈上升趋势, 且水溶性果胶的含量与 PG 的活性有显著正相关关系。纤维素酶(CX)在整个果实发育期都表现出较高的活性且有两次明显的活性高峰。同时还发现除果实成熟期外,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理能增强 PE 和 PG 活性, 但对 CX 则有抑制作用。此外,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理和 GA 处理均能明显地改善糯米糍荔枝果皮质地的组成, 使果实的裂果率明显降低, 且 GA 处理的效果要明显好于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理。

**关键词:** 糯米糍荔枝; 酶活性; 果胶含量; 裂果防治

**中图分类号:** Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)01-0065-04

## Studies on the physiological mechanism and the preventing measures of cracking fruit of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomici

PENG Jian<sup>1</sup>, XI Jia-bin<sup>2</sup>

(1. Department of Applied Bio-Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China;

2. School of Life, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Some indexes related to the cracking fruit and the preventative effect of the cracking fruit with 1 000 mg/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and 100 mg/L GA on 'nuomici' Litchi trees were studied. The results showed that in the early stage, the content of water-soluble pectin and protopectin both increased, but the content of protopectin increased more than that of water-soluble pectin. PE and PG activities tended to increase with fruit's developing except ripening, when the fruit became ripening, they turned to decrease sharply. There is significant correlation between PG activity and the content of water-soluble pectin ( $Y = 0.000\ 763\ 2x + 0.452$ ,  $r = 0.9994^{**}$ ), and the CX increased during the whole development and has two peaks. Meanwhile, the treatment with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  can enhance the activities of PE and PG, but reduce the activity of CX. The treatment with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and the treatment with GA can reduce the proportion of cracking fruit distinctly, and the effect of treatment with  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  was better than the treatment with GA.

**Key words:** Nuomici Litchi; enzyme activity; pectin content; prevention of cracking fruit

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn)是我国南方地区重要的经济水果,近年来栽培面积日益扩大,但果实

成熟过程中的裂果现象却相当严重,极大程度的减少荔枝的生产效益,而作为最优秀荔枝品种之一的

收稿日期: 2002-02-22; 修订日期: 2002-06-27

基金项目: 广东省现代化农业示范区建设基金(13980109); 中国高新技术交易会项目(01103003)资助。

作者简介: 彭 坚(1959-),男,广东茂名,副教授,从事园艺学领域的教学和科研工作。

糯米糍荔枝(*Litchi chinensis* Sonn. cv. *Nuomici*), 其裂果现象显得更为严重。正常年份的裂果率达 10%~20%, 个别年份甚至达到 50%~60%。前人对此曾从气象因素、水分因素及矿质营养等方面作了大量的研究工作, 而对果皮本身内在生理机理方面的研究工作进行得相对较少。本文将对果实不同发育时期果皮内的一些生理指标及防裂措施提供一定的理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

本试验于 1999 年 3~6 月在深圳市南山区西丽果场进行。选树势基本一致, 无病虫害正常管理的成年糯米糍荔枝进行试验。在果实发育的各个阶段, 每棵树按东、西、南、北 4 个方向采摘大小色泽相似、无机械损伤及病虫害的果实 100 个, 随机混合后立即以冰袋送往实验室, 液氮速冻后置于 -20 °C 贮存备用。

### 1.2 试验设计与管理

试验设 3 种处理, 处理一( $T_1$ )用浓度为 1 000 mg/L 的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  进行处理; 处理二( $T_2$ )用浓度为 100 mg/L 赤霉素进行处理; 处理三( $CK$ )为清水对照。试验以单株为小区, 六次重复, 各处理随机排列。

### 1.3 酶液的制备及蛋白含量测定

取 10 g 鲜重果皮于预冷的研钵中, 按 1:3 (鲜重: 体积) 加入含 100 mmol/L 的磷酸缓冲液 ( $\text{pH}=6.2$ ), EDTA 10 mmol/L, 5% 可溶性聚己烯吡咯烷酮 (PVP), Vc 100 mmol/L 的匀浆介质中研磨匀浆。匀浆液以四层纱布过滤后在 12 000 r/min 转速下离心 20 min, 取其上清液用于 PE、PG、CX 的活性测定。以上操作均在 0~4 °C 条件下进行。蛋白质含量测定按文献[1], 以牛血清白蛋白作标准曲线。

### 1.4 果胶含量的提取与测定

随机剥取足够数量的果皮, 充分混合均匀后, 从中称取 5 g 果皮, 加 20 mL 80% 乙醇研磨 10 min, 用布氏漏斗过滤, 滤渣用 96% 乙醇及丙酮冲洗 2 次后, 室温下吹干滤渣得到非醇溶性固形物 (AIS)。分两步提取水溶性果胶及原果胶。水溶性果胶的测定方法为: 取 0.2 g AIS, 加 15 mL 蒸馏水激烈混合 10 min 后在 10 000 r/min 转速下离心 10 min, 取上

清液测定溶液中半乳糖醛酸的含量, 具体方法见参考文献[3], 以半乳糖醛酸占果皮鲜重的百分比表示。以 D-半乳糖醛酸 (Sigma 产品) 为标准品。原果胶测定除了用 0.05 mol/L 的 NaOH 溶液提取 AIS 中的原果胶外, 其余步骤和水溶性果胶的测定方法相同。

### 1.5 酶比活力的测定

PE 活力测定: 取 5 mL 0.5% 果胶溶液 (含 0.6% NaCl), 加粗酶液 2 mL, 用 0.02 mol/L 的 NaOH 溶液将 pH 调到 7.0, 以 0.01 mol/L NaOH 滴定, 使反应混和物在搅拌下维持 pH 7.0, 温度保持在  $(35 \pm 2)$  °C, 每 20 min 记录 1 次 NaOH 的滴定值, 取两次平均值, PE 活力单位为  $1 \mu =$  每分钟释放出  $1 \mu\text{mol H}^+$ , 酶比活性用  $\mu/\text{mg Pr}$  表示。

PG 活力测定: 取粗酶液 1 mL, 加入 0.1 mol/L 醋酸缓冲液 ( $\text{pH}=4.5$ ) 4.0 mL, 0.1% 果胶酸 (Sigma 产品) 溶液 1.0 mL, 40 °C 保温 60 min 后, 沸水浴中 10 min 以终止反应。以 DNS 测定还原基数量[4], 酶比活力以每小时每毫克蛋白转化产生  $\mu\text{mol}$  半乳糖醛酸表示, 以 D-半乳糖醛酸 (Sigma 产品) 为标准品作标准曲线。

CX 活力测定按文献[5]法, 以 0.5% 羧甲基纤维素钠 (CMC, 浙江省温州市东升化工试剂厂产品) 为底物, 取粗酶液 1 mL, 加入 0.1 mol/L 醋酸缓冲液 ( $\text{pH} 4.5$ ) 4 mL, 1 mL CMC, 40 °C 下保温 1 h 后, 于沸水浴中放置 10 min 以终止反应。以 DNS 法测定还原基的数量, 酶比活力以每小时毫克组织蛋白转化产生  $\mu\text{mol}$  葡萄糖表示, 以 D-葡萄糖 (上海化学试剂厂产品) 为标准曲线。

### 1.6 裂果率的测定

当果实成熟收获时, 分不同处理, 对各个处理果树按东、西、南、北 4 个方向进行随机调查, 以确定果实的裂果大小。本试验果树的收获期为 1999 年 6 月 15 日。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理下果实发育过程中果皮内果胶含量的变化

果胶是果皮的重要组成部分, 而原果胶的含量是果皮抗张力的重要因素。随着果实的成熟, 果皮应变力也逐渐降低, 裂果便大量发生, 果皮应变力与果皮细胞之间连接的紧密程度有关, 而相连细胞的胞间

层的果胶质物质在果实未成熟期间主要为不溶于水的原果胶,随着果实成熟,原果胶分解,水溶性果胶增加,细胞分离,因而果皮破应力降低。从试验结果来看(表 1),果实发育早期即谢花后 52 d 前,果皮内的可溶性果胶和原果胶含量都呈上升趋势,且两个

处理的果胶含量都比对照高。而从谢花后 52 d 开始,果实中可溶性果胶的含量要小于对照,而原果胶的含量却大于对照。说明经处理后,一方面使得果实内可溶性果胶的含量有所降低,另一方面又使果实内原果胶的含量得到大幅度的提高。从而使果实

表 1 不同处理下果实发育过程中果皮内水溶性果胶与原果胶含量的变化  
Table 1 The changes of water soluble pectin and protopectin during the fruit development

| 花后天数<br>The day<br>after flower | 果胶含量(%占鲜重) Content of pectin(% Fresh weight) |                |                |                 |        |                |          |                |                |
|---------------------------------|----------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------|----------------|----------|----------------|----------------|
|                                 | 水溶性果胶 Water-soluble                          |                |                | 原果胶 Protopectin |        |                | 总量 Total |                |                |
|                                 | CK                                           | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | CK              | T      | T <sub>2</sub> | CK       | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> |
| 35                              | 0.365a                                       | 0.375a         | 0.387a         | 1.221a          | 1.284b | 1.291c         | 1.586    | 1.659          | 1.678          |
| 52                              | 0.433a                                       | 0.336b         | 0.310c         | 1.226a          | 1.358a | 1.301a         | 1.659    | 1.694          | 1.611          |
| 59                              | 0.416a                                       | 0.408a         | 0.483b         | 1.089a          | 1.112a | 1.086a         | 1.505    | 1.520          | 1.522          |
| 68                              | 0.516a                                       | 0.449a         | 0.516a         | 1.002c          | 1.100b | 1.177a         | 1.518    | 1.549          | 1.524          |
| 78                              | 0.500a                                       | 0.339b         | 0.300b         | 0.735b          | 0.994a | 1.025a         | 1.235    | 1.333          | 1.325          |

注:表中数据用 ONE-ANONCE 软件处理,不相同字母表示差异显著( $P \leq 0.05$ )。

Note: The data deal with ONE-ANONCE software, and different capital letter express otherness ( $P \leq 0.05$ ).

的果皮破应力增加,果实的裂果率得到降低。

## 2.2 PE、PG、CX 活性的变化

图 1 表明,随着果实的发育,PE 的活性一直呈上升趋势,且增长的速度非常大,并在花后 68 d(果实转色期)有明显的活性高峰。而当果实逐渐进入成熟期时,其活性又明显的下降。此外, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  及 GA 处理除果实成熟期外都能够使其活性有所升高,而且,GA 处理对 PE 活性的影响程度要大于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理。

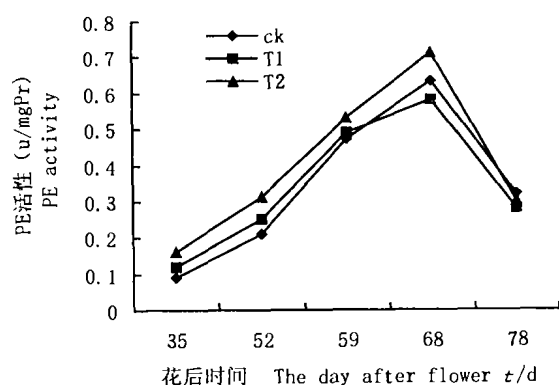


图 1 果实发育期间果皮内 PE 活性的变化趋势  
Fig. 1 The change of PE activity in pericarp during fruit growth

PG 活性的变化趋势基本同 PE 一致(图 2)。果胶物质是构成细胞壁的重要组成成分,当非水溶性

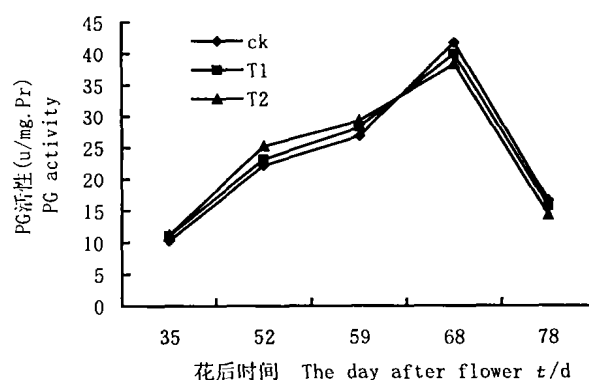


图 2 果实发育期间果皮内 PG 活性的变化趋势  
Fig. 2 The change of PG activity in pericarp during fruit growth

果胶在 PG 等的作用下转化为水溶性果胶时,细胞壁稳定结构破坏。PG 在果实发育期间维持较高的活性,一方面可能是果实正常代谢的需要,一方面也导致了细胞壁结构的脆弱性。

从图 3 可知,CX 活性在整个果实发育过程中有两次明显的活性高峰,一次出现在谢花后 59 d 左右,这与糯米糍特有的第三次落果高峰期基本相吻合。一次出现在 78 d 左右。试验证明, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理和 GA 处理能够降低 CX 的活性。且 GA 的降低效果要比  $(\text{NO}_3)_2$  更加明显。

## 2.3 不同处理下果实成熟时裂果率的大小

不同处理下果实成熟时裂果率的大小情况如表

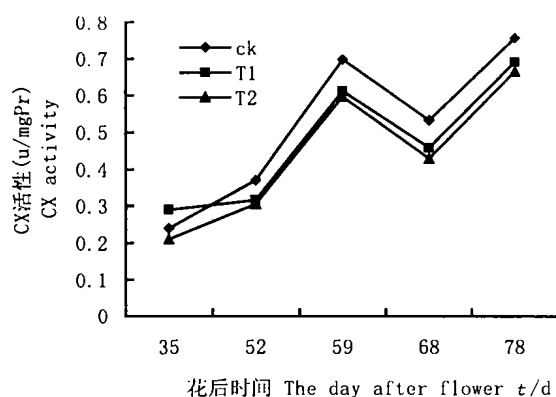


图 3 果实发育期间果内 CX 活性的变化趋势

Fig. 3 The change of CX activity in pericarp during fruit growth

2 所示。表 2 表明,不同处理下糯米糍荔枝果实的裂果率跟对照相比有着极显著的差异( $p \leq 0.01$ )。原因可能是由于一方面 GA 在果实发育前期促进了细胞的快速分裂,因早期果皮发育质量的好坏与以后果皮质地有很大的关系;另一方面可能由于 GA 处理抑制了水解酶的作用,延缓了整个果实的衰老。因裂果现象的发生与水解酶的作用有着直接的关系,在水解酶的作用下,原果胶分解,水溶性果胶增加,细胞分离,果皮破应力降低,从而裂果率增加。而钙能和果胶物质形成交叉链桥,维持细胞膜结构的稳定性,从而抑制水解酶的释放<sup>[6]</sup>,起到防止果皮开裂的作用。因而喷施  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  在早期能明显增加果皮的含钙量,从而起到防止果皮开裂的作用,使果实的裂果率明显降低。此外,从两个处理效果来看,GA 处理果树的裂果率明显低于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理,并且差异也极显著( $p \leq 0.01$ )。

表 2 不同处理下糯米糍荔枝果实成熟时的裂果率大小  
Table 2 The percentage of cracking fruit under different treatments during ripening period

| 处理<br>Treatment | 调查果数<br>No. of investigated fruit | 裂果数<br>No. of cracking fruit | 裂果率(%)<br>Percentage rate of cracked fruit |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| CK              | 805                               | 115                          | 14.4A                                      |
| T <sub>2</sub>  | 875                               | 91                           | 10.4B                                      |
| T <sub>1</sub>  | 920                               | 85                           | 9.2C                                       |

注:表中数据后不同大写字母表示显著差异性 ( $P \leq 0.01$ )

Note: The different capital letter after each data in table express notable otherness ( $P \leq 0.01$ )

### 3 结 论

荔枝果皮明显具有叶性结构,与果肉结合性差<sup>[7,8]</sup>。同时,果肉、果皮发育具有明显的不等时性,这就决定了其果皮发育的特殊性。本试验结果表明:

(1)在果实发育初期,果皮内的可溶性果胶和原果胶含量都呈上升趋势,且两个处理的果胶含量都比对照高。经处理后,一方面使得果实内可溶性果胶的含量有所降低,另一方面又使果实内原果胶的含量得到大幅度的提高,从而使果实的果皮应力增加,果实的裂果率得到降低。

(2)PE、PG 活性除果实成熟期外,一直呈上升趋势,并在花后 68 d(果实转色期)都有一个明显的活性高峰。且 PG 的活性与水溶性果胶的含量呈极显著的正相关关系( $Y = 0.0007632x + 0.452, r = 0.9994^{**}$ )。而 CX 在整个果实发育期都表现出较高的活性且有两次明显的活性高峰,这与糯米糍特有的落果高峰期基本相吻合,但如用  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  及 GA 进行处理,则能够降低其活性。从两个处理所产生的效果来看,GA 处理对 PE 和 PG 活性的影响程度要大于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理,而对 CX 活性的影响程度却小于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理。

(3)从两个处理防治糯米糍荔枝果实的裂果率的效果来看,用 GA 处理果实的裂果率要明显低于  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理,且差异极显著( $p \leq 0.01$ )。因而在具体的生产实践中,建议用  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  喷施果树,以达到理想的防裂效果。此外,在应用农药进行防裂时,一定要合理把握适宜的喷施时间和喷施浓度,这样才能达到最佳的防裂效果。

### 参考文献:

- [1] Abeles F B. Abscission: Role of cellulase[J]. *Plant Physiol*, 1969, **44**: 447-452.
- [2] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding[J]. *Anal Biochim*, 1976, **72**: 248-254.
- [3] Gee M, McComb E A, McCready R M. A method for the characterization pectic substances in some fruit and sugar-beet marc[J]. *Food Research*, 1958, **23**: 72-75.

(下转第 72 页 Continue on page 72)

- [4] 徐勤松, 施国新, 郝怀庆. Cd、Cr(VI)单一及复合污染对菹草叶绿素含量和抗氧化酶系统的影响[J]. 广西植物, 2001, 21(1): 87—90.
- [5] 秦天才. Cd、Pb 及其相互作用对小白菜生理生化特性的研究[J]. 生态学报, 1994, 14(1): 46—50.
- [6] 方炎明, 魏 勇, 张晓平, 等. 苔藓植物监测大气重金属污染研究进展[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(5): 64—68.
- [7] 高 谦, 曹 同. 苔藓植物对西南部分地区大气(污染包括酸雨)的指示意义的初步研究[J]. 应用生态学报, 1992, 3(1): 81—90.
- [8] 闵运江. 六安市区常见树木附生苔藓植物及其对大气污染的指示作用研究[J]. 城市环境与城市生态, 1997, 10(4): 31—33.
- [9] 曹 同, 路 勇, 吴玉环, 等. 苔藓植物对鞍山市环境污染生物指示的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 635—639.
- [10] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986, (3): 26—28.
- [11] 中华人民共和国国家标准. 森林植物与森林枯枝落叶层大量微量元素的测定[S]. GB/7152, 64—94.
- [12] Stobart A K, Griffiths W T, Ameen-Bukhari I, *et al.* The effect of Cd on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley[J]. *Plant Physiol*, 1985, 63: 293—298.

~~~~~  
(上接第 68 页 Continue from page 68)

- [4] Nagel C W, Patterson M E. Pectic enzymes and development of the pears(*Pyrus communis*)[J]. *Journal of Food Science*, 1967, 32: 292—297.
- [5] Luchsinger W W, Cornesky R A. Reducing power by the dinitrosalicylic acid method[J]. *Anal Biochem*, 1962, 4: 346—347.
- [6] 莫开菊. 钙与采后生理[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 44—47.
- [7] 彭永宏, 林国辉. 荔枝超微结构的比较观察[J]. 果树科学, 1999, 16(1): 8—23.
- [8] 潘润操, 谢宝贵. 荔枝果皮的扫描电镜观察[J]. 园艺学报, 1996, 23(3): 2 227—2 301.
- [9] 刘鸿洲, 尤瑞琛, 黄维南. 荔枝果实采后钙处理对三种酶活性的影响[J]. 亚热带植物科学, 1996, 25(2): 1—5.