

不同处理对水蜜桃果实 PG 酶动力学影响的研究

罗爱民¹, 张进忠², 李坤³, 简力波⁴ (1. 四川大学轻纺与食品学院, 四川成都 610065; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 3. 四川大学电子信息学院, 四川成都 610064; 4. 贵州遵义茅台啤酒厂, 贵州遵义 563100)

摘要 [目的] 探讨不同处理对 PG 酶的影响, 为预测水蜜桃贮藏时间奠定基础。[方法] 采用硫代硫酸钠滴定法测定 PG 酶活性, 采用 LIPS 软件进行相关分析和无重复双因子方差分析。[结果] 在整个贮藏过程中, PG 酶活性呈上升趋势, PG 酶活性随时间变化的方程为: $V_{PG} = (k)^{1/1+b} \cdot t^{-b/1+b}$; $t=0$ 时刻为采果前 528 h。冷藏条件下 PG 酶活性变化方程为: $V_{PG} = 0.026 \times (528 + T)^{1.0974}$; 不同的处理影响了反应常数 k 和反应级数 b , 各处理的 k 、 b 值发生了改变。[结论] 通过不同处理证明了水蜜桃果实软化受 PG 酶影响, 建立了水蜜桃果实的 PG 酶动力学模型。

关键词 水蜜桃; PG 酶; 酶动力学模型

中图分类号 S607+.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)08-03747-02

Research on the Effects of Different Treatments on the Enzymatic Dynamics of PG Enzyme in Juicy Peach Fruit

LUO Ai-min et al (School of Light Industry and Food, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065)

Abstract [Objective] The purpose of the research was to discuss the effects of different treatments on PG enzyme and lay a foundation for predicting the storage period of juicy peach. [Method] The activity of PG enzyme was measured by sodium thiosulfate titration and LIPS software was used in correlation analysis and not-repeat two-factors variance analysis. [Result] During the whole storage course, the activity of PG enzyme showed increasing trend. The equation of its activity varying with time was $V_{PG} = (k)^{1/1+b} \cdot t^{-b/1+b}$ and the time when the value of "t" was zero was the 528th hour before harvesting fruit. Under cold storage condition, the variation equation of the activity of PG enzyme was $V_{PG} = 0.026 \times (528 + T)^{1.0974}$, different treatments affected reaction constant "k" and reaction order "b" and their values in various treatments changed. [Conclusion] The fact that PG enzyme affected the softening of juicy peach fruit was testified through different treatments and the enzymatic dynamics model of PG enzyme of juicy peach fruit was set up.

Key words Juicy peach; PG enzyme; Enzymatic dynamics model

桃原产于我国, 其食用多汁、味甜、风味口感较好, 主要用于鲜食。近几年来, 随着经济的迅速发展, 人民生活提高, 水蜜桃的发展很快, 成为一些地区的主要经济作物。但是由于水蜜桃皮软多汁, 易受病害和机械伤, 加之采收季节气温高, 极易软化, 耐贮藏性很差, 易造成大量的损失。因此, 研究水蜜桃的软化机理, 对于果实运输销售, 提高经济效益, 具有重要的现实意义。

目前, 水蜜桃采后生理研究较欠缺, 主要在呼吸作用和乙烯变化等方面^[1], 由于品种繁多, 报道很不一致。水蜜桃采后极不耐贮藏, 主要由于其采后迅速软化, 水蜜桃易软化的原因尚未清楚, 目前国内仅在浙江“玉露”桃软化有研究表明^[2], 多聚半乳糖醛酸酶起着直接作用, 果胶甲酯酶无明显作用。

笔者以优良中熟品种白凤水蜜桃为试材进行研究, 目的在于通过建立水蜜桃果实 PG 酶动力学化的模型, 来探讨软化原因及影响因素。期望在此基础上通过改变环境因子, 运用简便的处理来提高果实的耐贮性, 延长货架期, 以期为解决水蜜桃采后贮藏保鲜运输销售易出现的软化问题提供理论依据和可行的技术措施。

1 材料与方

1.1 材料 市售白凤水蜜桃, 果实平均单果重 105 g 左右, 果面变白, 部分果面呈红色。

1.2 处理方法 果实采收后当天进行各种处理, 具体处理方法如下: ①清水处理: 清水洗果后, 自然晾干。②包装处理: 采用市售 PVC 塑料袋 (0.02 mm), 每袋装入处理果实 2.5 kg, 然后用橡皮筋扎紧袋口待贮。③贮藏: 冷藏平均温度 3

℃, 平均相对湿度 85%。试验处理见表 1。

表 1 试验方案及处理

Table 1 Experimental scheme and treatment

试验编号	处理
Experiment no.	Treatment
1	清水洗果 + 冷藏
2	清水洗果 + 小包装 + 冷藏
3	清水洗果 + 乙烯吸收剂 + 小包装 + 冷藏
4	CaCl (2%) + 小包装 + 冷藏
5	多菌灵 (0.01%) + 小包装 + 冷藏
6	赤霉素 (50 mg/kg) + 小包装 + 冷藏
7	CaCl (2%) + 赤霉素 (50 mg/kg) + 多菌灵 (0.01%) + 乙烯吸收剂 + 小包装 + 冷藏

1.3 测定项目及方法 多聚半乳糖醛酸酶的测定采用硫代硫酸钠滴定法。该试验相关分析、无重复双因子方差分析均采用 LIPS 软件, 试验数据均取 3 次测定的平均值。

2 结果与分析

2.1 PG 酶活性变化试验结果与分析 有研究表明, PG 酶在果实软化中起着关键作用^[3]。PG 酶活性和硬度变化在该试验中如图 1 所示。在整个贮藏过程中, PG 酶活性呈上升趋势, 由此可以说明, PG 酶活性越高, 果实越易软化。

PG 酶一直被认为在果实软化中起着重要作用, 在番茄软化中发现 PG 酶与果实软化有着密切联系, 而在 3 种成熟突变株 Nr、rin 和 nor 中, PG 酶的活性很低, 它们的果实软化很慢或者根本不软化。一些体外试验也表明, 用纯化的 PG 酶处理未成熟果实, 可使细胞壁溶解, 或从细胞壁中释放出果胶来^[4]。而对其他的细胞壁降解酶, 如果胶甲酯酶和纤维素酶, 其活性与软化之间的关系甚小^[5], PG 酶在果实软化中起着重要作用, 该试验也证明了 PG 酶对果实软化有直接作用。

作者简介 罗爱民 (1971 -), 男, 四川成都人, 博士, 从事农产品加工与贮藏研究。

收稿日期 2008-12-31

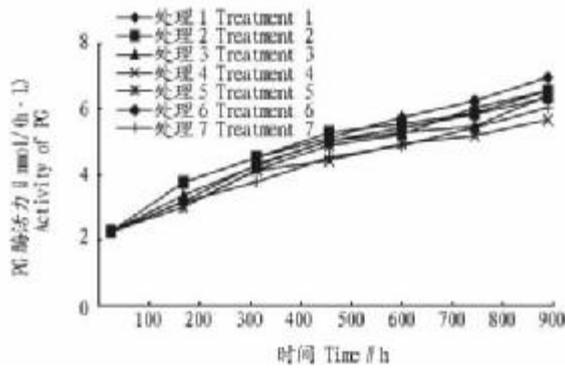


图1 PG 酶活性变化趋势

Fig.1 The changing tendency of PG activity of peach

2.2 水蜜桃 PG 酶的动力学模型

2.2.1 PG 酶动力学模型的推导。果实软化直接与 PG 酶活性有关^[6], PG 酶促进软化是因为聚半乳糖醛酸在 PG 酶作用下生成半乳糖醛酸。若用 S 表示聚半乳糖醛酸, P 表示半乳糖醛酸, 则反应方程式可表示:



设 v 为反应速度; k 为反应常数; t 为反应时间 (h)。若以半乳糖醛酸的生成量表示反应速度, 则反应速度可表示为:

$$v = k [P]^{-b} \tag{1}$$

若以 P 的浓度增加表示反应速度, 则:

$$v = \frac{d[P]}{dt} \tag{2}$$

v 即 PG 酶活性大小, 由 (2) 得: $[P] = v \cdot t + c$

当 $t=0$ 时, $[P]=0$, ($t=0$ 时刻, 以 PG 酶活性为零开始算起), 所以 $[P] = v \cdot t$ (3)

由 (1)、(3) 得, $lgv = -\frac{b}{1+b}lgv + \frac{1}{1+b}lgk$ (4)

令 $lgv = y_{PG}$, $lgv = x$

则 (4) 可表示为:

$$y_{PG} = -\frac{b}{1+b}x + \frac{1}{1+b}lgk \tag{5}$$

可见, (5) 是一直线方程, 斜率和截距和分别为 $-\frac{b}{1+b}$ 和 $\frac{1}{1+b}lgk$ 。

根据试验次数及置信度, 采用最小二乘法, 得出 PG 酶随时间变化的方程

$$v_{PG} = (k)^{\frac{1}{1+b}} \cdot t^{-\frac{b}{1+b}} \tag{6}$$

2.2.2 $t=0$ 时刻的确定。PG 酶是一个受发育调控的具有组织特异性的酶, 是在果实成熟过程中合成的, 在叶子、根和未成熟的果实中检测不到它的存在。 $t=0$ 时刻, PG 酶的活性为零, PG 酶随着时间而不断累积。在该试验条件下, 根据上面的 PG 酶动力学方程, 可求出冷藏下 PG 酶活性值为零点即 $t=0$ 时刻。处理 1 的 PG 酶与相应时间如表 2 所示。

可求得直线方程: $y_{PG} = 0.00050198T + 2.652381$ 令 $y_{PG}=0$ 得 $T = -528$ h; 故 $t=0$ 时刻为采果前 528 h, 此时的水蜜桃中的 PG 酶活性为零。

表 2 处理 1 T 时刻的 PG 酶活性的实测值

Table 2 The activity of PG of treatment 1 at the corresponding T-time

测试次数 Test times	T//h	PG 酶//mmol/(h · L)
1	24	2.26
2	168	3.76
3	312	4.52
4	456	5.13
5	600	5.73
6	744	6.24
7	888	6.95

2.2.3 冷藏下 PG 酶活性变化方程。冷藏下 PG 酶活性及相应 t 时刻值情况见表 2。用最小二乘法得:

$$V_{PG} = 0.0026 \times (528 + T)^{1.0974}$$

式中, t 为以 PG 酶活性为零时刻计算的时间; T 为以采果时刻为零计算的时间。3 °C 条件下不同处理 PG 酶活性变化曲线及检验结果见表 3。

表 3 处理 1~7 PG 酶活性和硬度的变化方程及检查结果

Table 3 The equation of changing of PG activity and hardness and test results in treatment 1-7

处理 Treatment	PG 酶活性变化曲线方程及检验结果 Curve equation of PG activity change and test results
1	$V_{PG} = 0.0026 \times (528 + T)^{1.0974}$, $t = 0.645 < t_{(0.05,6)} = 2.447$ 结果无显著性差异
2	$V_{PG} = 0.0026 \times (528 + T)^{0.9639}$, $t = 0.074 < t_{(0.06,7)} = 2.365$ 结果无显著性差异
3	$V_{PG} = 0.0054 \times (528 + T)^{1.0240}$, $t = 0.297 < t_{(0.05,7)} = 2.365$ 结果无显著性差异
4	$V_{PG} = 0.0078 \times (528 + T)^{0.9117}$, $t = 0.269 < t_{(0.05,7)} = 2.365$ 结果无显著性差异
5	$V_{PG} = 0.0031 \times (528 + T)^{1.0579}$, $t = 0.546 < t_{(0.05,7)} = 2.365$ 结果无显著性差异
6	$V_{PG} = 0.0039 \times (528 + T)^{1.0240}$, $t = 0.161 < t_{(0.05,7)} = 2.365$ 结果无显著性差异
7	$V_{PG} = 0.0058 \times (528 + T)^{0.9584}$, $t = 0.491 < t_{(0.05,7)} = 2.365$ 结果无显著性差异

2.3 水蜜桃 PG 酶的动力学讨论及应用 据表 3 方程, 可以求出反应常数 k 和反应级数 b , 反应常数 k 并不是一个定值, 催化剂反应本质等诸多原因的改变会影响 k 值。 b 反应了底物浓度的影响程度。 k, b 都是试验值, 该试验的 k, b 值见表 4。

表 4 处理 1~7 反应的 k, b 值

Table 4 The values of k and b of every treatment calculated from the corresponding equation

处理 Treatment	k	b
1	0.058 1	-0.523 2
2	0.075 1	-0.490 8
3	0.076 7	-0.486 9
4	0.079 2	-0.476 9
5	0.060 0	-0.486 0
6	0.077 6	-0.486 0
7	0.071 8	-0.489 4

插寿命仅为 6.670 d, 而用 5 g/L CaCl₂ 处理后, 切花的瓶插寿命可达 9.110 d, 比对照延长近 3 d, 与对照相比存在显著差异。试验中还观察到, CaCl₂ 浓度过大会引起茎秆褐变及茎秆木质化, 影响切花吸水, 反而减少瓶插时间。

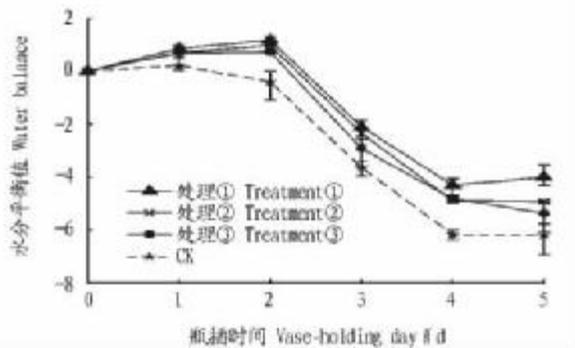


图 2 CaCl₂ 对月季花瓶插期间水分平衡的影响

Fig. 2 Effects of CaCl₂ on the value of water balance

表 1 CaCl₂ 对月季花瓶插期间外观变化的影响

Table 1 Effects of CaCl₂ on the changes in appearance during the vase-holding time

处理 Treatment	花朵盛开时间 Blooming time d	出现变色时间 Discoloration time d	出现弯头时间 Bending time d	瓶插寿命 Vase life d
①	6.443 a	7.780 a	8.557 a	9.110 a
②	5.443 b	6.557 b	7.110 b	7.443 b
③	5.330 b	6.443 b	6.557 c	7.110 c
CK	4.110 c	5.443 c	6.330 c	6.670 d

注: 同列不同字母表示在 0.05 水平有差异。

Note: Different letters behind the data in the same column mean a significant difference at the level of 0.05.

3 结论与讨论

切花鲜重变化率, 水分平衡值以及瓶插寿命是反应切花保鲜效果的重要指标。切花鲜重变化率越大, 切花吸收水分的能力越好, 瓶插寿命也越长; 水分平衡值为正, 说明切花吸水量大于失水量, 为负则失水量大于吸水量。只有在吸水量

大于失水量的时候, 切花才能够正常生长; 而瓶插寿命则常被用做反应保鲜液对切花的保鲜效果, 保鲜效果越好, 切花的瓶插寿命就越长。

从月季切花鲜重变化率, 水分平衡值等因素可以看出, 5 g/L CaCl₂ + 蒸馏水 + 200 mg/L 8-羟基喹啉的处理保鲜效果明显。该保鲜剂配方用于月季切花保鲜, 能够起到促进切花吸水, 延缓切花弯头时间, 延缓衰老等作用。

CaCl₂ 的保鲜作用在许多切花中都有研究。夏晶辉等发现, 6 g/L CaCl₂ 延缓非洲菊的切花衰老效果明显^[2]; 陈丹生等研究得到, 10 g/L CaCl₂ 可以有效延缓百合以及红花羊蹄甲切花的采后衰老^[3-4]。可见, 一定浓度的 CaCl₂ 对采后切花保鲜有积极的意义。但是 CaCl₂ 浓度要适宜, 超过一定的范围, 反而会抑制切花吸水。该试验在研究过程中发现, CaCl₂ 浓度过大, 表现表现出茎秆褐变干枯, 造成吸水不畅, 这可能是由于 Ca²⁺ 与细胞质中的磷酸根结合形成磷酸钙沉淀, 扰乱代谢, 也可能由于 Ca²⁺ 浓度过高, 造成细胞毒害的结果。5 g/L CaCl₂ 是该试验中较好的浓度处理, CaCl₂ 浓度小于 5 g/L 是否会有更好的瓶插效果, 需进一步研究。

参考文献

- [1] 黄广远, 高增增. 钙对月季切花保鲜效果的初步研究[J]. 陕西林业科技, 2007(4): 5-7.
- [2] 夏晶辉, 匡波. 氯化钙延缓非洲菊切花衰老的保鲜效果研究[J]. 江苏农业科学, 2008(1): 190-191.
- [3] 陈丹生, 蔡汉权, 丁有雄, 等. CaCl₂ 对百合切花保鲜效果的研究[J]. 韩山师范学院学报, 2005, 26(6): 69-71.
- [4] 陈丹生. Ca²⁺ 对红花羊蹄甲切花的保鲜作用[J]. 韩山师范学院学报, 1997(2): 103-106.
- [5] 张付根. 月季切花保鲜技术研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(25): 11089-11090.
- [6] 陈丹生, 丁有雄, 唐为萍, 等. 几种保鲜剂对月季切花的保鲜作用[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(16): 4798-4800.
- [7] 吴智彪, 王健, 李奕佳, 等. Vc 对月季切花保鲜的作用研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(18): 5424-5425.
- [2] 许文平, 陈昆松, 徐昌杰, 等. 猕猴桃采后果实冷藏与货架期脂氧合酶活性和乙烯生成的变化[J]. 2003, 36(10): 1196-1201.
- [3] 段学武, 张昭其, 季作梁. PG 酶与果实的成熟软化[J]. 果树学报, 2001, 18(4): 229-233.
- [4] 彭丽桃, 饶景萍, 杨书珍, 等. 果实软化的胞壁物质和水解酶变化[J]. 2002, 10(3): 271-280.
- [5] 陆胜民, 席巧芳, 张耀洲. 梅果采后软化与细胞壁组分及其降解酶活性的变化[J]. 中国农业科学, 2003, 36(5): 595-598.
- [6] 张昭其, 段学武, 陆旺金. 果实多聚半乳糖醛酸酶分子生物学研究进展[J]. 2002, 14(2): 92-94.
- [7] 黄仁华, 陆云梅, 夏仁学. 温州蜜柑果实发育与贮藏过程中活性氧代谢研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1914-1916, 1921.
- [8] 王丽霞, 朱志东, 赵红梅, 等. 天草果实在贮藏过程中主要成分变化规律的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6910-6912.
- [9] 袁启凤, 陈守一, 李金强, 等. 杂柑果实贮藏后主要有机物质含量的变化研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(2): 816, 824.
- [10] 柳建良, 丘苑新, 邹俊祥, 等. 采后加冰处理对德庆贡柑贮藏性能和果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(29): 9358-9359.
- [11] 王大平. 水杨酸对夏橙贮藏品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(14): 5734-5735.

(上接第 3748 页)

从表 4 中可以看出, 不同的处理影响了反应常数 k 和反应级数 b , 各处理 k, b 发生改变, 在一般的化学反应中, 反应常数 k 和反应级数不会随着底物浓度变化。表明处理影响了果胶降解的反应实质, 主要原因是影响酶的活性。

3 结论与讨论

笔者建立了不同处理下水蜜桃果实中 PG 酶的动力学模型, 不同的处理影响了反应常数 k 和反应级数 b , 表明不同处理影响了 PG 酶的降解果胶的反应实质, 同时求出了水蜜桃中的 PG 酶活性为零的时刻。由此可以根据 PG 酶随时间变化方程来预测水蜜桃贮藏所能达到的贮藏时间, 这样便于采取适当的措施和策略, 避免一些不必要的损失。但是, 不同处理如何影响 PG 酶降解果胶反应的实质, 需进一步研究。

参考文献

- [1] 关夏玉, 陈清西. 1-MCP 采后处理在果实贮藏保鲜上应用的研究进展[J]. 2006, 8(4): 46-49.