

不同成熟期芒果品种抗氧化酶指标的相关·通径及隶属函数分析

罗世杏, 唐玉娟*, 黄国弟, 赵英, 莫永龙 (广西亚热带作物研究所, 广西南宁 530001)

摘要 [目的]研究 12 个芒果品种的 4 个抗氧化酶活性, 分析其相关性并做出综合评价。[方法]测定 12 个不同成熟期芒果品种的抗氧化酶活性, 采用相关、通径及隶属函数分析方法, 研究不同成熟期芒果品种抗氧化酶活性差异。[结果]超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)与果实成熟天数间存在极显著差异, CAT 对果实成熟期起到直接作用, 直接通径系数为 0.619, 而 SOD、POD 可能通过 CAT 对果实成熟期起到间接作用, 间接通径系数分别为 -0.599 8、-0.588 7。12 个芒果品种的隶属函数评价结果为桂热芒 780-17>印度芒 901 号>桂热芒 10 号>桂热芒 282 号>桂热芒 78-1 号>桂热芒 264 号>斯里兰卡芒 811 号>桂热芒 30 号>桂热芒 10-2 号>泰国芒 14 号>桂热芒 23 号>红花本地芒。[结论]该研究可为探讨酶活与果实发育的相关性奠定基础。

关键词 芒果; 成熟期; 抗氧化酶

中图分类号 S667.7 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)18-0042-03

Correlation, Path and Subordinate Function Analysis between Antioxidant Enzymes for Different Maturity Mango Varieties
LUO Shi-xing, TANG Yu-juan*, HUANG Guo-di et al (Guangxi Sub-tropical Crops Research Institute, Nanning, Guangxi 530001)

Abstract [Objective] To study four antioxidase activities of 12 mango varieties, analyze the relationship and make a comprehensive evaluation. [Method] The antioxidant enzymes activities of 12 maturity mango cultivars were investigated. Then the rule was studied by using correlation, path and subordinate function analysis. [Result] There were extremely significant correlations between SOD, CPOD, CAT, and fruit maturing, CAT had greater direct impact on fruit maturing, and the direct path coefficient was 0.619. SOD and POD had indirect impact on fruit maturing by CAT, indirect coefficients were -0.599 8, -0.588 7. The subordinate function analysis of 12 mango cultivars was as follows: Guire mango 780-17>India mango 901>Guire mango 10>Guire mango 282>Guire mango 78-1>Guire mango 264>Sri Lanka mango 811>Guire mango 30>Guire mango 10-2>Thailand mango 14>Guire mango 23>Honghua mango. [Conclusion] The study provided basis for studying the correlation between enzyme activity and fruit development.

Key words Mango; Maturing; Antioxidant enzymes

芒果是广西主栽水果之一, 目前生产上存在早、中、晚熟品种比例不合理所带来的果实上市时间集中、季节性产品相对过剩等问题, 因此亟需开展芒果育种工作。为了及早掌握芒果的果实发育天数, 缩短育种年限, 对芒果叶片中的抗氧化酶活性与果实发育天数之间的相关性展开分析研究, 以期获取一种综合评价体系。前人在葡萄^[1]、李^[2]、蜜桃^[3]等果树上进行了叶片抗氧化酶与果实成熟期之间的研究, 发现抗氧化酶活性强弱与果实成熟期之间存在一定相关性, 但芒果成熟期与抗氧化酶活性间相关性研究较少。笔者以 12 个芒果品种的 4 个抗氧化酶活性为研究对象, 分析其相互关系并做出综合评价, 为芒果品种成熟期的预选提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料 试验地点在国家芒果种质资源保护广西创新基地。以泰国芒 14 号、红花本地芒、桂热芒 10-2 号、桂热芒 23 号、斯里兰卡芒 811 号、桂热芒 30 号、桂热芒 78-1 号、桂热芒 264 号、印度芒 901 号、桂热芒 780-17 号、桂热芒 10 号、桂热芒 282 号这 12 个芒果品种的 1 年生夏梢叶片为试材。

1.2 酶液制备 称取 1.0 g 芒果叶片置于冰浴研钵中, 加入 3.0 g 石英砂和 0.25 g PVP, 用预冷的 0.1 mol/L pH7.0 磷酸缓冲液(PBS)3.5 mL 于冰浴中研磨至无纤维为止, 定容至 10 mL, 然后在 4℃, 11 750 r/min, 离心 20 min。上清液为酶

的粗提取液。

1.3 抗氧化酶活性测定 SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法^[4], 光化还原后得到的蓝色甲腈在 560 nm 处有最大吸收, SOD 可抑制甲腈的形成, 活力单位为 U/mg; POD 活性测定采用愈创木酚法^[4], 在过氧化物酶的作用下, 过氧化氢将愈创木酚氧化成愈创木醌, 此物质在 470 nm 处有最大吸光值, 单位为 U/(g·min); CAT 活性测定采用张蜀秋等^[4]的方法, 以 240 nm 处的光密度来衡量反应混合物中过氧化氢含量降低的程度, 以每分钟变化 0.043 6 为 1 个活力单位, 单位为 U/g; PPO 活力测定采用曹建康等^[5]的方法, 多酚氧化酶催化邻苯二酚氧化形成的产物在 420 nm 处有最大光吸收峰, 单位为 $\Delta OD_{420}/\text{min} \cdot \text{g}$ 。

1.4 芒果成熟期评价 根据前人研究发现, 果实成熟期与抗氧化酶活性具有一定相关性, 但通常用单一指标无法正确评定, 该试验对成熟期和酶活进行相关和通径分析^[6], 再运用隶属函数^[7]对 12 种芒果品种的成熟期进行综合评价。

1.5 统计分析 应用 SPSS19.0 软件进行相关和通径分析, 采用 Excel 2003 软件进行隶属函数分析。

2 结果与分析

2.1 不同芒果成熟期与抗氧化酶活性的相关及通径分析

2.1.1 简单相关分析。由表 1 可知, SOD、POD 酶活与芒果果实发育天数呈极显著负相关($P<0.01$), CAT 酶活与芒果果实发育天数呈极显著正相关($P<0.01$)。SOD 与 POD 之间存在极显著正相关, 同时这两者与 CAT 间存在极显著负相关。在这 4 种酶中, PPO 具有相对的独立性。综合分析可知, SOD、POD、CAT 与芒果果实发育天数有显著相关性, SOD、POD 酶活强的品种, 果实趋于早熟, CAT 酶活较强的品种, 果

基金项目 芒果种质资源保护广西创新基地项目(14RZZY-35, 15RZZY-35)。

作者简介 罗世杏(1983—), 女, 广西合浦人, 助理研究员, 硕士, 从事芒果新品种选育研究。*通讯作者, 硕士, 从事芒果育种与栽培研究。

收稿日期 2017-04-10

实发育天数较长。

表 1 芒果各抗氧化酶活性的相关系数

Table 1 The correlation coefficient of the antioxidant enzyme activities of mango

指标 Index	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	1.000			
x_2	0.925 **	1.000		
x_3	-0.969 **	-0.951 **	1.000	
x_4	-0.188	-0.319	0.262	1.000
y	-0.980 **	-0.963 **	0.995 **	0.242

注: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别表示 SOD、POD、CAT、PPO, y 表示果实发育天数;
* * 表示极显著相关($P<0.01$)
Note: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 indicated SOD, POD, CAT, PPO, respectively; y indicated fruit development days; * * indicated very significant correlation ($P<0.01$)

2.1.2 途径分析。由于各抗氧化酶间存在不同程度的相关性,其相互间作用是交叉存在的,相关系数的大小不能完全反映各抗氧化酶活性对芒果果实发育天数的影响,因此,需采用途径分析的方法做进一步的统计分析。

表 2 抗氧化酶活性与芒果果实发育天数的途径分析

Table 2 Path analysis of antioxidant enzyme activities and mango fruit development days

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	直接途径系数 Direct path coefficient	间接途径系数 Indirect path coefficient			
			$x_1 \rightarrow y$	$x_2 \rightarrow y$	$x_3 \rightarrow y$	$x_4 \rightarrow y$
x_1	-0.980	-0.225		-0.208 1	0.218 0	0.042 3
x_2	-0.963	-0.171	-0.158 2		0.162 6	0.054 5
x_3	0.995	0.619	-0.599 8	-0.588 7		0.162 2
x_4	0.242	-0.017	0.003 2	0.005 4	-0.004 5	

注: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别表示 SOD、POD、CAT、PPO, y 表示果实发育天数;决定系数 $R^2=0.997$, 剩余途径系数 $P_e=0.054 8$
Note: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 indicated SOD, POD, CAT, PPO, respectively; y indicated fruit development days; $R^2=0.997$, $P_e=0.054 8$

2.2 不同成熟期芒果品种隶属函数综合评价 根据相关和途径分析,PPO 与芒果果实发育天数之间相关性很低,因此在进行隶属函数分析时将其剔除。SOD、POD 和 CAT 与芒果果实发育天数之间存在不同程度的相关性,现采用隶属函数法对芒果果实发育天数进行综合评价,以减低某一指标的片面性,得到相对客观和科学的的评价。平均隶属函数值越大发育天数越长。由表 3 可知,桂热芒 780-17 号的平均隶属

由表 2 可知,SOD、POD、CAT 与芒果果实发育天数密切相关。CAT 与果实发育天数呈现正相关,直接途径系数为 0.619,与相关分析结果($r_{3y}=0.995$)相近;SOD、POD 与果实发育天数的直接途径系数较小($a_1=-0.225$, $a_2=-0.171$),但间接途径系数较大,间接途径系数分别为 -0.599 8 和 -0.588 7,这意味着 SOD、POD 与果实发育天数的相关系数中,有较大部分通过 CAT 起作用。相反,CAT 通过 SOD 和 POD 对果实发育天数的间接作用相对小得多,其间接途径系数为 0.218 0 和 0.162 6,这进一步说明 CAT 对果实发育天数的作用是直接作用的结果,而 SOD 和 POD 间接影响芒果果实发育天数。PPO 则与果实发育天数无明显关系。

由途径分析结果可知,以芒果果实发育天数为因变量(y),其余的 4 个酶活指标作为自变量(x)开展途径分析,其决定系数 $R^2=0.997$ 、剩余途径系数 $P_e=0.054 8$ 。这说明除了这 4 种酶外,还有其他影响果实发育天数的因子未被考虑。

函数值最大,表明其果实发育天数越长,而红花本地芒的平均隶属函数值最小,则其果实成熟越早。由此得出 12 个芒果品种的果实发育天数长短依次为:桂热芒 780-17、印度芒 901 号、桂热芒 10 号、桂热芒 282 号、桂热芒 78-1 号、桂热芒 264 号、斯里兰卡芒 811 号、桂热芒 30 号、桂热芒 10-2 号、泰国芒 14 号、桂热芒 23 号、红花本地芒。

表 3 芒果果实发育天数隶属函数值及综合评价结果

Table 3 Average subordinate value and comprehensive evaluation results of mango fruit development days

品种 Variety	SOD 值 SOD value	POD 值 POD value	CAT 值 CAT value	平均隶属值 Average subordinate value	排序 Ranking
泰国芒 14 号 Thailand mango 14	0.502 7	0.428 6	0.481 5	0.470 9	10
红花本地芒 Honghua mango	0.542 9	0.333 2	0.432 6	0.436 2	12
桂热芒 10-2 号 Guire mango 10-2	0.500 0	0.555 5	0.365 1	0.473 5	9
桂热芒 23 号 Gui re mango 23	0.586 0	0.333 5	0.458 3	0.459 3	11
斯里兰卡芒 811 号 Sri Lanka mango 811	0.477 7	0.500 0	0.515 0	0.497 6	7
桂热芒 30 号 Guire mango 30	0.462 8	0.583 4	0.390 6	0.478 9	8
桂热芒 78-1 号 Guire mango 78-1	0.489 0	0.555 5	0.474 6	0.506 3	5
桂热芒 264 号 Guire mango 264	0.495 0	0.500 0	0.522 6	0.505 9	6
印度芒 901 号 India mango 901	0.402 7	0.500 0	0.635 4	0.512 7	2
桂热芒 780-17 号 Guire mango 780-17	0.362 0	0.600 0	0.6152	0.525 7	1
桂热芒 10 号 Guire mango 10	0.500 0	0.416 6	0.619 9	0.512 2	3
桂热芒 282 号 Guire mango 282	0.558 3	0.333 3	0.639 9	0.510 5	4

经过 3 种酶与平均隶属值的相关性分析可知, SOD、POD 与平均隶属值呈负相关, 相关系数为 -0.8426 、 -0.8500 , CAT 则与平均隶属值呈正相关, 相关系数为 0.8920 , 但不是 CAT 值越大, 芒果果实发育天数越长, 这可能是因为, CAT 对芒果果实发育天数的作用除了其本身的主要作用外, 还有 SOD 和 POD 通过 CAT 对芒果果实发育天数的间接作用。这一点与通径分析的结果一致, 可以认为 CAT 对果实成熟期的预测有一定的参考价值。

2.3 不同发育阶段抗氧化酶活性的相关性分析 3 种抗氧化酶(SOD、POD、CAT)在童期与成年期之间的相关系数分别为 0.5781 、 -0.1686 、 0.2057 , 均无显著相关, 因此不能采用童期叶片来预测果实的成熟期。

3 讨论与结论

植物中抗氧化酶主要有 SOD、CAT、POD、POD 等, 其中以 SOD 最为重要。在植物生长旺盛时期, SOD 活性随着生长的加速保持比较稳定的水平或有所上升, 而 CAT 和 POD 能有效清除生物体内过氧化氢对生物分子的氧化作用。PPO 是植物呼吸代谢中一个较重要的末端氧化酶, 在前人研究^[3]中发现其与果实成熟期存在一定的相关性, 这一点在该研究中未发现, 可能是因为不同植物的遗传基础不同。

芒果果实成熟期是由多种因素相互作用而构成的一个较为复杂的综合性状, 该试验发现芒果不同品种成熟期的早晚与 SOD、POD 和 CAT 活性呈显著性相关, 而通径分析说明还有其他因素影响果实发育天数。SOD 和 POD 活性较高的品种, 果实发育天数较短, 这一点与宋利霞^[2]研究结果相同, CAT 活性较低的品种, 果实发育成熟较早, 这一点与贺普超^[8]在葡萄叶片上试验相反, 可能是葡萄早熟品种在休眠期的 H_2O_2 含量较高^[9], 因此 CAT 的活性较强。由于果实成熟期作为多基因控制的性状会有一个复杂的酶系统在起作用,

所以不能单靠这 3 种酶来预测果实的成熟期, 剩余通径系数 $P_e = 0.0548$ 也说明除了这 4 种酶外, 还有其他影响果实发育天数的因子未被考虑。

在该试验中, 虽然 SOD、POD 和 CAT 与果实发育天数呈显著相关, 但通径分析和隶属函数分析表明 CAT 与果实发育天数的相关性更强, SOD、POD 可能通过 CAT 来对果实成熟期起作用。在芒果进入生殖生长期后, SOD、POD、CAT 都进入了较活跃阶段, 在此阶段 SOD 特异性地催化超氧阴离子歧化反应能力增强, 产生 H_2O_2 , 免除植物因生长代谢活跃产生的超氧阴离子对机体的伤害。产生的 H_2O_2 能被 CAT 直接催化分解, 有效快速地清除生物体内的过氧化氢, 在此同时 POD 通过催化 H_2O_2 与其他底物反应以消耗 H_2O_2 。因此, CAT 和 POD 酶活强弱, 在一定程度上影响 SOD 的歧化反应速度, 而 CAT 对 H_2O_2 的直接分解能力在植物免除 H_2O_2 伤害上起更重要作用。

参考文献

- [1] 贺普超. 葡萄早熟性与氧化酶的关系[J]. 园艺学报, 1963, 2(2): 233 - 234.
- [2] 宋利霞. 李不同成熟期品种生化指标分析[J]. 河北果树, 2011(6): 7 - 8.
- [3] 胡霓云, 张振文, 刘天明, 等. 氧化酶活性与桃早熟性关系的初步探讨[J]. 果树科学, 1988, 5(1): 20 - 23.
- [4] 张蜀秋, 李云, 武维华. 植物生理学实验技术教程[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [5] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 103 - 105.
- [6] 张琪, 从鹏, 彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现[J]. 农业网络信息, 2007(3): 109 - 110, 91.
- [7] 张文娥, 王飞, 潘学军. 葡萄属 12 个种 45 份种质资源抗寒性综合评价[J]. 中国南方果树, 2009, 38(3): 17 - 19.
- [8] 贺普超. 葡萄早熟性与氧化酶的关系[J]. 园艺学报, 1963, 2(2): 233 - 234.
- [9] 高东升, 束怀瑞, 李宪利. 几种落叶果树 H_2O_2 含量变化与自然休眠关系的研究[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 209 - 213.

(上接第 41 页)

3 结论与讨论

黄秋葵原产于非洲, 为喜温耐热的作物, 适合在海南栽培种植。该试验结果表明, 黄秋葵各个品种适应性强, 其中, 助农 2 号、杨贵妃、绿羊角和东京 5 号黄秋葵在产量上都优于其他品种, 而且在果实表型和植株表型上都表现良好, 抗病性强于其他品种, 尤其是绿羊角单株产量, 单株结果数和产量都明显优于其他品种。综合来看, 助农 2 号、杨贵妃、绿羊角和东京 5 号黄秋葵这 4 个品种可以在海南引进推广。黄秋葵的食用和保健价值在各种蔬菜中占有很大优势, 具有广阔的发展前景。由于黄秋葵属于严格的闭花授粉植物, 能够留种采种, 种子产量也比较高。今后的试验中, 将进一步摸索海南陆地黄秋葵的栽培模式, 达到一年多茬, 充分利用海南有利的自然气候条件。

参考文献

- [1] 钟惠宏, 郑向红, 李振山. 秋葵属的种及其资源的搜集研究和利用[J]. 中国蔬菜, 1996(2): 49 - 52.
- [2] 刘东祥, 叶花兰, 刘国道. 黄秋葵的应用价值及栽培技术研究进展[J].

安徽农业科学, 2006, 34(15): 3718 - 3720.

- [3] 黄阿根, 陈学好, 高云中, 等. 黄秋葵的成分测定与分析[J]. 食品科学, 2008, 28(10): 451 - 455.
- [4] 黄秋葵花营养与应用[EB/OL]. [2012 - 12 - 28]. <http://www.huangqiukui.com/huangqiukui/huangqiukui16.html>.
- [5] ÇALIŞTIR S, ÖZCAN M, HACISEFEROGULLARI H, et al. A study on some physico-chemical properties of Turkey okra (*Hibiscus esculenta* L.) seeds[J]. Journal of food engineering, 2005, 68(1): 73 - 78.
- [6] 马云肖, 王建新. 几种新型油脂的脂肪酸组成及特性[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(6): 29 - 31.
- [7] 詹忠根, 李煜键, 张宇. 黄秋葵种子主要营养成分测定[J]. 营养学报, 2012, 34(2): 191 - 192.
- [8] 董彩文, 梁少华. 黄秋葵的功能特性及综合开发利用[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(5): 180 - 182.
- [9] WOOLFE J A. The effect of okra mucilage (*Hibiscus esculentus* L.) on the plasma cholesterol level in rats[J]. Proceedings of the nutrition society, 1977, 36(2): 59.
- [10] KAHILON T S, CHAPMAN M H, SMITH G E. In vitro binding of bile acids by okra, beets, asparagus, eggplant, turnips, green beans, carrots, and cauliflower[J]. Food chemistry, 2007, 103(2): 676 - 680.
- [11] 任丹丹, 陈谷. 黄秋葵多糖的提取、分离及其体外结合胆酸盐能力的分析[J]. 食品科学, 2010, 31(13): 110 - 113.
- [12] 周安定. 海南气候特点及棉花育苗[J]. 种子通讯, 1988(3): 22 - 23.