

喷施不同钙肥对苹果贮藏期间抗氧化酶活性的影响

邹亚丽,王廷璞,呼丽萍,谢天柱,陈 荃,冯兴娟

(天水师范学院生命科学与化学学院,甘肃省大樱桃工程技术研究中心,甘肃 天水 741001)

摘 要:以“天富一号”苹果为试材,探讨了钙肥对贮藏期间果实抗氧化酶活性的影响,结果表明:在 0℃贮藏条件下红富士果肉 SOD、CAT 高峰出现的时间一致,表明 SOD、CAT 是协同作用的,它们是果实贮藏前期的主要作用酶,共同防御活性氧或其过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害。贮藏 60 d 后 POD 活性显著增加,MDA 含量在贮藏后期也逐渐增加,表明 POD 是贮藏后期的主要作用酶。喷施不同钙肥均能显著提高 SOD、CAT 的活性,降低了 MDA 含量,其中功能性叶面肥作用效果优于营养型叶面肥,螯合氨基酸钙处理下 SOD、CAT 含量最高,其次为早地龙腐殖酸,因此可选择螯合氨基酸作为延长苹果贮藏期的最佳钙肥,早地龙腐殖酸因其具有抗旱能力可适用于干旱地区果园。

关键词:钙肥;贮藏期;抗氧化酶

中图分类号: S609+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0186-05

Effects of foliar spraying of different calcium fertilizers on antioxidant enzymes in apple during storage period

ZOU Ya-li, WANG Ting-pu, HU Li-ping, XIE Tian-zhu, CHEN Quan, Feng Xing-juan

(College of Life Science and Chemistry, Tianshui Normal University / Gansu Engineering Technology Research Center for Cherry Production, Tianshui, Gansu 741001, China)

Abstract: With the cultivar of “Tianfu 1” as test material, the effects of calcium fertilizers on antioxidant enzymes in apple during storage period were studied. The results showed that there was a temporal synchronization for both the activities of SOD and CAT to reach the peak in fruit stored under 0℃. It suggested that SOD and CAT cooperated as main antioxidant enzymes to protect the cytomembrane system from active oxygen and peroxy radical during the early storage period. After 60 days of storage, the activity of POD significantly increased, and the concentration of MDA also showed the same trend, so POD was the main active enzyme in the late storage stage. The activities of SOD and CAT were significant improved and the concentration of MDA was significant decreased by spraying of calcium fertilizers, in which the effect of functional foliar fertilizers was more effective than that of nutritional ones. The activities of SOD and CAT were the highest under the treatment of amino acid chelate, followed by Handilong humic acid. Therefore, amino acid chelate was selected as the best calcium fertilizer for prolonging fruit storage, and Handilong humic acid was suitable to the orchards in arid areas because of its drought-resistant ability.

Keywords: calcium fertilizer; storage period; antioxidant enzyme

果实在贮藏过程中因各种机械损伤和病菌侵袭,促进脂氧合酶(LOX)的活性增加,产生大量的自由基和活性氧,导致后熟进程加快,减少贮藏寿命^[1]。积累的氧自由基可直接攻击膜系统中不饱和脂肪酸导致膜脂过氧化及其产物丙二醛(MDA)的产生,从而损伤生物膜并抑制细胞保护酶的活性,其含量越高,膜受伤害的程度就越大^[2-3]。正常情况下,

植物体可通过某些酶系统和抗氧化物质来清除细胞的自由基和活性氧物质,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)是该酶系统的重要成员^[4]。钙在某种程度上也能提高抗氧化酶的活性,它是植物必须的营养元素,同时也是植物体内转导多种生理过程的胞内胞外信号物质之一,是植物细胞壁和细胞膜的结构物质,在保持细胞壁结构、

收稿日期:2012-10-17

基金项目:天水师范学院列资助项目(TSA0819)

作者简介:邹亚丽(1971—),女,四川荣县人,硕士,副教授,现主要从事环境污染及植物生理生态方面的研究工作。E-mail: zoulzu@163.com。

维持细胞膜功能方面具有重要作用^[5-6]。同时,钙参与植物多种生理生化过程及酶活性的调控,具有酶的辅助因素功能^[7]。苹果果实在贮藏过程中由于生理失调而引起的生理病害(水心病和苦痘病)或者由于微生物的侵害而引起的病理病害(霉心病)也与果实中的钙含量密切相关^[8-9]。甜瓜果实钙处理能够不同程度地提高果肉中抗氧化酶的活性,降低 H_2O_2 含量,并明显抑制MDA酶活性^[10]。Holb等研究表明采前钙处理及气调贮藏相结合可减少苹果长期贮藏过程中褐腐病的发生^[11]。因此钙对于清除膜上氧自由基,减少氧自由基对膜系统的伤害,从而延缓果实的衰老有积极作用。

已有的研究表明在果实贮藏过程中POD、SOD酶活性的峰值出现的时间不同,且其在贮藏前、后期的作用也有所不同,在李果实整个贮藏过程(75 d)中,POD活性是先升后降变化,呈单峰变化趋势,峰值出现在第22天,SOD则先降后升再降,峰值出在第30天^[12]。苹果贮藏时,POD活性在前期略有波动,贮藏50 d后明显增加,到75天时达到最大值,此后又迅速下降到贮藏初期的水平,表明POD酶在前期对果实的氧化衰老有抑制效应,后期又参与了花青苷的氧化^[13]。枇杷果实钙处理后的SOD、CAT活性贮藏前15 d均呈上升趋势,第15天之后SOD、CAT活性逐渐下降。钙处理果实中 Ca^{2+} 通过CaM参与POD活性调节,能抑制POD的活性^[14];在60 d的贮藏期内,金秋梨果实SOD、POD酶活性是逐渐降低的,但幼果期喷钙提高了SOD酶与POD酶的活性^[15],说明POD、CAT、SOD之间可能具有互补关系,而这种关系可能与物种、品种有关。目前关于果实贮藏期内抗氧化酶活性的变化及其机制研究较少。

本研究以天富一号富士苹果为试材,喷施了6种供试钙肥,旨在探讨苹果果实贮藏过程中主要抗氧化酶的作用机制以及不同钙肥对苹果贮藏期间抗氧化酶活性的影响,筛选出降低果实病害,延长苹果贮藏期的最佳钙肥,从而指导果农科学合理地给果树补钙。

1 材料和方法

1.1 试验材料及钙肥

试验材料为富士新品系“天富一号”。供试钙肥为以下六种:螯合氨基酸钙为陕西博宇有限公司生产,羟基钾锌钙为陕西绿盾生物制品有限责任公司生产,旱地龙腐殖酸钙为新疆汇通旱地龙腐殖酸有限责任公司生产,果蔬钙肥为美国布兰特股份有限公司生产,痘丽净为烟台市莱山经济开发区固特丽

新洲生物科技有限公司生产,光泰富钙为杨陵光泰实业有限公司生产。

1.2 试验处理及采样

试验地设在水果研究所中日友好园天富一号富士苹果园,果园密度为 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。试验开始于2009年,选择长势一致,生长健壮的“天富一号”为试验材料,每个处理3株,6个处理,1个对照,共喷施21株并做标记,用背负式喷雾器全树均匀喷洒至叶片正反两面。其中6种钙肥的稀释倍数和喷酒次数及清水组如下:螯合氨基酸(A),(2000×5次);旱地龙腐殖酸(H),(600×5次);光泰富钙(G),(500×5次);羟基钾锌钙(Q),(500×5次);果蔬钙肥(S),(500×5次);痘丽净(D),(600×5次);清水(CK)。喷药时间分别为:花后20 d到套袋前喷1次,套袋后到解袋前喷3次,解袋后喷1次。

果实成熟期(10月底)采摘果样,每株试验树随机摘取60个果,采后运回实验室,各处理随机抽取20个果实,分别测定其SOD、POD和CAT的酶活性及MDA酶含量,将剩余果实贮藏于冰柜内(0°C),每间隔一个月调查测定一次上述指标,共调查测定三次。

1.3 测定指标及方法

SOD活性,采用氮蓝四唑法测定^[16]。CAT活性,采用高锰酸钾滴定法测定^[16]。POD活性,采用愈创木酚比色法测定^[17]。MDA含量,采用硫代巴比妥酸法测定^[17]。

1.4 数据分析

统计分析采用SPSS17.0软件进行单因素方差分析和相关性分析。

2 结果及分析

2.1 苹果贮藏期间SOD和CAT酶活性的动态变化

在整个贮藏过程中,喷施不同钙肥处理SOD酶活性均显著高于对照,且不同处理SOD活性在贮藏后30 d后上升了22.79%~41.58%(表1),其中螯合氨基酸(A)处理SOD活性的峰值最高,但各处理之间无显著差异性。贮藏30~60 d间SOD活性呈线性急剧下降,其中对照SOD活性降幅最大,约下降了75.21%,而螯合氨基酸(A)处理下SOD活性降幅最小,约下降了46.91%,至贮藏60 d时,SOD活性为 $111.64\text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{FW}$,且显著高于其它钙剂处理($P < 0.05$)。

由表1可知,CAT活性在果实冷藏过程中呈先上升后下降的趋势,与SOD活性在贮藏期的表现相一致。幼果喷施钙剂后,贮藏30 d内果实CAT活性

始终高于对照,且螯合氨基酸(A)和旱地龙腐殖酸(H)CAT的上升幅度较小($P>0.05$),其它各钙剂处理在贮藏前期CAT含量显著增加。贮藏30 d后,CAT的活性迅速下降,且螯合氨基酸(A)处理下CAT活性降幅最小,至贮藏60 d时,其CAT含量显著高于其它处理与对照。

表 1 贮藏期间苹果果实 SOD 和 CAT 酶活性的变化
Table 1 Activity of SOD and CAT in apple fruit during the storage period

项目 Item	处理 Treatment	采收期 Harvesting time	贮藏 30 天后 Stored for 30 days	贮藏 60 天后 Stored for 60 days
SOD 酶活性 SOD activity $/(U\cdot g^{-1}\cdot h^{-1}FW)$	CK	84.27 ± 3.37bB	109.96 ± 14.41bA	27.25 ± 7.23dC
	A	171.27 ± 47.34aA	219.31 ± 21.45aA	111.64 ± 13.66aB
	D	162.89 ± 14.28aB	209.07 ± 2.56aA	68.48 ± 17.10bcC
	G	174.96 ± 38.05aA	210.30 ± 23.28aA	58.37 ± 4.09cB
	H	120.5 ± 34.11aA	170.61 ± 34.65aA	71.2 ± 4.23bB
	Q	141.76 ± 45.65aA	196.31 ± 24.84aA	71.55 ± 7.84bB
	S	122.00 ± 31.68aA	157.48 ± 21.22aA	27.25 ± 11.75dB
CAT 酶活性 CAT activity $/(H_2O_2\ mg\cdot min^{-1}\cdot g^{-1}FW)$	CK	2.51 ± 0.47cB	3.44 ± 0.25bA	0.86 ± 0.18cC
	A	4.53 ± 0.22aA	4.62 ± 0.66aA	3.30 ± 0.59aB
	D	2.72 ± 0.23bcB	4.76 ± 1.02aA	1.29 ± 0.22bcC
	G	3.17 ± 0.73bB	4.78 ± 0.35aA	1.04 ± 0.11cC
	H	4.35 ± 0.16aA	4.55 ± 0.20aA	1.76 ± 0.57bB
	Q	2.85 ± 0.47bcB	4.17 ± 0.23aA	1.63 ± 0.41bC
	S	3.80 ± 0.47bB	4.17 ± 0.11aA	1.54 ± 0.23bC

注:同列小写字母表示不同处理之间的显著差异性($P<0.05$),同行大写字母表示不同贮藏时期之间的显著差异性($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercases in same columns mean the significant difference at $P<0.05$ among treatments, and different capital letters in same rows mean the significant difference at $P<0.05$ among different storage periods. The same below.

2.2 喷施不同钙剂对 POD 酶活性的影响

如表 2 所示,在整个贮藏过程中 POD 酶活性呈先降后升‘U’形趋势,贮藏 30 d 后,对照 POD 活性约降低了 45.76%,与对照相比,各处理 POD 活性虽然在此贮藏阶段均有所下降,但其 POD 酶活性仍显著高于对照。贮藏 60 d 后 POD 酶活性基本与采收期 POD 酶活性相当,而光泰富钙(G),羟基钾锌钙(Q)及果蔬钙肥(S)在贮藏 60 d 后其 POD 酶活性显著低于采收期 POD 酶活性。

采收期旱地龙腐殖酸(H)和羟基钾锌钙(Q)的 POD 含量显著高于其它钙处理,贮藏 30 d 后,二者之间无显著差异,贮藏 60 d 后,旱地龙腐殖酸(H) POD 含量达到 $26.88\ U\cdot g^{-1}\cdot min^{-1}\cdot FW$ 显著高于羟基钾锌钙(Q),表明贮藏后期旱地龙腐殖酸(H)处理作用效果最好,螯合氨基酸(A)在贮藏后期 POD 酶活性增加了 61.86%,其 POD 酶活性仅次于旱地龙腐殖酸(H)。

2.3 喷施不同钙剂对丙二醛的影响

如表 3 所示,随着贮藏时间的延长,苹果果实中 MDA 含量呈逐渐上升趋势,采收期至贮藏 30 天间 MDA 含量的增加量较小,平均约增加了 14.97%,贮藏 30~60 d 间 MDA 含量平均上升了 32.42%,整个

贮藏期对照 MDA 含量始终高于钙处理。

表 2 贮藏期间苹果果实 POD 酶活性的变化/ $(U\cdot g^{-1}\cdot min^{-1}FW)$

处理 Treatment	采收期 Harvesting time	贮藏 30 天后 Stored for 30 days	贮藏 60 天后 Stored for 60 days
CK	13.11 ± 1.98eA	7.11 ± 0.90cB	13.55 ± 0.53eA
A	24.66 ± 0.66cA	14.00 ± 1.23bB	22.66 ± 1.64bA
D	17.33 ± 1.33dA	12.66 ± 0.67bB	18.00 ± 0.88cA
G	23.78 ± 1.22cA	15.78 ± 1.11aC	19.11 ± 1.42cB
H	27.33 ± 1.42bA	15.11 ± 1.19abB	26.88 ± 1.74aA
Q	30.22 ± 0.75aA	16.88 ± 1.38aC	21.77 ± 2.55bcB
S	18.44 ± 1.58dA	13.11 ± 1.36bC	15.66 ± 0.98dB

贮藏 30~60 d 时,对照 MDA 含量约上升了 54.50%,光泰富钙(G)、羟基钾锌钙(Q)、果蔬钙肥(S)处理则在整个贮藏时期表现为 MDA 含量的持续增加,在贮藏前期及贮藏后期光泰富钙(G)MDA 含量分别增加了 23.39%、27.59%,羟基钾锌钙(Q)处理下 MDA 含量分别增加了 17.58%、38.64%,果蔬钙肥(S)处理下 MDA 含量分别增加了 18.54%、29.91%。贮藏 60 d 后螯合氨基酸(A)MDA 含量最低,比对照低 39.81%。

表 3 贮藏期间苹果果实 MDA 含量的变化/(nmol·g⁻¹ FW)

Table 3 The concentration of MDA in apple fruit during the storage period

处理 Treatment	采收期 Harvesting time	贮藏 30 天后 Stored for 30 days	贮藏 60 天后 Stored for 60 days
CK	21.03 ± 1.57aB	21.98 ± 1.12aB	33.96 ± 1.69aA
A	14.32 ± 2.05bC	17.15 ± 1.39bB	20.44 ± 1.13dA
D	16.84 ± 1.18bC	19.84 ± 1.71abB	22.63 ± 1.02cA
G	16.24 ± 1.49bC	20.04 ± 1.61abB	25.50 ± 1.07bA
H	17.83 ± 1.02bB	18.40 ± 0.87bB	27.05 ± 1.34bA
Q	17.97 ± 1.08bC	21.13 ± 1.76aB	28.45 ± 1.47bA
S	14.78 ± 1.32bC	17.52 ± 1.25bB	22.76 ± 0.46cA

3 讨 论

3.1 抗氧化酶活性随果实贮藏期的变化

果实成熟衰老与活性氧代谢和膜脂过氧化作用有关。SOD、POD 和 CAT 是植物体内的重要保护酶,可分解机体代谢过程中产生的活性氧如过氧化氢、超氧阴离子等。SOD 能专一的将 O₂⁻歧化为 H₂O₂和 O₂,CAT 和 POD 则催化 H₂O₂转化为 H₂O,活性氧在三者的协调一致作用下使活性氧维持在一个较低的水平,从而防止其毒害。本实验结果表明,无论喷施钙剂处理还是对照,在 0℃贮藏条件下红富士果肉 SOD、CAT 高峰出现的时间一致,证明了 SOD、CAT 是共同协同作用的,它们是果实贮藏前期的主要作用酶,共同防御活性氧或其过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害。而果实贮藏初期 POD 活性逐渐降低,也可能是因为贮藏初期 SOD 和 CAT 协同作用降低了 H₂O₂量,从而使 POD 维持较低水平。

林植芳等在研究荔枝的衰老机理时发现,荔枝果皮衰老过程中 POD 活性的增高可能是对 H₂O₂的积累和乙烯生成的一种反应,推测 POD 活性的提高可作为果实衰老的标志之一^[18]。在本试验中,贮藏 60 d 后 POD 活性显著增加,而此时果实并未出现衰老症状,POD 活性的增加可能是由于苹果果实低温逆境贮藏所生成大量的 H₂O₂诱导的,因此在果实的贮藏后期 POD 为主要作用酶。

已有的研究表明在果实贮藏过程中 POD, SOD 酶活性的峰值出现的时间不同,且其在贮藏前、后期的作用也有所不同^[12-15],我们实验结果则表明在苹果果实的贮藏前期 SOD 酶与 CAT 酶为主要作用酶,贮藏中后期 POD 酶为主要作用酶,从而对果实的抗病性起主要作用。这可能与植物物种、品种有关。

3.2 果实贮藏期间 MDA 的变化

果实在贮藏过程中积累的氧自由基可直接攻击膜系统中不饱和脂肪酸导致膜脂过氧化及其产物丙二醛(MDA)的产生,从而损伤生物膜^[2-3]。本实验结果表明在整个贮藏期,膜脂氧化物 MDA 的含量明显逐渐增加,特别是贮藏后期 MDA 的增加幅度加大,说明苹果在贮藏过程中,有毒害作用的氧离子自由基的积累增加了对细胞膜的破坏。SOD、CAT 及 POD 在果实整个贮藏过程中相互补充,共同防御活性氧或其过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害。MDA 在贮藏后期逐渐增加,与 POD 增加趋势相一致,也证明了贮藏后期累积的活性氧或其过氧化物自由基是 POD 活性增加的诱因。

3.3 喷施钙肥对果实抗氧化酶活性的影响

钙与果实酶系统的关系受果实本身的生理状态及钙处理的浓度、使用方法的影响很大^[19]。其中喷施钙肥能提高果实品质和防止生理病害,且效果好、操作便利。本实验结果表明,幼果喷施钙剂后,采收时果实的 SOD、POD、CAT 的含量与对照相比均显著增加,在果实贮藏过程中各抗氧化酶的变化始终表现为喷钙处理显著高于对照,各处理 MDA 的含量显著低于对照,说明喷施钙剂能有效地清除氧自由基,从而有效抑制果实衰老。

目前市场上钙叶面肥种类较多,其中针对性强的单一营养元素类产品即营养型叶面肥在市场上很受欢迎,市场上也有一些新型的叶面肥产品,其功能更加丰富,可将调节、抗逆和补充作物营养集于一体,即功能型叶面肥,但农民在产品的使用和选择上还存在较大的盲目性,因此需要对不同钙肥种类的效果进行检测并进行钙肥的筛选。本研究中供试的光泰富钙(G)和果蔬钙肥(S)属于营养型叶面肥,可为作物提供钙营养元素,改善作物的营养状况,研究发现贮藏 60 d 后,这两种钙肥(光泰富钙 G、果蔬钙肥 S)的 SOD 酶及 CAT 酶含量分别为螯合氨基酸(A)的 52.28%、24.41%和 31.51%、46.67%,是所有钙处理中含量最低的,表明单一营养供给较功能型叶面肥效果差。功能型叶面肥如早地龙腐殖酸(H)为腐殖酸类叶面肥,它是一个复杂的混合物体系,含有多多种氨基酸、酶、维生素、糖类、核苷酸等,它可促进植物根系生长,降低叶片气孔的开张度,增加植物的抗旱能力,本研究中其作用效果仅次于螯合氨基酸(A),由于气孔是叶面肥进入叶内的主要通道之一,气孔的开张度的降低在一定程度上影响了该叶面肥的效率。该叶面肥适于在干旱地区苹果生产上应用。痘丽净(D)为生物型叶面肥,也有刺激作物

生长、促进作物代谢的功能,并能减轻和预防病害的发生,本研究中其作用效果是功能型叶面肥中最差的,可能与其生物活性物质的含量与钙含量配比有关。螯合氨基酸(A)、羟基钾锌钙(Q)为氨基酸类叶面肥,有刺激作物生长、促进作物代谢、提高作物自身抗逆性等功能。本研究结果表明至贮藏 60 d 时,各钙剂中螯合氨基酸(A)处理下 SOD 活性降幅最小,且螯合氨基酸(A)处理下 CAT 含量显著高于其它处理与对照。车俊峰等在葡萄的不同生育期喷施螯合氨基酸钙液肥、腐植酸液肥和平衡营养肥后,也表明螯合氨基酸钙液肥效果最好^[20]。喷施螯合氨基酸钙的效果最好,这是因为络(螯)合剂是叶面肥配制中的一种助剂,可与金属离子形成络(螯)合物而增加金属离子的溶解性,复合态氨基酸钙肥通过叶片外层细胞的阻力较小也是肥效较好的另一重要原因。而羟基钾锌钙(Q)同为氨基酸类叶面肥,其作用效果较螯合氨基酸(A)处理差,可能是因为土壤基肥较足,叶面肥中有些元素不仅对作物没有作用,甚至还可能产生毒害,因此,要根据当地的根部土壤施肥的基础上有针对性的选择高效叶面肥,发挥其增产增收的作用。为了更好地保持果实品质,延长贮藏时间,可将螯合氨基酸作为首选叶面肥在苹果生产上应用。

参 考 文 献:

- [1] 申 琳,生吉萍,罗云波.运输中的机械损伤对贮藏初期苹果活性氧代谢的影响[J].中国农业大学学报,1999,4(5):107-110.
- [2] 郁松林,康喜亮,王果平.温度胁迫下果树膜系统变化及其修复机制研究进展[J].石河子大学学报,2005,23(4):477-481.
- [3] 张 倩,何 婧,王 桢,等.中华芦荟在不同胁迫下的丙二醛和可溶性糖含量的变化[J].西南民族大学学报,2009,35(2):290-292.
- [4] 刘树英,安 伟,徐欣惟,等.中国沙棘叶中几种酶活性测定[J].吉林农业大学学报,2009,31(5):584-586.
- [5] 陈见晖,周 卫.苹果缺钙对果实钙组分、亚细胞分布与超微结构的影响[J].中国农业科学,2004,37(4):572-576.
- [6] 刘会超,姚连芳,韩振海.钙对苹果果实发育及果肉细胞超微结构的影响[J].植物营养与肥料科学,2004,10(4):419-423.
- [7] 刘剑锋,程云清,彭抒昂.采后钙处理对梨果实钙的形态和果胶及相关代谢酶类影响的研究[J].热带亚热带植物学报,2005,13(5):408-412.
- [8] 陈见晖,周 卫.钙对苹果果实过氧化物酶、 β -1,3-葡聚糖合成酶和 β -1,3-葡聚糖分解酶活性的影响[J].中国农业科学,2004,37(3):400-405.
- [9] 毕 阳,刘红霞.钙对果蔬采后腐烂的控制及作用[J].甘肃农业大学学报,2000,35(1):1-5.
- [10] 李天来,吕双双,吴志刚,等.硝酸钙对网纹甜瓜果实成熟衰老相关生理因素的影响[J].沈阳农业大学学报,2009,24(2):122-127.
- [11] Holb I J, Balla B, Vámos A, et al. Influence of preharvest calcium applications, fruit injury, and storage atmospheres on postharvest brown rot of apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 67(5):29-36.
- [12] 张广燕,刘云强,张 平,等.浸钙对黑宝石李果实生理生化指标的影响[J].食品科学,2009,30(6):268-271.
- [13] 杨金艳.苹果贮藏期果皮内花青苷的抗氧化性研究[J].临沂师范学院学报,2009,31(6):76-80.
- [14] 郑国华.钙处理对枇杷果实采后生理特性的研究[J].中国农学通报,2009,25(11):117-122.
- [15] 谢培荣,覃 皓,黄志乾,等.金秋梨幼果期钙处理对果实衰老相关生理的影响[J].中国农学通报,2009,25(21):82-85.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理及技术[M].北京:高等教育出版社,2000:165-167.
- [17] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导(第三版)[M].北京:高等教育出版,2003:123-124.
- [18] 林植芳,李双顺,张东林,等.采后荔枝果实中氧化和过氧化作用的变化[J].植物学报,1998,30(4):382-387.
- [19] 黄虹心,杨昌鹏,李 健.钙肥在果树生产上的应用[J].河北农业科学,2008,12(10):38-40.
- [20] 车俊峰,郭春会,高疆生,等.不同叶面肥在 3 个葡萄品种上的应用[J].西北农业学报,2010,19(11):141-144.