

桑果发育期生物活性物质含量及抗氧化酶活性的变化

刘和平^{1,2}, 张广明³, 胡会刚³, 黄新良⁴, 杨转英⁴

(1. 阳江职业技术学院食品与环境工程系, 广东阳江 529566) (2. 茂名市水果科学研究所, 广东茂名, 525000)
(3. 中国热带农业科学院亚热带作物研究所, 广东湛江 524091) (4. 广东海洋大学农学院, 广东湛江 524088)

摘要: 本研究探讨桑果发育期生物活性物质及抗氧化酶活性的变化规律。以3龄和5龄桑树果实为材料, 研究果实发育期总酚、总黄酮、酚酸、单宁、叶绿素及类胡萝卜素、花色苷、可溶性糖等生物活性物质及总抗氧化能力、抗氧化酶活性的变化。结果表明, 桑果在发育成熟过程中, 果肉内总酚、总黄酮、酚酸、单宁、花色苷和可溶性糖含量逐渐升高, 叶绿素a含量逐渐下降, 叶绿素b和类胡萝卜素含量先上升后下降; 整个发育期, 3龄树桑果果肉总黄酮和酚酸含量高于5龄树桑果, 但总酚、单宁和类胡萝卜素含量则低于5龄树桑果。果肉内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性先下降后上升, 过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性逐渐降低, 总抗氧化能力逐渐上升; 整个发育期, 3龄树桑果果肉内的SOD、CAT和PAL酶活性高于5龄树桑果, 但APX酶活性低于5龄树桑果, 5龄树桑果果肉的总抗氧化能力高于3龄树桑果。因此, 桑果果肉中生物活性物质及抗氧化酶活性变化规律与果实成熟度、树龄大小有关。在桑果发育过程中, 桑果果肉的总抗氧化能力不断提高, 在花后第25d达到最高。树龄越大的桑果总抗氧化能力越强。

关键词: 桑果; 生物活性物质; 抗氧化酶活性

文章编号: 1673-9078(2018)11-103-110

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.017

Changes in the Contents of Bioactive Substances and Activities of Antioxidant Enzymes during the Development of Mulberry Fruit

LIU He-ping^{1,2}, ZHANG Guang-ming³, HU Hui-gang³, HUANG Xin-liang⁴, YANG Zhuan-ying⁴

(1. Department of Food and Environmental Engineering, Yangjiang Polytechnic, Yangjiang 529566, China)

(2 Institute of Fruit Science in Maoming, Maoming 525000, China)

(3.South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China) (4. Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The changes in the contents of bioactive substances and the activities of antioxidant enzymes during the development of mulberry fruit were researched. The 3-year-old and 5-year-old mulberry fruits were used as the materials for the studies on the changes of the total phenolics, total flavonoids, phenolic acids, tannins, chlorophyll and carotenoids, anthocyanins, soluble sugar, total antioxidant capacity and antioxidant enzymes' activities. The obtained results showed that the total phenolics, total flavonoids, phenolic acids, tannins, anthocyanins and soluble sugar contents increased during the fruit development, while chlorophyll a decreased gradually. The contents of chlorophyll b and carotenoids increased firstly and then decreased during the fruit development. The 3-year-old fruit had higher contents of total flavonoids and phenolic acids but lower contents of total phenolics, tannins and carotenoids than the 5-year-old fruit. The activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and phenylalanine ammonialyase (PAL) in the fruit flesh decreased firstly and then increased. The activities of peroxidase (POD) and ascorbate peroxidase (APX) decreased gradually whilst the total antioxidant capacity increased gradually. Throughout the development period, the 3-year-old fruit had higher activities of SOD, CAT and PAL but lower APX activity and total antioxidant capacities, compared to the 5-year-old fruit. Therefore, the changes in the contents of bioactive substances and the activities of antioxidant enzymes were closely related to fruit maturity and tree age. During the development of mulberry fruit, the total antioxidant capacity of fruit flesh increased

收稿日期: 2018-05-16

基金项目: 2016年广东省“扬帆计划”博士后扶持项目; 2016年广东省高等职业教育专业领军人才培养对象项目; 广东省自然科学基金-粤东西北创新人才联合培养项目(2014A030307020)

作者简介: 刘和平(1976-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 园艺园林植物生理

通讯作者: 杨转英(1975-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果树生理与分子生物学

continuously and reached the highest on the 25th day after flowering. The older the mulberry tree, the higher the total antioxidant capacity of fruit was.

Key words: mulberry; bioactive substances; antioxidant enzyme

桑果,为桑科植物的果穗,每年4~6月为其采摘期。《本草纲目》等多种医药典籍记载,桑果性味甘寒,具有补肝益肾、生津润燥、乌发明目等功效。此外,桑果还含有丰富的维生素和Fe、Ca等矿物质元素及人体必需的18种氨基酸、果胶、无机盐类和紫红色色素等,其各种营养成分高于常见水果^[1]。近年来,国内外研究人员针对桑果中生物活性物质及其功效开展了相关研究,陈诚等^[2]指出桑果的主要活性物质包括花色苷、白藜芦醇、芦丁、多糖等,具有调节免疫、保护神经细胞、抗氧化、保护心脑血管系统、抗癌等多种药理活性。黄勇等^[3]研究表明桑果中多种活性成分具有调整机体免疫功能,促进造血细胞的生长、降糖、降脂、降血压等作用。现已被证实的生物活性物质主要包括糖类、氨基酸、维生素、酶类、胡萝卜素、酮和酚等11类,均具有抗氧化、抗癌、调节免疫等多种作用。本研究测定了不同树龄、不同采收时期桑果果肉总酚、总黄酮、酚酸、单宁、叶绿素及类胡萝卜素、花色苷的含量、总抗氧化能力及超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性、苯丙氨酸解氨酶(PAL)酶活性等,进一步分析了桑果发育过程中生物活性物质及抗氧化酶活性的变化规律,为开发桑果保健功能提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试桑葚树栽种于中国热带农业科学院南亚热带作物研究所优稀资源圃,选取3龄桑葚树和5龄桑葚树各5棵,分别于花后5 d、10 d、15 d和25 d(5 d~10 d为膨大期、10 d~15 d为转红期、15 d~25 d为成熟期)采样, -40 °C保存待测。

1.2 试验方法

1.2.1 生物活性物质含量的测定方法

总酚含量测定参考蔡文国等^[4]的方法,用每克鲜重样品含多少毫克当量没食子酸(GAE mg/g FW)表示。总黄酮含量测定参考游新侠等^[5]的方法,用每克鲜重样品含多少毫克当量芦丁(RE mg/g FW)表示。酚酸含量测定采用三氯化铁-铁氰化钾比色法^[6],以每克鲜重样品含多少毫克当量没食子酸(GAE

mg/g FW)表示。单宁含量测定参考李学强等^[7]的方法。叶绿素及类胡萝卜素含量测定采用乙醇浸泡法,利用 Arnon 公式计算出桑果叶绿素和类胡萝卜素含量。花色苷含量测定参照 Wrolstad 等^[8]采用 pH 差示法。可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法。

1.2.2 总抗氧化能力及抗氧化酶活性的测定方法

总抗氧化能力测定采用氧化还原法,试剂盒购于南京建成生物工程研究所。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定参照 Giannopolitis 和 Ries 等^[9]的方法,略有修改,酶活性单位采用抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原50%为一个酶活性单位。过氧化氢酶(CAT)活性测定参照曾韶西等^[10]的方法,略有修改,以OD₂₄₀每分钟减少0.1为一个酶活性单位(U)。过氧化物酶(POD)活性测定参照 Macadam 等^[11]的方法,以每克果肉每分钟OD₄₇₀变化0.01为一个酶活单位(U),以酶的比活力(0.01 ΔOD/g FW min)表示其活性变化。抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性测定参照 Nakano 等^[12]的方法,以OD₂₉₀每分钟下降0.01为1个酶活力单位(U),酶的活性以U/g FW表示。苯丙氨酸解氨酶(PAL)酶活性测定参照 Wang 等^[13]的方法,以OD₂₉₀变化0.01为一个酶活单位。

2 结果与讨论

2.1 桑果发育期果肉生物活性物质的变化

2.1.1 总酚含量的变化

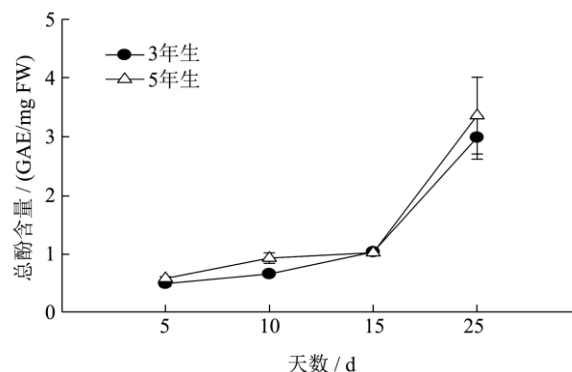


图1 桑果发育期果肉总酚含量的变化

Fig.1 The changes of total phenol contents in mulberry fruit with its development

由图1可以看出,随着果实的发育,3龄树和5龄树桑果果肉总酚含量均呈增长趋势。膨大期和转红

期的增长速率较慢, 3 龄树果肉总酚含量从 0.49 mg/g FW 增长到 1.03 mg/g FW, 增长了 2.09 倍, 5 龄树则从 0.58 mg/g FW 增长到 1.02 mg/g FW, 增长了 1.75 倍。进入成熟期, 增长速率加快, 3 龄树果肉总酚含量从 1.03 mg/g FW 增长到 2.99 mg/g FW, 增长了 2.89 倍, 5 龄树则从 1.02 mg/g FW 增长到 3.36 mg/g FW, 增长了 3.28 倍。在整个发育过程中, 5 龄树与 3 龄树桑果果肉的总酚增长速率比较接近, 但 5 龄树各阶段总酚含量一直略高于 3 龄树。结果表明, 随着果实的发育, 桑果果肉中总酚在成熟期合成速率最快, 树龄大的桑果总酚合成能力强。与殷浩^[14]等的研究结果相似。

2.1.2 总黄酮含量的变化

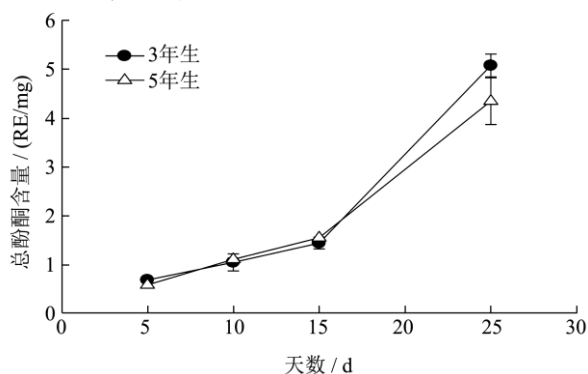


图2 桑果发育期果肉总黄酮含量的变化

Fig.2 The changes of total flavone contents in mulberry fruit with its development

由图 2 可以看出, 桑果在发育过程中果肉总黄酮含量呈增长趋势, 但不同发育期增长速率不同。膨大期和转红期增长速率慢, 3 龄树果肉总黄酮含量从 0.68 RE mg/g FW 增长到 1.43 RE mg/g FW, 增长了 2.11 倍, 5 龄树则从 0.58 RE mg/g FW 增长到 1.43 RE mg/g FW, 增长了 2.48 倍。进入成熟期, 总黄酮含量的增长速率变大, 3 龄树果肉总黄酮含量从 1.43 RE mg/g FW 增长到了 5.07 RE mg/g FW, 增长了 3.53 倍, 5 龄树则从 1.54 RE mg/g FW 增长到了 4.34 RE mg/g FW, 增长了 2.81 倍。花后 15 d 内, 即果实膨大期和转红期, 3 龄树和 5 龄树桑果果肉总黄酮含量基本保持一致; 接近成熟阶段, 3 龄树桑果果肉总黄酮含量比 5 龄树高。结果表明, 桑果果肉的总黄酮在成熟期合成速率最快, 且成熟阶段树龄小的桑果有利于合成总黄酮。

2.1.3 酚酸含量的变化

由图 3 可以看出, 桑果在发育过程果肉酚酸含量呈现平稳上升趋势。花后 15 d 内, 即膨大期和转红期, 3 龄树桑果果肉酚酸含量从 1.78 GAE mg/g FW 增长到 2.23 GAE mg/g FW, 增长了 1.25 倍, 5 龄树则从

0.90 GAE mg/g FW 增长到 1.11 GAE mg/g FW, 增长了 1.23 倍, 转红期增长速率略大于膨大期。桑果在成熟期的酚酸合成速率加快, 3 龄树桑果果肉酚酸含量从 2.23 GAE mg/g FW 增长到 3.86 GAE mg/g FW, 增长了 1.73 倍, 5 龄树则从 1.11 GAE mg/g FW 增长到 2.17 GAE mg/g FW, 增长了 1.96 倍。整个发育过程, 3 龄树桑果果肉酚酸含量均高于 5 龄树, 且随着桑果的生长发育, 相差越来越大。结果表明, 随着果实的发育, 桑果果肉中酚酸含量及增长速率均缓慢提升, 树龄越大, 桑果酚酸的合成能力越弱。

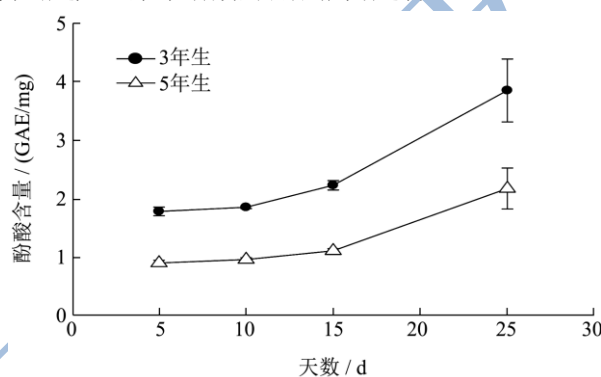


图3 桑果发育期果肉酚酸含量的变化

Fig.3 The changes of total phenolic acid contents in mulberry fruit with its development

2.1.4 单宁含量的变化

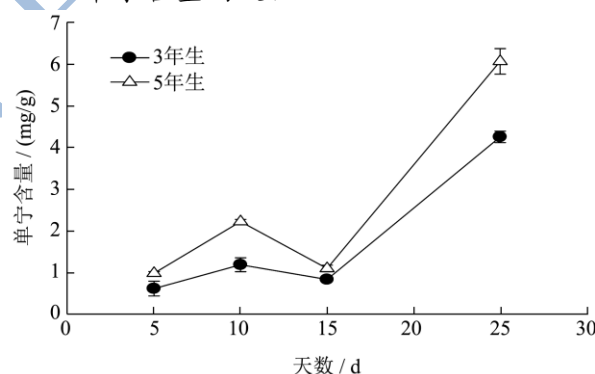


图4 桑果发育期果肉单宁含量的变化

Fig.4 The changes of total tannin contents in mulberry fruit with its development

由图 4 可以看出, 随着桑果的发育, 3 龄树和 5 龄树桑果果肉单宁含量呈现“升-降-升”的变化规律。即膨大期桑果果肉单宁含量上升, 转红期桑果果肉的单宁含量下降, 成熟期桑果果肉的单宁含量又上升。膨大期的 3 龄树桑果果肉单宁含量增长到 1.18 mg/g 的高峰后下降到 0.83 mg/g, 5 龄树桑果果肉的单宁含量则增长到了 2.22 mg/g 的高峰后下降到 1.09 mg/g; 成熟期 3 龄树桑果果肉的单宁含量增长到 4.25 mg/g, 5 龄树桑果则增长到 6.06 mg/g。在桑果整个发育过程中, 5 龄树桑果果肉单宁含量一直比 3 龄树的高。结

果表明, 桑果膨大期, 其单宁合成速率加强且大于消耗; 转红期, 其单宁消耗加强且大于合成; 在桑果成熟阶段, 单宁的含量又出现了增长的趋势, 且增长的速率明显大于膨大期。故桑果果肉中单宁在成熟期合成速率最快, 树龄大的桑果单宁合成能力强。

2.1.5 叶绿素及类胡萝卜素含量的变化

2.1.5.1 叶绿素 a

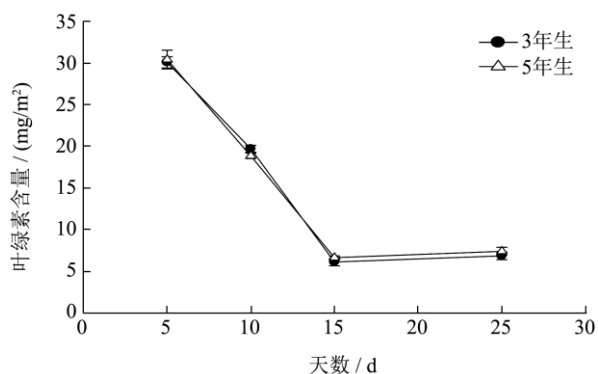


图5 桑果发育期果肉叶绿素 a 含量的变化

Fig.5 The changes of chlorophyll-a contents in mulberry fruit with its development

桑果在膨大和转红过程中需要消耗叶绿素 a, 外观上桑葚的颜色也是从浓绿色慢慢变淡再转为红色, 最后趋于紫黑色。由图 5 可以看出, 在发育过程中, 桑果果肉叶绿素 a 含量快速下降后趋于稳定。在膨大期和转红期, 3 龄树果肉叶绿素 a 含量从 30.06 mg/g FW 下降到 6.08 mg/g FW, 为开始时的 20.21%, 5 龄树桑果则从 30.40 mg/g FW 下降到 6.6 mg/g FW, 为开始时的 21.71%。成熟期桑果果肉叶绿素 a 的含量稍有增长。在桑果发育的整个过程中, 3 龄树和 5 龄树桑果果肉叶绿素 a 含量、变化趋势、变化速率都基本一致。

2.1.5.2 叶绿素 b

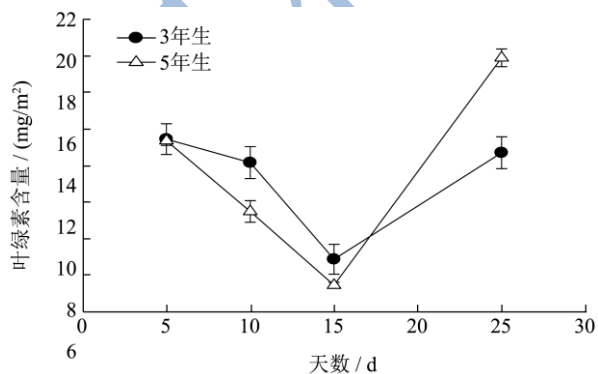


图6 桑果发育期果肉叶绿素 b 含量的变化

Fig.6 The changes of chlorophyll-b contents in mulberry fruit with its development

由图 6 可以看出, 在发育过程中, 桑果果肉叶绿素 b 含量先下降后上升。在膨大期和转红期, 3 龄树

桑果果肉叶绿素 b 含量从 15.43 mg/g FW 下降到 8.85 mg/g FW, 5 龄树桑果果肉叶绿素 b 含量则从 15.35 mg/g FW 下降到 7.43 mg/g FW。由此可以看出, 膨大和转红期桑果果肉叶绿素 b 不断消耗的, 且 5 龄树的下降速率要大于 3 龄树。成熟期 3 龄树桑果果肉叶绿素 b 含量上升到 14.68 mg/g FW, 5 龄树桑果果肉的叶绿素 b 含量上升到 19.89 mg/g FW, 5 龄树的生长速率大于 3 龄树。结果表明, 叶绿素 b 合成速率在成熟期快速上升, 树龄大的桑果在成熟期合成叶绿素 b 的能力强。叶绿素含量变化规律与刘长英^[15]等研究结论一致。

2.1.5.3 类胡萝卜素

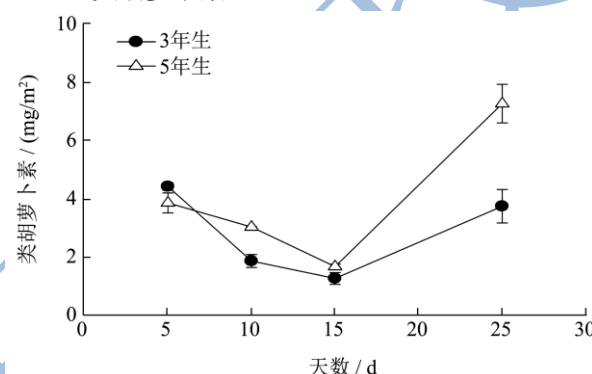


图7 桑果发育期果肉类胡萝卜素的含量变化

Fig.7 The changes of carotenoid contents in mulberry fruit with its development

由图 7 可以看出, 在发育过程中, 桑果果肉类胡萝卜素含量先下降后上升。膨大期和转红期, 3 龄树果肉类胡萝卜素含量从 4.42 mg/g FW 下降到 1.27 mg/g FW, 5 龄树果肉类胡萝卜素含量则从 3.86 mg/g FW 下降到 1.67 mg/g FW。3 龄树果肉类胡萝卜素含量下降速率要大于 5 龄树。成熟期 3 龄树果肉类胡萝卜素含量从 1.27 mg/g FW 增长到 3.74 mg/g FW, 5 龄树果肉类胡萝卜素含量则从 1.67 mg/g FW 增长到 7.26 mg/g FW, 5 龄树增长速率大于 3 龄树。结果表明, 桑果的类胡萝卜素合成速率在成熟期快速上升, 树龄大的桑果在成熟期合成类胡萝卜素的能力强。

2.1.6 花色素苷含量的变化

由图 8 可以看出, 发育过程中的桑果果肉花色素苷含量先基本不变后突然上升。在膨大期和转红期, 3 龄树果肉花色素苷含量从 0 mg/g 增长到了 0.11 mg/g, 5 龄树果肉花色素苷则从 0 mg/g 增长到 0.03 mg/g, 增长量非常小。到了成熟期, 增长速率突然加快。3 龄树果肉花色素苷含量增长到了 1.38 mg/g, 5 龄树则增长到 1.39 mg/g。在整个发育过程中, 3 龄树和 5 龄树桑果果肉花色素苷含量、变化趋势都基本一致。结果表明, 桑果在膨大期和转红期果肉中花色素苷合成非

常少,但成熟期大幅上升,因此果实颜色向紫黑色变化,树龄对于桑果果肉花色苷的代谢没有影响。与刘长英等^[15]研究结论一致。

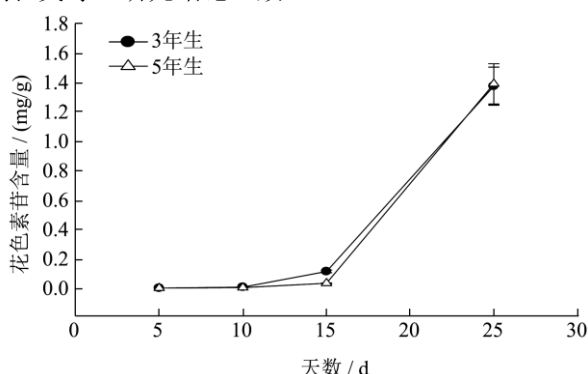


图8 桑果发育期果肉花色苷含量的变化

Fig.8 The changes of anthocyanin glycoside contents in mulberry fruit with its development

2.1.7 可溶性糖含量的变化

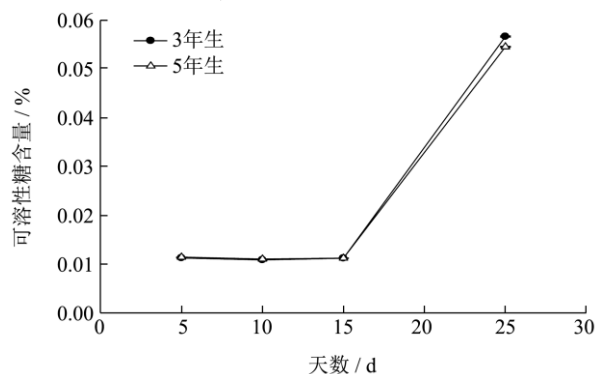


图9 桑果发育期果肉可溶性糖含量的变化

Fig.9 The changes of soluble sugar contents in mulberry fruit with its development

糖是果实中最重要也是最广泛存在的生物活性物质,对于人体的抗氧化、抗衰老、抗肿瘤、降低血糖以及提高免疫力有着重要的作用^[16]。

由图9可以看出,发育过程中桑果果肉可溶性糖含量先不变后上升。膨大期和转红期桑果果肉可溶性糖含量维持在0.0111%~0.0112%之间,基本没有变化。成熟期,果肉可溶性糖含量大幅度升高。3龄树果肉可溶性糖含量上升到了0.06%,5龄树果肉可溶性糖含量则上升到了0.05%。在发育的整个阶段,3龄树和5龄树桑果果肉可溶性糖含量基本保持一致。结果表明,桑果果肉中可溶性糖的变化规律和花色苷基本一致,在膨大期和转红期含量稳定,成熟期突然上升,且树龄对于桑果糖的代谢没有影响。不同的是果实膨大之前就已经含有可溶性糖。

2.2 桑果发育期果肉抗氧化酶活性的变化

2.2.1 总抗氧化能力

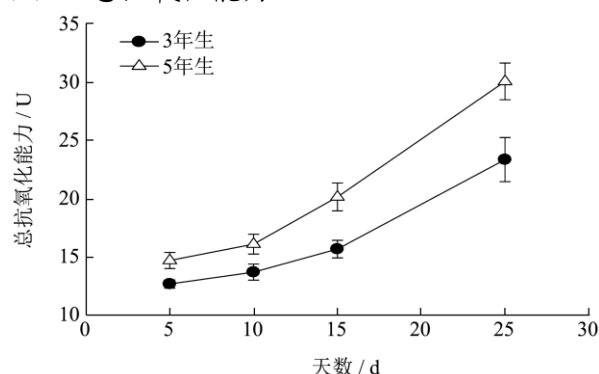


图10 桑果发育期果肉总抗氧化能力的变化

Fig.10 The changes of total antioxidant capacity in mulberry fruit with its development

由图10可以看出,随着桑果的发育,果肉总抗氧化能力不断提高,越接近成熟,其总抗氧化能力越强。在桑果发育整个过程中,5龄树桑果果肉总抗氧化能力比3龄树强,越接近成熟,两者相差越大。树龄越大的桑果总抗氧化能力比越强。

2.2.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化

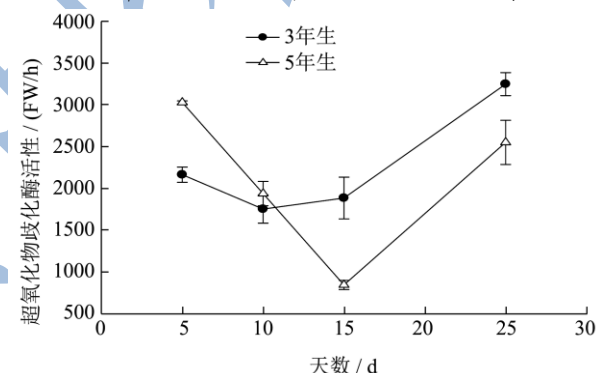


图11 桑果发育期果肉超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化

Fig.11 The changes of the activity of superoxide dismutase in mulberry fruit with its development

由图11可以看出,发育过程中桑果果肉SOD活性呈现先下降后上升的趋势。转红期3龄树果肉SOD活性增强,但5龄树果肉SOD活性继续下降。5龄树桑果果肉SOD活性无论是下降趋势还是上升趋势,其速率均比3龄树都要快。

2.2.3 过氧化氢酶(CAT)活性的变化

由图12可以看出,发育过程中桑果果肉CAT活性呈现先下降后上升的趋势。

膨大期桑果果肉CAT活性下降速率快,转红期变化小,成熟期桑果果肉CAT活性上升。在转红期和成熟期,3龄树和5龄树桑果果肉CAT活性相近,而膨大期3龄树桑果果肉CAT活性大于5龄树。即树龄大的桑果果肉CAT活性弱。

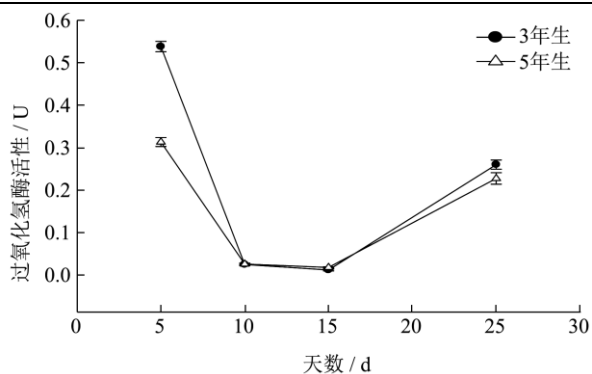


图 12 桑果发育期果肉过氧化氢酶 (SOD) 活性变化

Fig.12 The changes of the activity of superoxide dismutase in mulberry fruit with its development

2.2.4 过氧化物酶 (POD) 活性的变化

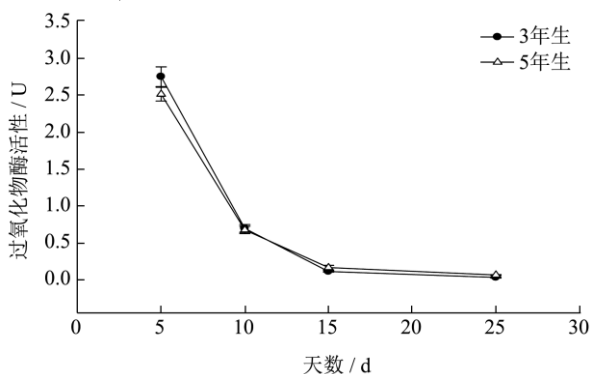


图 13 桑果发育期果肉过氧化物酶 (POD) 活性的变化

Fig.13 The changes of the activity of peroxidase in mulberry fruit with its development

由图 13 可以看出,发育过程中桑果果肉 POD 活性呈现下降趋势,下降速率随着桑果的发育而降低。整个发育过程中,3 龄树和 5 龄树桑果果肉 POD 活性基本一致。

2.2.5 抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性的变化

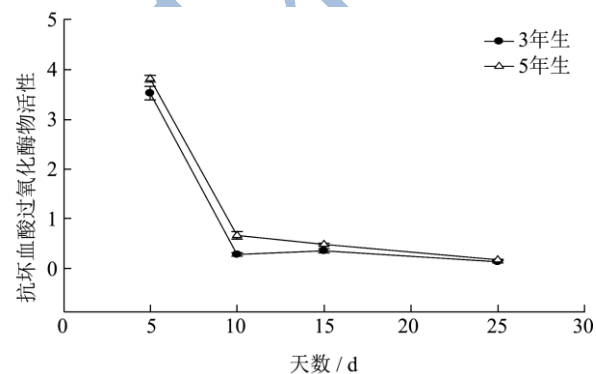


图 14 桑果发育期果肉抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性的变化

Fig.14 The changes of the activity of ascorbate peroxidase in mulberry fruit with its development

由图 14 可以看出,发育过程中桑果果肉 APX 活性呈现出快速下降后缓慢下降的趋势。桑果果肉 APX

活性在膨大期下降非常快,转红期和成熟期下降缓慢。整个发育期 5 龄树桑果果肉 APX 活性要比 3 龄树高。即树龄大的桑果果肉 APX 活性稍强。

2.2.6 苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 酶活性的变化

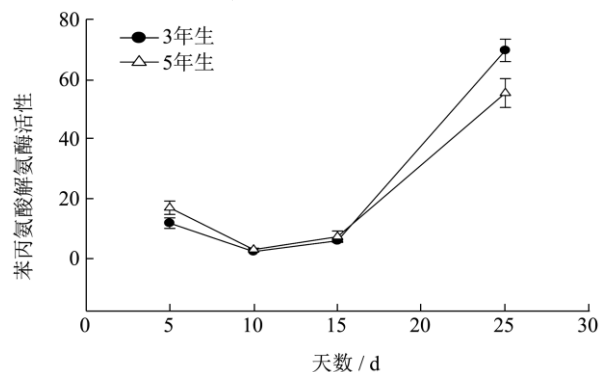


图 15 桑果发育期果肉苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性的变化

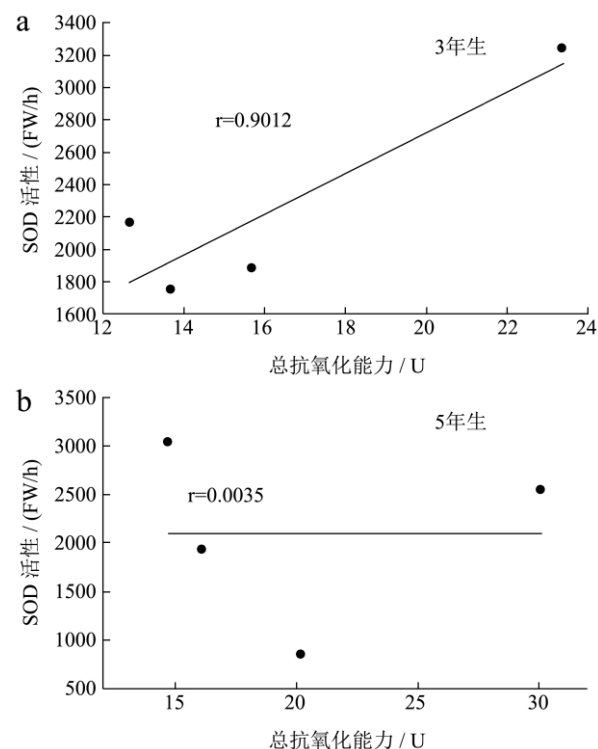
Fig.15 The changes of the activity of phenylalanine ammonia-lyase in mulberry fruit with its development

由图 15 可以看出,发育过程中桑果果肉 PAL 活性呈现先下降后上升的趋势。

果肉 PAL 活性在膨大期下降,转红期缓慢上升,成熟期大幅上升。膨大期和转红期 5 龄树桑果果肉 PAL 活性大于 3 龄树,但成熟期 3 龄树桑果果肉 PAL 活性却大于 5 龄树。即树龄大的成熟桑果果肉 PAL 活性弱。

2.3 各抗氧化酶活性与总抗氧化能力之间的

相关性



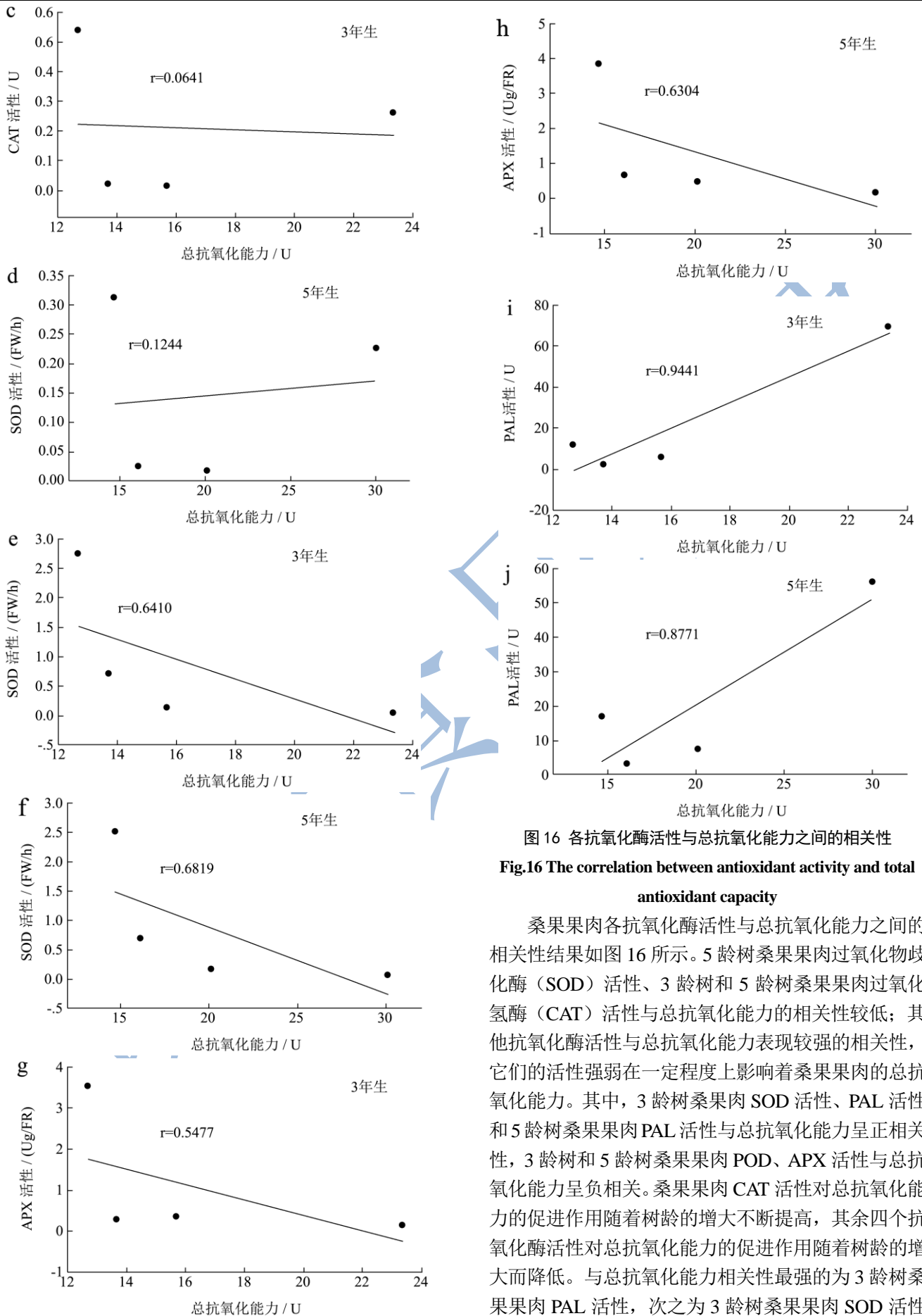


图 16 各抗氧化酶活性与总抗氧化能力之间的相关性

Fig.16 The correlation between antioxidant activity and total antioxidant capacity

桑果果肉各抗氧化酶活性与总抗氧化能力之间的相关性结果如图 16 所示。5 龄树桑果果肉过氧化物歧化酶 (SOD) 活性、3 龄树和 5 龄树桑果果肉过氧化氢酶 (CAT) 活性与总抗氧化能力的相关性较低; 其他抗氧化酶活性与总抗氧化能力表现较强的相关性, 它们的活性强弱在一定程度上影响着桑果果肉的总抗氧化能力。其中, 3 龄树桑果果肉 SOD 活性、PAL 活性和 5 龄树桑果果肉 PAL 活性与总抗氧化能力呈正相关性, 3 龄树和 5 龄树桑果果肉 POD、APX 活性与总抗氧化能力呈负相关。桑果果肉 CAT 活性对总抗氧化能力的促进作用随着树龄的增大不断提高, 其余四个抗氧化酶活性对总抗氧化能力的促进作用随着树龄的增大而降低。与总抗氧化能力相关性最强的为 3 龄树桑果果肉 PAL 活性, 次之为 3 龄树桑果果肉 SOD 活性

和5龄树桑果果肉PAL活性。POD和APX活性相关性接近。

3 结论

3.1 桑果发育期果肉生物活性物质的变化规律

桑果果肉中生物活性物质变化规律与果实成熟度有关。本文测定了桑果果肉中总酚、黄酮、酚酸、单宁、叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素、花色苷及可溶性糖等生物活性物质,其中总酚、黄酮及酚酸随着果实发育,含量不断增加,故推测它们与果实发育的关系更密切。

桑果果肉中生物活性物质变化规律与树龄大小也有关。树龄大的成熟桑果果肉中总酚含量高,而酚酸、黄酮含量却是树龄小的含量高,具体机理还有待进一步研究。

3.2 桑果发育期果肉抗氧化酶活性的变化规律

桑果果肉的抗氧化酶活性变化规律与果实成熟度有关。与桑果成熟度在桑果发育过程中,果肉内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性先下降后上升;过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性逐渐降低;总抗氧化能力逐渐上升。

桑果果肉的抗氧化酶活性变化规律与树龄也有关。树龄越大,成熟桑果果肉的SOD、CAT、PAL活性弱,APX活性与总抗氧化能力强,但不同树龄之间的桑果果肉POD活性相差不大。

参考文献

- [1] 张志强,杨清香,孙来华.桑葚的开发及利用现状[J].中国食品添加剂,2009,4:65-68
ZHANG Zhi-qiang, YANG Qing-xiang, SUN Lai-hua. Presentsituation of exploitation and application of mulberry [J]. China Food Additives, 2009, 4: 65-68
- [2] 陈诚,李洪波,杨欣,等.中药桑椹活性物质的研究进展[J].中药材,2010,33(10):1660-1663
CHEN Cheng, LI Hong-bo, YANG Xin, et al. Research progress on active components in mulberry fruit [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2010, 33(10): 1660-1663
- [3] 黄勇,张林,赵卫国,等.桑椹的化学成分及药理作用研究进展[J].广西蚕业,2006,43(3):15-19
HUANG Yong, ZHANG Lin, ZHAO Wei-guo, et al. Research progress on the chemical components and pharmaceutical action of mulberry fruit [J]. Guangxi Sericulture, 2006, 43(3): 15-19
- [4] 蔡文国,吴卫,代沙,等.不同种质鱼腥草总酚、黄酮含量及其抗氧化活性[J].食品科学,2013,34(7):42-46
CAI Wen-guo, WU Wei, DAI Sha, et al. Total phenol and favonoid contentss and antioxidant activity of *Houttuynia cordata* thumb [J]. Food Science, 2013, 34(7): 42-46
- [5] 游新侠,仇农学.超声波辅助提取荆芥叶总黄酮的方法研究[J].西北农业学报,2006,15(1):152-155
YOU Xin-xia, QIU Nong-xue. Study on extraction of total flavone from fineleaf schizonepeta herb by ultrasonic wave [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2006, 15(1): 152-155
- [6] 曹冬,黄喜茹,刘伟娜,等.复方丹参注射液中水溶性酚酸总量的测定[J].河北化工,2005,5:72-73
CAO Dong, HUANG Xi-ru, LIU Wei-na, et al. Determination of the total components of water-soluble phenolic acidity in compound danshen injections [J]. Hebei Chemical Industry, 2005, 5: 72-73
- [7] 李学强,李秀珍.成熟欧李果肉单宁提取条件的优化[J].生物学通报,2009,44(2):46-48
LI Xue-qiang, LI Xiu-zhen. Optimization of extraction conditions of tannin from ripened european plums [J]. Bulletin of Biology, 2009, 44(2): 46-48
- [8] Wrolstad R E, Culbertson J D, Cornwell C J, et al. Detection of adulteration in blackberry juice concentrates and wines [J]. J Assoc off Anal Chem. 1982, 65(6): 1417-1423
- [9] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I.Occurrence in higher plants [J]. Plant Physiology, 1977, 59(2): 309-14
- [10] 曾韶西,王以柔,刘鸿先.低温光照下与黄瓜子叶叶绿素降低有关的酶促反应[J].植物生理学报,1991,17(2):177-182
ZENG Shao-xi, WANG Yi-rou, LIU Hong-xian. Some enzymatic reactions related to chlorophyll degradation in cucumber cotyledons under chilling in the light [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1991, 17(2): 177-182
- [11] Macadam J W, Nelson C J, Sharp R E. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: I. spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone [J]. Plant Physiology, 1992, 99(3): 872-878
- [12] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by

- ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. *Plant & Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867-880
- [13] Wang Y, Chen J Y, Jiang Y M, et al. Cloning and expression analysis of phenylalanine ammonia-lyase in relation to chilling tolerance in harvested banana fruit [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2007, 44(1): 34-41
- [14] 殷浩, 佟万红, 王振江, 等. 桑椹成熟过程中部分活性成分的含量变化[J]. *蚕业科学*, 2011, 37(6): 1106-1110
YIN Hao, TONG Wan-Hong, WANG Zhen-Jiang, et al. Contents variation of active components in mulberry fruit during maturation [J]. *Science of Sericulture*, 2011, 37(6): 1106-1110
- [15] 刘长英, 李军, 赵爱春, 等. 桑椹发育中花青素、叶绿素含量变化及相关基因的表达分析[J]. *林业科学*, 2014, 50(9): 59-66
Liu Chang-ying, Li Jun, Zhao Ai-chun, et al. Changess of anthocyanin and chlorophyll contents, and expression levels of related genes during development process of mulberry fruit [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(9): 59-66
- [16] 陈佩, 李平, 郝艳宾, 等. 柿果成熟过程中可溶性果胶和单宁含量的变化[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(1): 88-92
CHEN Pei, LI Ping, HAO Yan-bin, et al. The changes of soluble pectin and tannic during maturation of persimmon fruit [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(1): 88-92
- [17] 董亮, 何永志, 王远亮, 等. 超氧化物歧化酶(SOD)的应用研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2013, 15(5): 53-58
DONG Liang, HE Yong-zhi, WANG Yuan-liang, et al. Research progress on application of superoxide dismutase (SOD) [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(5): 53-58
- [18] 杨佳栋, 魏凤菊, 潘新新, 等. 动物过氧化氢酶(CAT)的研究进展. *黑龙江畜牧兽医* [J], 2016, 7: 59-62
YANG Jia-dong, WEI Feng-ju, PAN Xin-xin, et al. Research process of animal catalase (CAT) [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2016, 7: 59-62