

文章编号:1007-4961(2006)03-0311-05

# 酚类物质与果树组织培养、果实品质及抗逆性的关系

张 燕, 张国强, 张鹏飞, 张 进, 范宏伟

(信阳农业高等专科学校 园艺林学系, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 酚类物质是果树体内的一种次生代谢物质, 它有着重要的生理功能。本文主要在3个方面综述了有关内容的研究进展: 第一, 酚类物质与果树组织培养的关系; 第二, 酚类物质与果实品质的关系; 第三, 酚类物质与果树抗逆性的关系。并且提出了该研究领域今后的发展方向。

**关键词:** 酚类物质; 果树; 组织培养; 果实品质; 抗逆性

**中图分类号:** S 66; Q 946.82

**文献标识码:** A

## The relation between phenols and some characteristics of fruit trees

ZHANG Yan, ZHANG Guo-qiang, ZHANG Peng-fei, ZHANG Jin, FAN Hong-wei

(Department of Horticulture and Forestry, Xinyang Agricultural College, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** Phenols are secondary metabolic substance. They have important physiological functions. This essay discussed the research progress of the related contents in three aspects as follows. The first was the relation between phenols and tissue culture in fruit trees. The second was the relation between phenols and quality of fruits. The third was the relation between phenols and hardiness of fruit trees. At last, the development orients in this research field were put forward.

**Key words:** phenols; fruit trees; tissue culture; fruit quality; hardiness

近几年来,植物来源的生理活性物质的研究开发已成为国际热门,此类物质有多糖类、维生素类、天然色素类以及酚类物质<sup>[1]</sup>。尤其是植物酚类物质,它在植物体内种类甚多,分布极广且含量丰富。该类物质是碳水化合物代谢的衍生物,常被称为次生植物物质。大多数酚类物质的生物合成均来自共同的前体物质苯丙氨酸和莽草酸。而类黄酮分子中一个芳香环及其C<sub>3</sub>侧链也来自苯丙氨酸,其他部分由乙酰辅酶A经聚酮途径而产生<sup>[2]</sup>。酚类物质的共同结构特点是均含有带羟基的苯环结构,其苯环有一个或多个。苯环上的羟基或其他修饰基团的数目和位置因种类而异<sup>[3]</sup>。人们已经逐渐认识到酚类物质并不是不起任何作用的惰性物质,而是有着很多生理功能,参与许多代谢活动的活性物质。现在国内外对酚类物质的研究十分活跃,内容涉及也十分广泛。本文仅就酚类物质与果树组织培养、果实品质、抗逆性之间的关系综述如下。

## 1 酚类物质与果树组织培养

### 1.1 酚类物质与果树组织培养中的褐变现象

在组织培养过程中存在褐化现象的果树主要有:银杏、猕猴桃、苹果、梨、桃、板栗、无花果、葡萄、核桃、柿以及香蕉、油橄榄、龙眼等<sup>[4]</sup>。果树组织培养过程中的褐变现象已经成为影响组培成功的重要因素。褐变现象主要是由于多酚氧化酶(PPO)作用于天然底物酚类物质而引起的<sup>[5]</sup>。即多酚氧化酶催化酚类物质形成醌和水,醌又再经非酶促聚合,形成深色物质,并对外植体材料产生毒害作用,从而使之死亡<sup>[6]</sup>。

1.1.1 酚类物质的毒害作用 酚类物质可以在3个方面对细胞产生毒害作用<sup>[7]</sup>: (1)与蛋白质或酶发生氢键缔合; (2)与许多金属离子如Fe<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>等络合,而这些离子都和许多酶的生理活性甚至植物许多细胞结构和功能物质有密切关系。若这些离子被结合,则酶活性可能受到抑制或促进;细胞结构也可

收稿日期:2005-12-05;修改稿收期:2006-04-13

作者简介:张 燕(1979-),女,硕士,信阳农业高等专科学校园艺林学系任教。主要从事园艺植物组织培养等教学及科研工作。

能受到破坏。(3)酚的氧化产物醌的化学性质更为活泼,不但能在非酶促条件下发生自我聚合,还极易与含有羟基、氨基和巯基之类的化合物发生反应。这些毒害作用往往会使外植体丧失某些生理功能,最终死亡。

1.1.2 果树组织培养中防止褐变发生的方法 防止褐变的措施很多,如增加转接次数来减少醌类物质对培养的毒害作用<sup>[7]</sup>。李焕秀等在不同梨品种多酚氧化酶活性和总酚含量低的时期取材,可以减少褐变的发生<sup>[8]</sup>。此外理论上讲如果将褐变反应中的底物酚类物质保护起来或将它吸附掉,即使再有高的酶活性也不会发生褐变。在这方面宋平和沈丙辉研究了活性炭抑制褐变的作用;由于PVP(聚乙烯吡咯烷酮)在生化分离制备中常用作酚类物质和细胞器的保护剂,于是人们研究了PVP防止褐变的效果。但由于酚类物质种类很多,且PVP也有不同的分子量,因此防止褐变的效果对PVP说法不一,以后需要进一步加强研究<sup>[7]</sup>。还有加入抗氧化剂和蛋白质、氨基酸、多胺、亚硫酸氢钠等其他PPO活性抑制剂来防止褐变的发生,以及改善组培苗生长的培养基、培养瓶、培养室环境等以达到防止褐变发生的目的<sup>[9-14]</sup>。

## 1.2 酚类物质与果树组培苗生根

与组培苗生根密切相关的激素为IAA。已有许多研究指出:酚类物质对果树体中IAA合成与氧化分解的有关酶系统以及IAA的运输产生影响<sup>[15]</sup>。酚类物质能促进或抑制IAA侧链的氧化:卢丁(rutin)、槲皮酮(quercetin)及咖啡酸衍生物等酚类(二元酚类, diphenols)均是IAA氧化酶的抑制剂,可抑制IAA的分解;香豆酚的衍生物如对-羟基苯甲酸和莽草酸(单元酚类, monophenols)等则是IAA氧化酶的活化剂,可加速IAA的氧化分解<sup>[16,17]</sup>。另外,如绿原酸等一些邻二元酚类是IAA氧化酶的更好的氧化底物,可起到IAA保护剂的作用<sup>[18]</sup>。由此可以推论:植物体内单元酚类与二元酚类的比例M/D(monophenols/diphenols)可以调节植物体内IAA的水平:M/D值高,IAA氧化酶活性高,IAA水平降低;M/D值低,IAA氧化酶活性低,IAA积累多,体内IAA水平高,导致了促进细胞伸长、引起植物生长的生理效应<sup>[19,20]</sup>。酚类物质对IAA的运输有影响,阿魏酸可增强IAA向基部运输,而香豆素则加强向顶部运输;对-香豆素可以延缓邻氨基苯甲酸合成色氨酸的速度,故对IAA的合成也会产生影响<sup>[21]</sup>。

这些仅仅说明了外源酚类物质定性地影响IAA的水平,而外植体当时所含内源酚类物质是什么水

平,两者之间如何相互作用,是相互叠加,还是相互抑制,来共同影响IAA水平,仍没有这方面的报道。但人们对组培苗生根的研究已经深入到了分子水平。有研究表明:核桃组培苗生根极其困难,其主要原因之一是插条中含有较多的类黄酮类酚类化合物,而类黄酮可能是植物体内IAA极性运输及IAA自细胞内输出的天然抑制剂。而类黄酮类物质的合成是受查耳酮合成酶的控制<sup>[22]</sup>。Eluch和Jay-Allemand将查耳酮反义基因转入了核桃的体胚中,再生植株表现类黄酮类物质的减少,在微繁新梢中检测不到栝苷、杨梅苷、花青苷等物质。在生根试验中,转基因新梢表现对外源生长素敏感,生根能力强增强<sup>[23]</sup>。

## 2 酚类物质与果实品质

对于酚类物质与果实品质的关系,研究较多的有苹果、梨、桃、葡萄、荔枝、香蕉等水果。酚类物质种类很多,其中苯丙烷类衍生物中水溶性酚(肉桂酸、香豆酸、绿原酸、咖啡酸)和水不溶酚(水溶性单宁,水不溶单宁,木质素)与果实品质的关系最为密切。如石细胞的形成、细胞壁的木质化、果实的组织褐变都与之有关<sup>[3]</sup>。

### 2.1 酚类物质与果实的鲜食品质

2.1.1 酚类物质与果实食用品质 梨果实区别于其他果实的最大特点是其果实中存在大量的石细胞,这使梨果实食用品质除含糖含量、糖酸比和香气成分的影响之外,还与果肉质地、石细胞的大小和多少有关。果肉中石细胞团越多越大,对果实品质影响也越大。而石细胞的形成和分布与木质素的形成和分布有关。因此,在梨果实中酚类物质代谢十分旺盛,木质素在邻近果皮的果肉,果核和果心处有三个峰,峰值在果核处为最大。因此在近果核处常可见大的石细胞团,而果肉中的石细胞团较少也较小。有资料表明,鸭梨石细胞直径小于10 μm,吃时就不容易感觉出来<sup>[3]</sup>。

2.1.2 酚类物质与果实色泽 衡量果实品质的标准之一即果实的颜色,根据各类果实的评价标准,各级果都有其规定的果皮颜色和果肉颜色。果皮的色泽是叶绿素(绿色)、类胡萝卜素、类黄酮(黄色)和花青苷(红色)的综合表现。各种色素在果皮细胞中的比例不同决定着果皮的色彩表现。所以近几年对于果皮颜色和酚类物质之间的关系研究较多<sup>[24,25]</sup>。

李红卫等选取白熟冬枣进行研究,结果表明,随着冬枣果实颜色的扩展,酚类物质含量也发生了相应的变化,推测其可能参与了果皮转色等生理活动<sup>[26]</sup>。在调控荔枝品种“妃子笑”果皮花青苷合成的同时,要

采取相应措施降低果皮 PPO 活性,并减少果皮受外界伤害的因素,就可以降低 PPO 酶促反应的诱因,从而延缓果实完熟后花青苷降解,防止果皮褐变<sup>[27]</sup>。

## 2.2 酚类物质与果实的贮藏品质

在低温贮藏或气调贮藏的条件下,梨果实最容易发生的生理病害之一是果心或果肉组织褐变<sup>[3]</sup>。例如我国特产鸭梨采后的生理病害——黑心病,严重影响鸭梨的商品价值。褐变初期酚类底物含量多时,多酚氧化酶活性也高,褐变完成时,底物含量减少,酶的活性也下降,呈相互呼应关系。说明鸭梨褐变是在多酚氧化酶作用下,以酚类为底物的生化反应<sup>[28]</sup>。大多数对梨的褐变研究表明:果心由于酚类物质含量最高,且含有较多的最适底物如绿原酸,故褐变出现最早也最严重,其次为果肉,而果皮一般不发生褐变,由于酚类物质包埋于表皮细胞之外的角质和蜡层之中,因而缺乏多酚氧化酶,氧气的透过也极为困难,所以不易发生酚的酶促氧化,但果皮受到损伤后也会迅速褐化<sup>[3]</sup>。

窦世娟等对“大久保”桃进行研究,结果表明:低温贮藏可以延缓果实硬度下降,降低呼吸速率,抑制膜透性增大,以及酚类物质、丙二醛等物质的生成<sup>[29]</sup>。冯晨静等对草莓果实在成熟期以及冷藏期间酚类物质等含量的变化进行了研究,表明采取适当的方法(如冷藏或降低合成花青苷有效酶)抑制或延缓花青苷的合成速率,使其底物沿着合成酚类物质和类黄酮的方向发展,保持较高水平的酚类物质和类黄酮含量,可以抑制果实的成熟和衰老<sup>[30]</sup>。两者存在差别,可能主要是由于选择材料不同而导致的。所以对于酚类物质含量与果实的贮藏品质之间的相关性还需要深入研究。

Conn 等认为,植物的自我保护机理之一就是代谢产物的区域性分布,即将有毒的代谢产物限制在某一特定的器官、组织、细胞或细胞器中<sup>[31]</sup>。如正常发育的果实中,酚类物质与多酚氧化酶是呈区域分布的,前者在液泡内,后者在细胞质或细胞膜上。因此不会发生酚的酶促褐变。而在贮藏期间,可能有与形成区域化有关的膜系统的破坏而打破了这种区域性分布,使酶和底物相互接触而引起了果实的褐变<sup>[31]</sup>。

人们已经意识到选育酚类物质含量低的品系或采取措施降低果实中简单酚类物质含量是改善梨果实贮藏品质的有效途径之一<sup>[3]</sup>。而最近几十年,随着分子生物学的飞速发展,人们对一些原理的认识更深入到了分子水平。能否找到抑制植物体内酚类物质合成的基因,用适当的载体如根癌农杆菌、发根农杆

菌或基因枪等将相关基因转入到酚类物质含量高的树种中如核桃、梨,使此基因得到表达,从而降低植物体内酚类物质的含量,提高其食用品质和贮藏品质。

## 2.3 酚类物质与果品的加工品质

酚类物质与果品的加工品质很大关系<sup>[24]</sup>,如酚类物质可以赋予红葡萄酒颜色、独特的风味和口感(涩、苦、甜等)<sup>[33]</sup>;还能增强香气,如某些酚类物质如香草醛、异丁香酚、丁香酚、丁香醇具有挥发性,它们不仅使果蔬具有一定的香气,而且使得某些果品的加工产品也具有很高的经济价值,如香蕉成熟果实中存在大量的丁香醇、丁香醇甲酯及其衍生物,可以作为食用香料<sup>[34]</sup>。

## 2.4 酚类物质与果品的保健品质

很多研究显示多酚类化合物对一些严重危害人体健康的慢性疾病如肥胖、心脏病、癌症等具有一定的治疗或预防作用<sup>[1,35]</sup>。这方面研究最多的是葡萄。葡萄果皮中的多酚主要为花色素类、黄酮以及白藜芦醇等,白藜芦醇具有抗癌作用<sup>[36]</sup>。葡萄种子中主要为儿茶素类、槲皮苷、原花青素、单宁等,而果汁中除了花色素外,几乎不含有其他的黄酮类,主要为非黄酮类型的酚酸类物质。各类物质都对现代医学有一定的推动作用,并且市场上也出现较多的葡萄多酚产品,也逐渐为人们所认可。苹果多酚能有效抑制组胺的游离,因而被作为抗变异药物治疗各种炎症、对毛囊细胞有增殖和再生功能,可用来治疗脱发;抑制龋齿菌转葡萄糖基酶(Gtase)的作用,从而防止牙垢的形成等;苹果多酚对食品或环境来源的苯并芘等致癌物的致癌性起抑制作用等<sup>[37]</sup>。另外,苹果多酚在护肤中起到多重作用,如抗衰老、抗辐射、增白、保湿、防紫外,对多种因素造成的皮肤老化改善都有独特的功效<sup>[37,38]</sup>。

# 3 酚类物质与果树抗性

## 3.1 酚类物质与果树抗寒性

近年发现,酚类物质在植物的抗性生理中有重要的作用,可作为抗寒的有效生理指标<sup>[39]</sup>。在低温锻炼后,植物体内强还原性酚类物质的花青素苷含量显著增加,可以明显提高苹果、桃、及柿树的抗寒性<sup>[40-42]</sup>。冷平等研究表明:秋冬季节的酚类物质多积累于树皮部,其中的黄酮类物质含量急剧升高,可能与其具有清除活性氧功能有关。秋冬季节的低温胁迫条件可能造成活性氧在体内的积累,而黄酮类物质上的羟基具有强的供电子能力,能以单电子转移的方式清除超氧负离子或其他自由基。清除或

控制由低温胁迫所产生的生物自由基可能是酚类物质保护植物机体免受损伤的重要机理之一<sup>[43]</sup>。

### 3.2 酚类物质与果树抗病性

看待一个事物要以辩证的眼光即要看到它的两个方面。正如在植物体中由于多酚氧化酶的作用使酚类物质转变为有毒性的醌类物质。如果从消极的一面看,它不仅带来果树组织培养中常见的外植体褐变的问题,而且也带来了梨等其他果实中由于果实褐变引起的贮藏品质下降的问题。但从积极的一面看,它却使果树具有了抗病性。有研究表明绿原酸酶促氧化产物的杀菌能力比本身提高约30%,而且本来不具有抗病性酚类物质也可转化为杀菌物质<sup>[44]</sup>。苹果叶子中存在的根皮苷,当黑星病菌类侵入苹果树体内时,葡萄糖苷酶开始在苹果叶内积累,这种酶将根皮苷降解为根皮素,根皮素反过来抑制真菌的进一步扩散,从而对黑星病有抵抗作用<sup>[45]</sup>。

还有些植物感病后新产生的植保素,这类物质大部分属于酚类物质,如绿原酸、香豆酸、豌豆素、菜豆素、大豆素等,常被称为“植物免疫素”<sup>[46]</sup>。植保素的积累一般只局限在植物受感染的细胞周围,起化学屏障的作用,并不运输到植物体的其他部位。植保素在抗性植株中形成速度快,在感病初期就达到高峰,可见到植物细胞产生过敏性反应。而在感病植株中积累很慢,病菌在植株体内正常生长,几天后虽然植保素达到高浓度,但病菌已蔓延,所以植保素难以起到保护效果。已经证明植保素的产生是由植物抗性基因调控的,诱导产生植保素的因子是由于它诱导了编码同植保素形成有关的酶的mRNA的合成,这些酶是PAL、CHS、CHS异构酶,这些诱导因子快速开启植物抗病表达的有关基因<sup>[47]</sup>。

### 3.3 酚类物质与果树抗虫性

人们早就注意到酚类物质可以抵抗虫害<sup>[48]</sup>,日本近年研究板栗中酚类物质含量与栗瘿蜂抗性间有一定相关性<sup>[49]</sup>。我国学者对栗树枝条中酚类化合物含量与抗栗瘿蜂性状进行了定量研究,提出了邻苯二酚的抗虫临界值为0.33 mg/g(干重),原花色苷的抗虫临界值为3.0 mg/g(干重),为栗树抗性育种提供了参考依据<sup>[50]</sup>。

## 4 酚类物质对果树的其它作用

果树上,应用2-氨基-6-甲基苯甲酸可以提高金冠、国光苹果的坐果率,减缓6月落果;可以提高葡萄的抗寒性;对-羟基苯甲酸可用于芦荟及葡萄的生根<sup>[51]</sup>。山楂种子发芽较难,原因是种子内存在有

抑制发芽的酚类物质,尤以种皮中含量高,层积处理后种皮及种仁中酚类物质减少后种子解除了休眠,才可以顺利发芽<sup>[52]</sup>。对多年生的雌雄异株植物如杨梅、银杏、猕猴桃等通过测定其叶片水溶性酚可以区分雌雄株,含酚量高者为雌株<sup>[53]</sup>。传统观念认为核桃嫁接成活率低与其体内酚类物质含量高有关,但嫁接试验结果证实,影响成活率的不是酚类物质总量,而是其中的某些组分<sup>[54]</sup>。施入土壤中的氮肥主要有被作物吸收、在土壤中以无机(有机)氮或有机结合态氮残留及损失3个去向。氮肥的损失途径主要有氨挥发、硝化一反硝化、淋溶和径流。如何降低氮肥的损失率也成为果树以及其他农业类型重点研究的一个方向。罗雪华等利用香蕉假茎汁液制成香蕉假茎多酚PBP系列物质用于抑制土壤硝化作用,提高氮肥利用率效果显著<sup>[55]</sup>。

总之,酚类物质是果树体内重要的次生物质,其活跃的生理功能逐渐被人们所认识。如何更有效地利用和控制酚类物质以及相关酶类的研究都是今后的工作重点。现在必须更进一步弄清楚以下问题:(1)酚类物质与植物激素的关系;(2)酚类物质与果树抗性的关系;(3)酚类物质及其相应酶类的分子生物学与基因工程研究。期望在不久的将来,人们对多酚类物质的研究将会取得更大的成就。

### 参考文献:

- [1] 唐传核,彭志英. 葡萄多酚类化合物以及生理功能[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2002, (2): 12-15.
- [2] 陈伟,叶明志,周洁. 酚类物质研究进展[J]. 福建农业大学学报, 1997, 26(4): 502-508.
- [3] 鞠志国. 酚类物质与梨果实品质的研究进展[J]. 莱阳农学院学报, 1988, 5(3): 59-65.
- [4] 庞勇. 果树组织培养中褐化现象的研究进展[J]. 甘肃林业科技, 2004, 29(1): 16-18.
- [5] 罗晓芳,田砚亭,姚洪军. 组织培养过程中PPO活性和总酚含量的研究[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(1): 92-95.
- [6] 曹夜义,刘国民. 实用植物组织培养技术教程[M]. 兰州:甘肃科技出版社, 1999, 138-139.
- [7] 姚洪军,罗晓芳,田砚亭. 植物组织培养褐变的研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(3): 78-84.
- [8] 李焕秀,王乔春,李春秀. 梨芽和茎尖PPO活性和总酚含量的初步研究[J]. 四川农业大学学报, 1994, 2(2): 218-222.
- [9] 罗丽华,陈建华,苏冬梅,等. 板栗组培过程中褐变研究初探[J]. 经济林研究, 2003, 21(4): 30-31.
- [10] 丰锋. 龙眼组织培养褐变抑制研究[J]. 中国南方果树, 2004, 33(6): 49-51.
- [11] 李桂荣,孙丽,孙俊逢. 油桃组织培养过程中防止褐变的研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(5): 827-828.
- [12] 于守超,赵兰勇,王芬,等. 植物组织培养过程中外植体褐变机

- 理研究进展[J].山东林业科技,2004,(5):61-63.
- [13] 吴晓霞,陈刚,张彪,等.植物组织培养中褐变的研究进展[J].河北林果研究,2002,17(3):284-288.
- [14] 陈凯.植物组织培养中褐变的产生机理及抑制措施[J].安徽农业科学,2004,32(5):1034-1036.
- [15] Larson R S. The Antioxidants of Plants[J]. Phytochem, 1988, 27(4): 97-99.
- [16] Lee T T. Regulation of Enzymic Oxidation of Indo-3-acetic Acid by Phenols Structure Activity Relationships[J]. Phytochemistry, 1982, 21: 517-522.
- [17] A C L et al. YAN Ji-qiong et al translate. The Growth and Development of Plant [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984. 100-102.
- [18] Doumenjou N, Marigo G. Relations Polyphenols - croissance: Role Delacide Chlorogenique Dansle Catacolism[J]. Physiol Veg, 1978, 16: 319-324.
- [19] Fleuriet A. Expression et Regulation du metabolisme des Derives Hydroxycinnamique au cours de la Croissance, de la Maturation et de la Reaction Auchlssures du Fruit de la Tomate "cerse". These Doct' Etat [J]. Montpellier, 1982, 23(8): 287-289.
- [20] Thomas R L, Morrc V J. Oxidation of Indoleacetic Acid by a Homogeneous Tomato Fruit Peroxidase[J]. J Food Biochem, 1980, 4: 235-239.
- [21] 徐绍颖. 植物生长调节剂与果树生产[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 22-24.
- [22] LI Zong-ting, ZHOU Xie. Plant Hormones and Their Immunoassays [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1996. 31-39.
- [23] 汤浩茹, 王永清, 任正隆, 等. 核桃体细胞胚发生与转基因研究进展[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 102-109.
- [24] 赵新平. 酚类物质与果品及加工品质的关系[J]. 果蔬加工, 2004, (1): 29.
- [25] Yanagida A. Antioxidative and other function of apple polyphenols[J]. Frag, 1997, (4): 63-69.
- [26] 李红卫, 冯双庆, 赵玉梅. 冬枣果皮色泽与酚类物质含量相关性的研究[J]. 北京农学院学报, 2004, 19(4): 63-66.
- [27] 胡桂兵, 陈大成, 李平, 等. 荔枝果皮色素、酚类物质与酶活性的动态变化[J]. 果树科学, 2000, 17(1): 35-40.
- [28] 吴耕西, 周宏伟, 汪建民. 鸭梨褐变的生化机制及底物鉴定[J]. 园艺学报, 1992, (3): 198-202.
- [29] 窦世娟, 关军锋. 采后桃果实衰老褐变与活性氧和酚类物质代谢的关系[J]. 河北农业科学, 2003, 7(3): 25-28.
- [30] 冯晨静, 关军锋, 杨建民, 等. 草莓果实成熟期花青苷、酚类物质和类黄酮含量的变化[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 199-201.
- [31] Conn EE. Chemical Conjugation and Compartmentation: Plant Adaptation to Toxic Natural Products. In key TL, Kosuge T(eds) Cellular and Molecular Biology of Plant Stress [M]. Alan R Liss, New York. 1985. 351-365.
- [32] 鞠志国, 朱广廉, 曹宗巽. 莱阳在梨果实褐变与多酚氧化酶及酚类物质区域化分布的关系[J]. 植物生理学报, 1988, 14(4): 355-361.
- [33] 杜金华, 夏秀梅. 酚类物质在红葡萄酒中的作用[J]. 中外葡萄酒与葡萄酒, 2001, (2): 48-50.
- [34] Tressl R, Drawert F. Biogenesis of banana volatiles[J]. J Ac Food Chem, 1973, 21(4): 560-565.
- [35] 乜兰春, 孙建设, 李明, 等. 酚类物质与果蔬品质研究进展[J]. 中国食品学报, 2003, 3(4): 93-98.
- [36] 陈曾三. 红葡萄酒多酚的保健功效[J]. 酿酒科技, 2001, (2): 77-78, 81.
- [37] SIEBERT K J, LYNNPY. Apple cultivar and maturity affect haze-active protein and haze-active polyenol concentrations in juice[J]. J Food Sci, 2000, 65(8): 1386-1390.
- [38] 孙建霞, 孙爱东, 白卫滨. 苹果多酚的提取及其在食品中的应用现状分析[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 50-53.
- [39] Chalker-scott. I Spectriphotometric Measurement of Leached Phenolic Compounds as a Indicator of Freeze Damage[J]. J Amer Soc Horti Sci, 1989, 114(2): 315-319.
- [40] Leng P, Itamura H, Yamamura H. Anthocyan Accumulation in Apple and Peach Ahoots during Cold Acclimation[J]. Scientia Hort, 1999, 83: 43-50.
- [41] Leng P, Itamura H, Yamamura H. Changes of Phenylalanine Amininase-lyase(PAL) Activity in Twig Tissues of two Diospyros Species during Cold Acclimation[J]. Environ Control in Boil, 1995, 33(1): 43-48.
- [42] Leng P, Itamura H, Yamamura H. Freezing Tolerance of Several Diospyros Species and Kaki Cultivars as Related to Anthocyan Information[J]. J Japan Horti Sci, 1993, 61(4): 795-804.
- [43] 冷平, 张国军, 吴晓云, 等. 秋冬季节柿属植物体内酚类物质含量的变化[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(1): 63-67.
- [44] Malamy J, Carr J. Salic Acid - a likely Endogenous Signal in the Resistance Response of Tobacco to Viral Infection[J]. Science, 1990, 250: 1001-1004.
- [45] Overeem J C. In: Friend J, Threlfall D R(eds). Biochemical Aspects of Plant Parasite Relationships [M]. Academic Press New York, 1976. 134.
- [46] 薛应龙, 欧阳光察. 植物抗病的物质代谢基础[A]. 植物生理学和分子生物学[C]. 余淑文. 北京: 科学出版社, 1992, 63-83.
- [47] 陈晓梅, 郭顺星. 植物抗病性物质的研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(6): 658-664.
- [48] Hanover J W. Physiology of Tree Resistance to iinsects[J]. Ann Rev Entomology, 1975, 20: 75-95.
- [49] Hirokata Torikata and Shuichiro Matsui. On the Polyphenolic Substances in the Chestnut Teww and the Relation of the Contents of Them to the Resistance to Chestnut Gall Wasps[J]. J Japan Horti Sci, 1996, 35: 89-97.
- [50] WANG Shao-qing, TONG Ben-qun, SHI Xing-chun. Studies on Contents of Phenolic Compounds in Chestnut Stems and Resistant Characteristic of Dryocosmus Kuriphilus[J]. Liaoning Forestry Science, 1997, 2: 48-51.
- [51] Louis GN. Plant Growth Regulation Chemicals (vol.2) [M]. CRC Press Ltd, 1983, 57-60.
- [52] 杨晓玲, 张培玉. 山楂种子酚类物质含量与休眠的关系[J]. 园艺学报, 1997, 24(4): 393-394.
- [53] 李国梁, 林伯年. 酚类物质在鉴别园艺植物雌雄植物中的应用研究[J]. 园艺学报, 1993, 20(4): 397-398.
- [54] 丁平海, 郝荣庭. 酚类物质对核桃嫁接成活的影响[J]. 河北农业大学学报, 1991, 14(4): 6-9.
- [55] 罗雪华, 牛治宇, 吴敏, 等. 香蕉假茎多酚类物质对尿素氮在土壤中形态转化的影响[J]. 热带作物学报, 2004, 25(4): 30-35.