

# 枇杷冻害及其抗冻栽培研究进展

樊美丽, 张任凡, 王锦涛, 陈贤爽, 鲁周民

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**枇杷是一种秋冬季开花、果实成熟于初夏的亚热带果树, 抗冻性较差。当遇到冬春季寒流时, 极易出现花及幼果受冻, 冻害严重时会对枇杷的产量和经济效益产生极大的影响。现通过分析枇杷产生冻害的原因, 结合枇杷花果冻害调查, 对枇杷抗冻栽培研究现状进行了系统阐述, 并分析综述了与枇杷抗寒性有关的生理指标。旨在通过综合分析总结, 为枇杷抗冻栽培技术体系的建立提供理论指导, 从而采取适当的措施减轻枇杷冻害, 提高经济效益。

**关键词:**枇杷; 花果; 冻害; 抗冻性; 生理生化

**中图分类号:**S 667.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0176-05

枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)属蔷薇科枇杷属(*Eriobotrya*)常绿阔叶小乔木, 果实营养丰富, 有润肺止咳、清热健胃等作用。枇杷果肉多汁、酸甜可口、营养丰富, 含有丰富的碳水化合物、蛋白质、脂肪、氨基酸、鞣质、维生素以及钙、钾、铁、磷等多种矿质元素<sup>[1]</sup>。枇杷具有很高的药用价值, 其果实、叶、种子、花、根均可入药, 枇杷果性凉、味甘酸, 有润肺止咳、生津之功效。现代医学研究发现, 枇杷叶具有抗炎止咳作用, 还具有治疗关节炎以及全身性荨麻疹的作用<sup>[2]</sup>。枇杷花可用于伤风感冒、痰血、咳嗽的治疗, 核可用以治疮气、咳嗽、水肿, 根也可以治疗关节疼痛、虚劳久嗽<sup>[3]</sup>。因此, 枇杷是一种经济价值很高的果树。枇杷在中国主要分布于福建、四川、江西、浙江、贵州、江苏、安徽以及陕南等地, 冬季开花, 果实于春末夏初成熟。由于枇杷为亚热带果树, 如冬季遇极端低温或早春期间寒流侵袭以及辐射降温, 会对枇杷花蕾、幼果等产生严重冻害, 特别是北缘地区, 年产量波动大, 因此低温冻害就成为制约枇杷生产的重要影响因素<sup>[4]</sup>。该研究主要对近年来枇杷冻害及其抗冻栽培研究结果进行综合评述, 以为枇杷生产及其抗冻栽培提供理论参考。

## 1 枇杷产生冻害的原因及花果冻害

### 1.1 枇杷产生冻害的原因

造成枇杷冻害的原因有多种, 既与品系、树龄、不同生育期、不同器官等内在因素密切相关, 又与气候条件、地理位置、土壤、管理技术等外在因素密不可分。但低温、品种抗寒性差、管理技术不当是导致枇杷冻害发生最重要的影响因子。

**1.1.1 冬季低温** 在自然条件下, 由秋季到冬季温度逐渐下降, 越冬果树通过发生一些生理生化变化使抗冻性逐渐加强来抵抗冬季低温, 例如降低细胞含水量、积累可溶性糖等。一般果树越冬体内结冰发生在细胞间隙, 由于间隙的水或水蒸汽凝结成冰, 而造成细胞失水, 但一般不会引起果树树体死亡, 但当胞外结冰严重使细胞大量失水时, 就会造成果树伤害或死亡<sup>[5]</sup>。美国学者把-12℃作为枇杷树体耐寒的临界温度, -3℃作为杀死幼果的温度<sup>[6]</sup>。枇杷果实在每年北方寒流频繁入侵时期发育, 当极端低温降至-2~-3℃且持续时间过长时就可能出现冻害<sup>[7]</sup>。持续暖冬现象导致树体缺少寒冷锻炼, 或秋冬季节雨量偏少, 导致树势差、抗逆性减弱, 都会造成树体对突如其来的低温较敏感, 从而加剧枇杷发生冻害的程度<sup>[8-9]</sup>。

**1.1.2 树种抗寒性差** 不同树种冻害发生程度不同, 而且同一树种的不同品种之间抗冻性差异也很显著, 同一棵树不同发育时期以及不同部位抗冻性也是截然不同。需要根据品种以及个体差异采取合理的栽培管理措施。枇杷为原产于亚热带地区, 适于栽植于年平均温度12~15℃的地区, 枇杷花期秋冬季、果实发育期正好是每年北方寒流频繁入侵时期, 花和幼果都极不耐寒<sup>[10]</sup>。

**1.1.3 栽培管理技术粗放** 栽培管理水平高, 施肥适

**第一作者简介:**樊美丽(1989-), 女, 山西襄汾人, 硕士研究生, 研究方向为枇杷栽培利用。E-mail: fmsilence@sina.com

**责任作者:**鲁周民(1966-), 男, 陕西户县人, 本科, 研究员, 现主要从事经济林栽培与果品贮藏加工等研究工作。E-mail: lzm@nwsuaf.edu.cn

**基金项目:**国家林业局重点科技成果推广资助项目(2012-68); 财政部“以大学为依托的农业科技推广模式建设”资助项目(XTG2014015)。

**收稿日期:**2014-11-10

当,后期控水,并能及时落叶,枝条粗壮的果树抗冻能力强;反之,管理水平低的果树抗冻能力差。在生产过程中由于片面追求高产不注意树体营养的积累,造成树势衰弱抗冻力下降。或因管理不当使病害发生严重,也易造成冻害。土壤含水量与冻害发生息息相关,试验证明,土壤含水量适宜时冻害最轻,而低于或高于适宜含水量时,植株的冻害随着土壤含水量的降低或增加而加重<sup>[11]</sup>。据张夏萍等<sup>[12]</sup>的研究表明,枇杷冻害的发生以干冻危害为主。熊南星等 2006 年对江西星子县枇杷冻害调查的结果也属干冻类型,据李健等<sup>[13]</sup>的报道在福建近年来发生的 8 次果树冻害中有 7 次属于干冻类型。因为果园土壤干旱、空气湿度低导致干冻的发生<sup>[12]</sup>。

## 1.2 花果冻害

枇杷是一种秋冬季开花,果实成熟于初夏的亚热带常绿果树。枇杷冻害主要发生在幼果和花穗,受冻后会发生一系列冻害症状,叶片和枝干一般不易受冻,冻害症状较轻,一般会发生叶片枯黄脱落、树干裂皮<sup>[12]</sup>。

冬、春两季为枇杷开花和幼果发育的关键阶段<sup>[14]</sup>,枇杷的花及幼果耐寒性较差,若遇 $-3^{\circ}\text{C}$ 以下低温,幼果就会受冻。枇杷冻害主要发生在 12 月至翌年的 3 月,枇杷幼果受冻后会出现果面茸毛萎蔫现象,有的甚至部分脱落使果实表面透青发亮<sup>[15-16]</sup>;冻害发生严重时果实胚会变为灰黑色或黑褐色,甚至幼果脱落;当部分胚冻死时会形成畸形果,若果实中的胚全部冻死幼果就会停止发育<sup>[17-18]</sup>;幼果受冻时还会发生“果实栓皮病”<sup>[19]</sup>。枇杷受冻程度与幼果发育程度有关,刘友接等<sup>[20]</sup>对枇杷进行冻害调查时采用的方法是将枇杷按纵横径分成 3 个等级,调查结果表明随着果实的逐渐增大,其耐受低温的能力逐渐减弱。

涂美艳等<sup>[21]</sup>和李靖等<sup>[22]</sup>对四川大五星枇杷冻害调查的结果都表明,枇杷花果不同发育时期抗冻害能力不同,强弱为:花蕾>刚开的花>花瓣脱落花萼未合拢的花>花瓣脱落花萼合拢的花;横径小于 1.0 cm 的幼果>横径大于 1.0 cm 的幼果。

低温冻害会抑制枇杷花粉粒的萌发,使枇杷枯花而不能坐果。枇杷花朵受冻后花轴变褐软腐,即“内腐”,用手挤病部时会流出粘稠状液体,到后期花轴呈萎蔫状<sup>[23]</sup>。盛宝龙等<sup>[24]</sup>于 1993 年研究了枇杷花穗各部分以及幼果在不同低温下的细胞膜伤率,证明了其耐低温程度不同,并用电导法测定花果抗冻性,电导法测定花果抗冻性已是枇杷冻害研究中很常用的方法。

## 2 枇杷抗冻栽培措施

### 2.1 选择抗寒品种适地建园

枇杷不同品种抵抗冻害能力不同,一般早熟品种最易受冻,中熟品种比晚熟品种容易受冻,一般北亚热带品

种比南亚热带品种抗寒力强<sup>[25]</sup>。因此,要根据果园的立地条件和气候特点选择不同的枇杷品种以减轻冻害。一般海拔低于 300 m 地区为适宜栽培区,高于 450 m 以上地区不适宜栽培枇杷,而 300~450 m 地区为次适宜栽培区<sup>[1]</sup>。避免在低洼处,特别是不通风的低洼或平地建园。

### 2.2 枇杷抗冻栽培措施

2.2.1 加强管理,增强树势 均衡施肥,适时灌水,防治病虫害;采取合理的修剪技术;调整好生长与结果的关系,可提高树体越冬抗冻能力。疏花疏果、晾根:疏花疏果是提高枇杷品质与单果重的重要措施之一。对枇杷进行疏花疏果,控制抹芽,疏除部分结果母枝,促进枝芽的成熟;减少花量,坐果后再进行疏果,增强树势。在可能受霜冻的果园,可适当推迟疏花疏果时间,不留或少留早花果,多留迟花果,可降低果实冻害率<sup>[12]</sup>。在开花前扒开土根晾,一般晾根 7 d 左右,以骨干根为主,晾根后施肥覆土,有延迟开花、减轻花和幼果冻害的效果<sup>[26]</sup>。肥水管理:生长季节合理施肥,生长季节后期加强肥水管理,增加树体营养储备,有利于树体安全越冬,经过实践验证,果树的合理灌水有利于抗旱和抗寒能力的加强,上冻前浇 1 次冻水可减轻冻害的发生。合理施肥灌水可增强果树树势,从而提高抗寒能力。土壤水肥管理是枇杷栽培管理中的重要环节,管理水平的高低与枇杷品质、产量以及经济效益密切相关<sup>[27]</sup>。科学修剪,调整树势:修剪主要在夏秋季节进行,夏季摘心、疏花疏果等;秋季合理控制枝条后期的生长,使枝条充实,提高抗寒能力;冬季要减去部分不成熟枝条以降低蒸腾量。修剪时多留枝叶,少留花芽,减少负载量,促生新枝,使尽快恢复和扩大树冠。枇杷的整形修剪是枇杷丰产、稳产和提高果实品质的关键技术之一<sup>[28]</sup>。病虫害防治:注意适当喷药,保护好花、叶,提高光合作用,增加营养物质积累,使树体健壮,提高抗冻性。用低度石硫合剂或波尔多液 800~1 000 倍液喷雾,可起到防寒保暖作用<sup>[29]</sup>。病虫害发生时,防治工作要适时、有效,以保障树体健康,从而提高果树自身防御能力。

2.2.2 采取防冻措施 套袋:套袋可减轻冻害,在冷空气来袭时袋内温度相对高一些,可减轻果实的冻害。晚花一般适当推迟套袋,早花套袋时多套几片叶子<sup>[1]</sup>。在冬季严寒前将着生在树冠外围的果穗用纸袋套住,严寒后再将纸袋去掉,套袋对花穗和幼果起到很好的保护作用。熏烟、树干涂白:熏烟可抵抗冷空气下降沉积,提高果园温度,将杂草、秸秆、锯末等上压一层薄土堆放,夜间点燃,使烟雾覆盖整个果园,据报道,熏烟能提高果园气温 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ ,并能减轻地面散热降温<sup>[29]</sup>,增加空气中的热量。将果树树干和主枝用涂白剂均匀涂白,树干涂白有杀死隐藏在树干中的病菌、虫卵和成虫的作用,对果树病虫害防治有一定作用;且涂白后通过反射光线降低

树干温度,减少夜间热量辐射,增强树干抗冻能力<sup>[30]</sup>。树盘覆盖:霜冻来临前,在树干周围培土覆草,保护根系,可保持土壤湿润、提高土温以防地面结冻,还可增加根系的活动能力,使抗寒性增强。也可采用火烧土覆盖根茎周围或对果树进行培土,出春后再把土挖掉,这样可使根系不被冻伤<sup>[31]</sup>。冬灌:冻前灌水或冻时喷水防寒。在霜冻来临前 2~3 d 灌水可提高土壤湿度,增加热容量,使地温保持相对稳定,从而减轻冻害,灌水可增温 2~3℃<sup>[5]</sup>。一般注意灌水要灌透,才能达到好的效果,但对幼龄果树应控制浇水,如若浇水过多,将会萌发新枝,反而会削弱其抗寒能力。改善土壤状况:地面气温与土壤性质有关,可以通过改良土壤增强果树的抗冻能力。土壤干旱、土层薄的地段枇杷树势较弱,开花坐果早,幼果冻害发生较普遍;湿润无杂草的土壤,地面热量散失较少,冻害较轻<sup>[19]</sup>。

2.2.3 营造适合的环境条件 在果园的迎风面营造防护林,降低风速,抑制干旱,改善果园的小气候,提高园内温度,减轻冻害,防护林宜采用乔灌结合的模式最好<sup>[32]</sup>。采用设施栽培措施,寒冷时可提高大棚内气温 3~5℃,如用毛竹、杂木或钢管等搭架,再用薄膜覆盖,可减轻冻害。据庄文彬<sup>[33]</sup>报道,采用灯光照明的方法可降低果树冻害率。果园的地段尽量避风、向阳,保证冷空气可以顺利排出。

### 3 影响枇杷抗冻性的生理指标研究

目前国内关于北缘枇杷栽培的生态以及生物学特性等的研究尚不多见<sup>[14]</sup>,关于枇杷抗冻性的研究大多都是基于理化指标的研究上,且目前国内外对枇杷果实的研究也主要集中在采后生理方面,对果实生长过程的研究相对较少<sup>[34]</sup>。因此文章着重讲述枇杷生长过程中与抗冻性有关生理指标的研究现状和进展。枇杷树体在发生冻害时,其体内的一些生理生化指标,比如酶活性、物质含量等均会发生相应的变化来响应冻害,其中很多指标的变化都体现其抗冻性的提高,当冻害发生时激发植物体内的抗寒性,引起相应理化指标的变化<sup>[35-36]</sup>。

涂美艳等<sup>[21]</sup>以 10 年生大五星枇杷为试材,调查了不同发育状态花果受冻情况,表明枇杷花果的超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、脯氨酸(Pro)含量越高其抗冻性越强。郑国华等<sup>[37]</sup>采用人工降温的方法研究盆栽“解放钟”嫁接的枇杷结果小苗在低温胁迫下枇杷叶片细胞超微结构及膜透性和保护酶活性的变化,证明其与枇杷冻害产生以及严重程度有密切关系。李靖等<sup>[22]</sup>以四川主栽品种大五星为试材,调查不同的立地条件以及花果不同发育时期冻害的发生情况,对受冻花果理化指标 SOD 活性、Pro 和丙二醛(MDA)含量以及相对电导率进行了测定,分析得出其均对枇杷抗冻性有影响。

在植物的冻害机制研究方面,前人许多研究表明,可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸、抗坏血酸(ASA)和谷胱甘肽(GSH)等与植物抗冻性密切相关,但结论不一<sup>[38-39]</sup>。陈民生等<sup>[40]</sup>以不同品种露地越冬甘蓝为试验材料研究了抗冻性与过氧化物酶(POD)活性之间的关系,结果表明其确实存在一定的关系。植物体内存在着活体氧和自由基的清除剂保护酶系统,包括抗坏血酸氧化酶(ASAPOD)、CAT、POD、SOD 能维持细胞膜的稳定性<sup>[41-42]</sup>。近些年来学者围绕着酶保护系统作了大量研究工作,结果均表明抗寒锻炼可降低保护酶活性,抗寒性越强的品种下降幅度越小,即酶活性越高<sup>[43-44]</sup>。

植物在逆境条件下发生膜脂过氧化作用产生的 MDA 会严重损伤生物膜。王爱国等<sup>[45]</sup>的研究认为,可将 MDA 作为植物膜脂过氧化的指标来表示细胞膜脂过氧化的程度、细胞对逆境反映的强弱,因此 MDA 含量的变化也可作为研究果树作物寒害及抗寒性时一项重要的生理鉴定指标<sup>[46]</sup>。脱落酸(ABA)对抗寒力有重要的调控作用,有对柑橘的研究结果表明,低温锻炼过程中 ABA 的含量表现为抗寒性强的品种高于抗寒性弱的品种,且含量呈上升趋势<sup>[47]</sup>。此外杨风军等<sup>[25]</sup>在果树抗寒性研究进展中还提到了花青素、核酸、氨基酸、可溶性蛋白、淀粉、还原糖及脂类物质的含量,植物体内次生物质的变化等均会对抗冻性产生影响。因此,综合生理生化指标均可作为果树抗寒性鉴定的指标<sup>[48]</sup>。

### 4 展望

枇杷营养丰富,具有保健作用,特别是枇杷果实成熟期处于春末夏初,正值市场水果淡季,深受消费者喜爱,近年来,在各适宜区得到一定发展。但由于枇杷属于亚热带果树,耐寒性差,隆冬及早春如遇寒流袭击,花果极易受冻,年产量波动大,因此枇杷抗冻害研究已经成为学术界研究的一项重大课题。目前,关于枇杷冻害及抗冻防冻栽培的研究在国内外取得了一些成果,但就整体而言,还存在很多方面的问题有待深入系统研究。一是以抗旱性作为重要指标的枇杷优良品种选育研究。二是通过灌溉保持土壤水分是提高枇杷抗冻性的有效措施之一,但在不同土壤水分条件下以及不同时期土壤水分对枇杷抗寒性影响的机理还需进一步深入研究。三是不同栽培管理技术措施如修剪方式、肥料配比及施入时间对枇杷抗冻性的影响研究。四是不同防冻措施条件下对枇杷果实品质产生的影响。切实可行的防冻措施是枇杷高产高质的保障,枇杷冻害防护工作需要掌握好气候、土壤水分、养料、以及时间、空间等。枇杷冻害主要发生在花及幼果期,进行冻害发生原因分析,以期通过采取适当的抗冻栽培措施或者不同抗冻措施之间的混合施用提高枇杷抗冻性,为枇杷生产提供理论指导,对提高枇杷经济效益具有非常重要的意义。

## 参考文献

- [1] 张辉,蔡秋英. 枇杷防冻栽培技术[J]. 福建果树, 2005, 135(5): 45-46.
- [2] 邓晶晶,王亚云,卢先明,等. 枇杷花质量标准研究[J]. 中药与临床, 2010, 303(1): 12-14.
- [3] 何莲,张宏,李琪,等. 枇杷花系统溶剂提取物抑菌作用研究[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 46-47.
- [4] 黄晓霞,左任英,程小毛,等. 土壤干旱对枇杷幼果生理代谢的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10247-10248, 10286.
- [5] 刘新. 果树冻害发生原因及综合预防措施[J]. 河北果树, 2010(3): 27-28.
- [6] 胡又厘,林顺权. 世界枇杷研究与生产[J]. 世界农业, 2002(1): 36-37.
- [7] Cao S F, Yang Z F, Zheng Y H. Sugar metabolism in relation to chilling tolerance of loquat fruit[J]. Food Chemistry, 2013, 136: 139-143.
- [8] Xia M J, Dong J F, Zhang M. Cold-induced endogenous nitric oxide generation plays a role in chilling tolerance of loquat fruit during postharvest storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 65: 5-12.
- [9] Cao S F, Zheng Y H, Wang K T. Effect of methyl jasmonate on cell wall modification of loquat fruit in relation to chilling injury after harvest[J]. Food Chemistry, 2010, 118: 641-647.
- [10] Lawson T, Oxborough K, Morison J L, et al. The responses of guard and mesophyll cell photosynthesis to CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, light, and water stress in a range of species are similar[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(388): 1743-1752.
- [11] 陈尚模,江爱良,郑俊兰. 土壤含水量影响喜温作物抗寒机理的研究[J]. 农业气象, 1983(1): 33-37.
- [12] 张夏萍,许伟东,郑诚乐. 枇杷冻害及防范研究进展[J]. 福建果树, 2007(3): 28-31.
- [13] 李健,李美桂. 1999年冬季福建果树冻害及其特点[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2002, 31(3): 343-346.
- [14] 曹雪丹,李文华,鲁周民. 北缘地区枇杷春季光合特性研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 33-37.
- [15] Pinillos V, Hueso J J, Filho J M, et al. Changes in fruit maturity indices along the harvest season in 'Algerie' loquat[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4): 769-774.
- [16] Flexas J, Medrano H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited[J]. Annals of Botany, 2002, 89(2): 183-189.
- [17] Zhou C H, Li X, Zhang W S. Oleanolic and ursolic acid in the fruit of *Eriobotrya japonica* Lindl[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2011, 5(9): 1735-1740.
- [18] Cuevas J, Pinillos V, Canete M L. Optimal duration of irrigation withholding to promote early bloom and harvest in 'Algerie' loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.)[J]. Agricultural Water Management, 2012, 111: 79-86.
- [19] 王沛霖. 枇杷实用栽培技术二百题[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 52-70.
- [20] 刘友接,张泽煌,蒋际谋. 枇杷幼果冻害调查[J]. 福建果树, 2001(4): 21-22.
- [21] 涂美艳,陈栋,谢红江. 大五星枇杷花果抗冻差异的生理初探[J]. 中国南方果树, 2010, 39(3): 33-36.
- [22] 李靖,孙淑霞,谢红江. 枇杷花果冻害与若干生理生化指标的关系[J]. 果树学报, 2011, 28(3): 453-457.
- [23] 李中义,唐伟生. 大五星枇杷花期冻害综合防治技术[J]. 西南园艺, 2006, 34(4): 65-66.
- [24] 盛宝龙,吴伟民. 枇杷用电导法测定其花果的抗冻性[J]. 福建果树, 1993(3): 2-5.
- [25] 杨凤军,李宝江,高玉刚,等. 果树抗寒性的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003, 15(4): 23-29.
- [26] 陈桂枝,胡波. 枇杷的冻害生理和防冻措施[J]. 柑桔与亚热带果树信息, 2001, 17(9): 26.
- [27] 张忠良,曹仲根,李文华,等. 施肥与土壤管理对枇杷幼树生长与结果的影响[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 89-91.
- [28] 李文华,张忠良,魏凌云,等. 枇杷整形修剪技术研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 92-93.
- [29] Souza R P, Machado E C, Silva J A, et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery[J]. Environmental and Experimental Botany, 2004, 51(1): 45-56.
- [30] Takuya S, Takashi T, Sayaka W. Polyphenol composition of a functional fermented tea obtained by tea-rolling processing of green tea and loquat leaves[J]. Agric Food Chem, 2011, 59: 7253-7260.
- [31] 许伟东. 枇杷枝干新害虫-皮暗斑螟观察初报[J]. 华东昆虫学报, 2002, 11(1): 107-108.
- [32] 任波,熊仁次,陈小飞. 库尔勒香梨树冻害发生原因及防治途径探讨[J]. 农林畜牧, 2013(5): 189-194.
- [33] 庄文彬. 1999年龙眼、荔枝冻害及其处理效果调查[J]. 福建果树, 1999(1): 26-27.
- [34] 曹雪丹,吴万兴,张忠良,等. 北缘地区枇杷果实生长过程的生理变化[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 34-37.
- [35] Koukol J, Conne E. Purification and properties of the phenylalanine deaminase of *Herdeum vulgare* [J]. The Metabolism of Aromatic Compounds in Higher Plant IV, 1961, 23: 2692-2698.
- [36] Garhiglio N A, Castillo E, Alos M. The influences of environmental factors on the development of purple spot of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.)[J]. Scientia Horticulturae, 2003, 98: 17-23.
- [37] 郑国华,张贺英,钟秀容. 低温胁迫下枇杷叶片细胞超微结构及膜透性和保护酶活性的变化[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 739-745.
- [38] 康国章,岳彩凤,彭慧芳. 冻害胁迫对小麦叶片抗寒生理生化指标的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(12): 56-60.
- [39] Fernandez M D, Hueso J J, Cuevas J, et al. Water stress integral for successful modification of flowering dates in 'Algerie' loquat[J]. Irrig Science, 2010, 28: 127-134.
- [40] 陈民生,秦国明,李建勇. 不同品种露地越冬甘蓝的抗冻性与渗透调节物质含量和抗氧化酶活性[J]. 山东农业大学(自然科学版), 2006, 37(3): 329-333.
- [41] 王有国,师春娟,周德全,等. 中水灌溉对不同绿地植物生长胁迫效应的研究[J]. 西北农业学报, 2004, 23(2): 198-204.
- [42] 张仁和,郑友军,马国胜,等. 干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1303-1311.
- [43] 李东明,郭正刚,安黎哲,等. 青藏高原多年冻土区不同草地生态系统恢复能力评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2182-2188.
- [44] 陈贵. 提取植物 MDA 的溶剂及 MDA 作为衰老指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(3): 44-46.
- [45] 王爱国,邵从本,罗广华,等. 丙二醛作为植物脂质过氧化指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1986(2): 55-57.
- [46] 王华,王飞. 低温胁迫对杏花 SOD 活性和膜脂过氧化的影响[J]. 果树科学, 2000, 17(3): 197-201.
- [47] 孟庆瑞,杨建民. 冰核活性细菌对杏花器官 ABA、IAA 和可溶性蛋白的影响[J]. 果树学报, 2002, 19(4): 243-246.
- [48] 潘昕,邱权,李吉跃. 干旱胁迫对青藏高原 6 种植物生理指标的影响[J]. 生态学报, 2014(13): 36-39.

DOI:10.11937/bfyy.201507050

# 苹果花色素苷生物合成及调控的研究现状

孟富宣<sup>1,2</sup>, 周军<sup>1,2</sup>, 辛培尧<sup>1,2</sup>, 董娇<sup>1,2</sup>, 徐世宏<sup>1,2</sup>, 段淋渊<sup>1,2</sup>

(1. 西南山地森林资源保育与利用省部共建教育部重点实验室, 云南 昆明 650224; 2. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224)

**摘 要:**苹果果实颜色是影响消费者需求重要的品质性状, 苹果的红色是由花色素苷积累水平决定的, 花色素苷是次生代谢产物黄酮类化合物中的一类。文章综述了花色素苷合成过程中结构基因、调控基因、环境因素、管理措施和组织机构对花色素苷积累的影响, 目的是为实现优质果实品质提供新的方法, 包括视觉上的吸引力和营养价值的提升。

**关键词:**苹果; 花色素苷; 生物合成; 基因调控; 环境因素

**中图分类号:**S 661.101 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0180-08

苹果是世界四大水果之一, 2012 年世界苹果产量为 0.76 亿 t, 相当于 319 亿美元(粮农组织, 2012)。2012 年中国苹果总产量 0.37 亿 t, 占世界总产量的 48.68%。中国苹果的栽培面积及产量均居世界首位, 但出口比重太小, 这与苹果的品质特性密切相关, 而苹果果皮颜色是关键的品质特性之一, 能影响消费者喜好。与果皮红

色密切相关的花色素苷有丰富的营养价值和抗氧化性能, 花色素苷的积累受环境条件 and 生产实践的影响<sup>[1]</sup>。近年来, 在了解苹果中基因调控花色素苷积累方面已取得重大进展。现对苹果花色素苷生物合成调控的研究现状进行了总结。

## 1 苹果果实颜色

### 1.1 花色素苷的价值

苹果属蔷薇科植物, 是自交不亲和高度杂合二倍体, 单倍体染色体数目为 17<sup>[2]</sup>。苹果深受世界各地消费者的喜爱。与其它水果、蔬菜、甚至茶相比, 苹果含有很高的抗氧化剂<sup>[3]</sup>。苹果果皮颜色是最重要的经济性状之一, 是决定苹果市场接受度的重要因素, 强烈地影响着消费者的购买欲望。红苹果, 尤其是鲜红类型是购买者的首选<sup>[4]</sup>, 消费者会把成熟、美味与之联系到一起<sup>[5]</sup>。此外, 不同国家和地区消费者对果皮颜色的偏好不一样。

**第一作者简介:**孟富宣(1989-), 女, 硕士研究生, 现主要从事植物分子生物技术等研究工作。E-mail:616967560@qq.com.

**责任作者:**周军(1962-), 男, 博士, 教授, 现主要从事果树分子生物学及林木遗传育种等研究工作。E-mail:zhoujunbo@163.com.

**基金项目:**国家林业局“948”资助项目(2013-4-44); 西南山地森林资源保育与利用省部共建教育部重点实验室开放基金资助项目(BC2010F08); 西南林业大学森林培育与经营教学团队建设经费资助项目(500961); 国家林业局重点实验室开放基金资助项目(BC2010F08); 云南省教育厅科学研究基金资助项目(2012J050)。

**收稿日期:**2014-11-25

## Research Progress on Freeze Injury and Antifreeze Cultivation of Loquat

FAN Mei-li, ZHANG Ren-fan, WANG Jin-tao, CHEN Xian-shuang, LU Zhou-min  
(College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Loquat is a subtropical fruit tree, blooming in fall and winter, fruit ripening in early summer, frost resistance is poor, when encounters the cold snap in winter and spring, flower and young fruit endures the cold easily, when freeze injury happens seriously will greatly affect the loquat production and economic benefits. Now by analyzing the causes of loquat freezing injury, combined the cold injury survey of loquat flowers and fruits, expounded the research progress of loquat antifreeze cultivation and analyzed the physiological indexes related to the frost resistance in detail. Aimed at through comprehensive analysis and summary, providing theoretical guidance to establish the system of cultivation techniques for loquat antifreeze, so as to take appropriate measures to reduce the loquat freeze injury, to improve the economic benefits.

**Keywords:** loquat; flowers and fruits; freeze injury; freezing resistance; physiology and biochemistry