

魏志峰,李秋利,高登涛,等.果实套袋对果实品质影响研究进展[J].江苏农业科学,2018,46(24):36-41.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.008

# 果实套袋对果实品质影响研究进展

魏志峰,李秋利,高登涛,杨文佳,刘军伟,韩国园

(中国农业科学院郑州果树研究所,河南郑州 450009)

**摘要:**本文从果袋类型、套袋时间、套袋方法、解袋时间以及套袋的优缺点等方面就果实套袋技术进行了概述,总结了套袋对果实外观品质、内在品质、贮藏性、病虫害和农药残留等方面的影响。详细介绍了套袋对果实质量和大小、果实色泽、果面光洁度、果实成熟度的影响,分析了套袋对水果营养成分、可溶性固形物、可滴定酸、香气挥发物、酚类化合物含量及酶活性、抗氧化活性、果实硬度的影响,并对果实套袋技术的发展和相关研究进行了展望。

**关键词:**套袋;果实品质;贮藏性;病虫害;研究进展

**中图分类号:** S605<sup>+</sup>.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0036-05

果实套袋是一种物理保护方法,在果实生长发育过程中,阻隔了果面与外界的联系,可避免风、雨、药剂、灰尘和一些机械摩擦对果皮的刺激与损伤,使果皮发育良好,防止果面产生锈斑;避免果实遭病虫害的危害,减少病虫害率;还避免了农药与果面的直接接触,有效降低了农药残留;还能降低果实的裂果率<sup>[1]</sup>。总之,套袋不仅可以改善果实外观品质、防治病虫害、降低农药残留和裂果等<sup>[2-5]</sup>,还可以通过改变果实发育的微环境,影响果实内在品质,是目前生产安全、优质果品,提高果实商品价值的主要技术措施,果实套袋技术已经在我国果树生产中得到了广泛应用。

近几十年来,果实套袋已经成为现代果树栽培技术中的一项重要内容,苹果<sup>[6]</sup>、梨<sup>[7]</sup>、葡萄<sup>[8]</sup>、桃<sup>[9]</sup>等北方果树基本都已采用果实套袋技术,荔枝<sup>[10]</sup>、芒果<sup>[11]</sup>、香蕉<sup>[12]</sup>等南方果树也越来越广泛地采用果实套袋技术。目前市场上的果袋种类很多,主要有塑膜袋、纸袋和无纺布袋等,随着套袋技术的大面积推广,许多套袋果实出现了糖、维生素 C、芳香类物质等内含物含量下降,摘袋后日灼等不利影响<sup>[13]</sup>。因此,探明果实内在品质和外在品质形成的机制,改进套袋技术以充分发挥套袋的有利影响,防止和减少套袋果实的不利影响,是目前果树套袋生产亟待解决的问题。

本文总结了套袋对果实内在和外在品质的影响,对其形成的机制进行探讨和分析,以期为进一步开展相关研究和生产高品质果实提供依据。

## 1 果实套袋技术概述

### 1.1 果袋种类

收稿日期:2017-07-20

基金项目:中国农业科学院基本科研业务费专项(编号:1613112017205);中国农业科学院科技创新工程专项经费(编号:CAAS-ASTIP-2016-ZFRI-05、CAAS-ASTIP-2016-RIP-04-01)。

作者简介:魏志峰(1981—),男,河南郑州人,硕士,助理研究员,主要从事葡萄栽培生理研究。E-mail:weizhif@126.com。

通信作者:高登涛,博士研究生,副研究员,主要从事果树栽培生理研究。E-mail:gaodengtao@caas.cn。

市场上果袋种类很多<sup>[14]</sup>,按照材质和防水处理方式不同分为塑膜袋、纸袋和无纺布袋等,塑膜袋价格便宜,后两者较贵;按照果袋层数把果袋分为单层、双层、三层等3类,市面上单层果袋较便宜,双层袋较单层袋具有遮光量大、白昼袋内温度低、果面细嫩光滑、叶绿素形成少等特点,三层袋较前两者少见,遮光强,能有效预防日烧和黑斑病、粗皮病等病害;按照颜色分为黑色、白色、蓝色、红色、橘色、黄色、棕色、紫色等。例如,玻璃纸袋和织物袋可以改善荔枝果实的颜色<sup>[15]</sup>,棕色或黑色纸袋能够加深芒果的着色<sup>[16]</sup>,橘色和黑色纸袋对桃的果皮色泽有促进作用<sup>[17]</sup>,纺织彩色、黄色织物袋可改善苹果色泽及品质<sup>[18]</sup>,棕色纸袋能够减少芒果中的果蝇<sup>[19]</sup>,尼龙袋可以减少番石榴中的果蝇<sup>[20]</sup>。

### 1.2 套袋时间

套袋时间根据果树种类不同而不同,不同地区的相同果树套袋时间也不同,同一种果树相同地区不同品种套袋时间也不相同。Chen 等指出妃子笑荔枝在盛花后 15 d 套袋到果实成熟时着色较好<sup>[15]</sup>;Fumuro 等在柿树上于 9 月 17 日(着色开始时)进行纸袋套袋试验,结果表明套袋处理果实黑斑病发生率是对照的 15%~25%,大幅降低黑斑病发生,并推荐套袋时间在收获前 50~35 d<sup>[21]</sup>;蔺经等报道指出,翠冠梨在盛花后 45 d 使用大纸袋比在盛花后 35 d 使用大纸袋或盛花后 20 d 使用 2 次小纸袋更能生产出高等级的水果<sup>[22]</sup>;Xu 等研究表明,杨桃在盛花后 10 d 套袋效果最好<sup>[23]</sup>。

### 1.3 套袋方法

套袋时吹开果袋或用手撑开果袋,使果袋充分膨胀呈圆筒状,套住果实,使果悬于果袋中央,然后折紧袋口并扎住袋口。操作中要按先内后外、先上后下的顺序套袋,同时把每个果袋袋口扎紧,使袋体撑圆。扎袋口时,要做到既不伤害果柄,又使果居于袋中央<sup>[24]</sup>。

### 1.4 摘袋时间

影响果实大小、颜色、品质的不只是果袋的类型和套袋时间,还有去袋的时间。因为套袋遮挡阳光,而花青素的合成需要阳光,所以套袋对果实着色有抑制作用。Ju 证明去袋时间对苹果的着色有很大影响,一般情况下,如果在收获期去袋则果实颜色很不好,如果在成熟前 3~5 d 去袋果实上色会比较

好,因为在解袋后果实再次暴露在阳光下促进了花青素的合成,且果实重新暴露阳光下 3 d 花青苷合成浓度最大<sup>[25]</sup>;Huang 等报道,中国红沙梨在收获 10 d 前解袋会使其具有吸引人的外观和品质<sup>[26]</sup>;Qu 等指出在解袋前套袋富士苹果花青素含量明显低于不套袋果实,但解袋后,套袋的果实花青素含量增加很快,在解袋后 6 d 花青素含量超过不套袋果实,在解袋后 8 d 花青素含量是不套袋的 2 倍<sup>[27]</sup>。

### 1.5 果实套袋优缺点

果实套袋减轻病虫害危害,如减轻了绿盲蝽对枣果的危害,使斑点病病果率明显降低<sup>[28]</sup>。果袋阻隔了果面与外界的联系,降低了果实的农药残留量;套袋处理后,裂果率、病果率减少,优级果增多;套袋后着色均匀,提高了果面光洁度,改善了果实外观品质。

套袋虽能使果实外观改善,色泽变佳等,但套袋也并非十全十美。果实套袋整体上影响了树冠内光照,套袋果树树体除了自身枝梢遮阴外,果袋对树体也有遮阴作用,袋子遮阴主要影响树冠的内膛和套袋果周围的叶片,使叶片的光合作用受到影响,而光合作用是果树产量和品质形成的基础<sup>[29]</sup>;套袋过程中及除袋后出现高温日灼;套袋、除袋时间没有因时、因地、因树种品种而定,随意照搬,反而影响品质。

尽管存在这样那样的问题,但是套袋的利显著大于弊,随着果实套袋及其配套栽培技术的研究、推广、普及,必将对我果树生产起巨大推动作用<sup>[30]</sup>。

## 2 套袋对果实品质的影响

### 2.1 套袋对果实外观品质的影响

2.1.1 套袋对果实质量和大小的影响 果实坐果后,生长缓慢,在特定的发育阶段套袋可能会影响它们的生长和大小,但果实套袋对果实大小和质量的影响研究结果不一,可能是与使用果袋的类型、套袋的时间、果实类型和品种特异性以及当时的气候条件有关。果实套袋可增加果实质量,如 Xu 等报道在杨桃盛花后 10 d 用塑料袋套袋增大了果实质量<sup>[23]</sup>,Yang 等报道套袋能促进龙眼果实的发育,增大果实<sup>[31]</sup>;也有果实套袋对果实质量和大小无影响的研究报道,如 Rodrigues 等指出使用聚乙烯材质的果袋对香蕉的总质量没有影响<sup>[32]</sup>,Hudina 等报道 3 层纸质果袋对梨的质量和大小无不良影响<sup>[33]</sup>;果实套袋甚至可以减少果实质量,如 Xu 等研究表明套袋减少了枇杷果实的质量<sup>[34]</sup>,还可以减少梨<sup>[35]</sup>、石榴<sup>[36]</sup>和苹果<sup>[37]</sup>的质量和大小。

2.1.2 套袋对果实果皮色泽的影响 果皮色泽是由花青素、叶绿素、类胡萝卜素、类黄酮等色素相互作用形成的,果实由于果皮中各种色素含量不同,呈现出不同的“色相”和“色调”<sup>[38]</sup>。套袋后,袋内光照强度减弱,花青苷合成酶、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查尔酮合成酶(CHS)等的表达受到抑制,花青苷、叶绿素和简单酚类的合成受到抑制,果皮的叶绿素含量显著减少,果实表面黄化呈乳白色或浅绿色;和正常的绿色果实相比,去袋后的黄化果实只需少量光辐射就能形成大量花青苷,去袋后 13 h,花青苷合成酶类(如 PAL、CHS 等)被激活,4~8 d 后果实着色超过不套袋果<sup>[39]</sup>。Kikuchi 研究认为,套袋的黄化苹果在去袋照光后,表皮和亚表皮几乎同时形成花青苷,而不套袋果首先在表皮形成花青苷,然后随果实成熟

花青苷合成部位渐渐内移<sup>[40]</sup>。这也是套袋的黄化苹果在去袋后迅速着色的重要原因。

套袋影响果实着色,一方面与果袋种类、套袋与摘袋时间等有关,另一方面与果实体内合成花青素的含量有关<sup>[41]</sup>。套袋抑制果实色泽发育,是因为果实套袋的基本作用是抑制显色,究其原因是套袋抑制果实果皮花青素的积累;去袋可以改善果实的颜色,是因为去袋后花青素迅速积累,使其含量高于不套袋果实,有研究表明,套袋处理在去袋后能够提高水果的光敏感性,刺激花青素的合成,通过增加花青苷含量来提高果实的颜色,不套袋果实底色为暗绿色,套袋果实的底色是比较亮的绿色,Zhou 等指出橄榄树在使用盛达 TM 双层果袋以后果实形成了引人注目的金黄色<sup>[42]</sup>,Wang 等和 Liu 等报道套袋能诱导 Golden Delicious 和 Granny Smith 果实着色变红<sup>[43-44]</sup>。

2.1.3 套袋对果面光洁度的影响 在栽培、收获、包装和运输过程中,水果容易产生物理缺陷和损坏,套袋可以减少这些情况的发生,使果实光洁度更高,外观更加光滑、美观。未套袋的芒果易发生赤霉病、果实畸形等问题,套袋解决了这种问题<sup>[45]</sup>。

套袋能够抑制苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)及过氧化物酶(POD)等木质素、蜡质、角质等合成酶的活性,使表皮层细胞分泌蜡质少而均匀,木质素合成减少,木栓形成层的发生及活动受到抑制,皮孔发生少而小,颜色浅<sup>[29]</sup>。陈修会等指出套袋还可以减轻果锈<sup>[46]</sup>,李慧峰等对苹果的研究表明,套袋明显提高了果实的光洁度<sup>[6]</sup>。

### 2.2 套袋对果实内在品质的影响

2.2.1 套袋对水果矿物质成分含量的影响 果实中的养分会增加果实的内在品质,在果实发育阶段套袋会影响果实的营养成分。东忠方等报道纸袋处理苹果中钙浓度最低,其他袋子处理钙含量增加<sup>[47]</sup>,Kim 等指出苹果在盛花期后 4~5 周使用钙涂布纸袋处理增加了果皮的钙含量<sup>[48]</sup>,套袋对梨氮、磷含量影响不大,但钾、钙、镁的浓度分别下降了 9.6%、38.9%、6.7%<sup>[48-49]</sup>。

2.2.2 套袋对可溶性固形物含量的影响 果袋通过一个微域环境改变了果实的生长发育,形成的“温室效应”使果实的光合作用和呼吸作用等代谢发生了改变,影响了糖分等有机物质的积累,Bentley 等最初发现套袋可以提高苹果的甜度<sup>[50]</sup>,Sharma 等也证明套袋提高了苹果可溶性固形物的含量<sup>[18]</sup>,还有研究发现,套袋可以增加石榴、桃、葡萄、枇杷、芒果等的可溶性固形物含量<sup>[1]</sup>。夏静等却指出套袋对苹果的可溶性糖、还原性糖含量没有影响<sup>[51]</sup>,也有研究发现套袋对沙梨糖含量没有影响<sup>[52]</sup>,但 Chen 等却发现套袋使苹果可溶性总糖的含量略有降低<sup>[53]</sup>;Tyas 等研究也表明,苹果套双层纸袋后果实总糖含量显著降低,其中蔗糖含量下降较明显<sup>[38]</sup>。也有研究指出,套袋降低了李子可溶性固形物的含量<sup>[54]</sup>。

2.2.3 套袋对可滴定酸含量的影响 套袋对可滴定酸含量也有一定的影响,Debnath 等发现套袋显著提高了荔枝的固酸比<sup>[55]</sup>,Hiratsuka 等指出套袋降低了柑橘有机酸的含量<sup>[56]</sup>,Watanawan 等研究说明套袋提高了芒果可滴定酸含量<sup>[57]</sup>,夏静等却指出套袋对苹果可滴定酸含量没有影响<sup>[51]</sup>。

**2.2.4 套袋对酶活性的影响** 酶在水果发生生化变化过程中起着至关重要的作用,果实套袋通过影响关键酶活性,改变果实的品质。水果套袋显著抑制苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性和花青苷合成<sup>[58-59]</sup>,PAL 催化花色苷合成前体的生成,从一定意义上讲,花色苷浓度的变化取决于 PAL 活性变化,但最大的 PAL 活性并不是唯一调节成熟苹果花色素苷积累的因素。Ni 等发现套袋果酸性转化酶活性和中性转化酶活性均低于不套袋果,而蔗糖合成酶活性和蔗糖磷酸合成酶活性均高于未套袋果,山梨醇脱氢酶活性和山梨醇氧化酶活性均低于未套袋果,说明套袋增加光合作用的产物主要是通过提高蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶的活性所致<sup>[60]</sup>。Wang 等报道苹果套袋果实中超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶均高于未套袋果实<sup>[61]</sup>。Hiratsuka 等认为套袋果实中磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶活性的峰值是不套袋的 90%<sup>[56]</sup>。

**2.2.5 套袋对酚类化合物含量及抗氧化活性的影响** 酚类化合物是次级代谢产物,起着抗氧化作用,保护植物免受多种疾病的侵袭,果实套袋对果实酚类物质含量及抗氧化活性有影响。Xu 等报道套袋处理后枇杷果实总酚、总黄酮含量和总抗氧化活性下降<sup>[34]</sup>;Hudina 等证明套袋处理使梨果皮中酚类化合物含量显著降低,但果肉中差异不显著<sup>[62]</sup>;Xie 等指出水果套袋后,3 个柑橘品种酚类化合物浓度及抗氧化活性降低<sup>[63]</sup>;Chen 等报道果实套袋减少了 3 个苹果品种(金香、红星、皇家嘎拉)果皮和果肉中大多数酚类化合物的浓度<sup>[53]</sup>。

**2.2.6 套袋对香气挥发物的影响** 很多水果因其香味和风味而被消费者所喜欢,一些挥发性有机物有助于果实香味和风味的形成,套袋间接影响挥发性有机化合物的合成,套袋对挥发性有机物的影响研究主要集中在桃上,有研究表明橘色纸袋处理白凤桃对总挥发性有机化合物合成并无影响,但果皮和果肉之间的挥发性有机物浓度差异显著,改善了水果的风味<sup>[64]</sup>。也有研究报道,套袋处理湖景蜜露桃的挥发性有机化合物合成增加,套袋处理增加了总的酯类化合物含量,但降低了总的醇和醛含量<sup>[65-66]</sup>。

**2.2.7 套袋对果实硬度的影响** 果实硬度是成熟期果实采收的重要指标。果实套袋会影响果实的结实度。Sharma 等报道皇家美味苹果在采收期果实硬度高于不套袋处理,在储藏过程中套袋处理继续保持较高硬度值<sup>[18]</sup>。Singh 等报道 Allahabad Safeda 石榴套袋处理果实质地柔软<sup>[67]</sup>。Faoro 等则指出套袋对 Nashi 梨的果实硬度没有影响<sup>[52]</sup>。

### 2.3 套袋对果实贮藏品质的影响

关于套袋对果实贮藏品质的影响,研究结果不一,多数人认为,套袋能有效提高果实的贮藏性,但也有些研究表明套袋降低了果实的贮藏性。郑小林等研究发现,凯特芒果栽培中果实套袋有利于改善果实的外观品质,并提高果实的耐贮性<sup>[68]</sup>。路贵龙等研究指出,采前套绿透袋和无纺布袋均使佐梨的综合贮藏品质次于不套袋果,降低了果实的贮藏性<sup>[69]</sup>。王少敏等研究发现,短枝富士苹果套双层纸袋处理,采收后在 5℃ 下贮藏,套袋果与不套袋果的硬度、可溶性固形物及可溶性糖含量均呈下降趋势,果实含水量呈上升趋势<sup>[70]</sup>;贮藏后期套袋果较不套袋果可滴定酸含量降低的幅度较小,可溶性固形物含量降低幅度较大,这可能与果实套袋后引起各物质

变化的相关酶的活性升高有关。

### 2.4 套袋对病虫害、农药残留的影响

**2.4.1 套袋对果实病虫害的影响** 果实套袋后,果袋阻隔了果实与外界的联系,病菌、害虫和鸟侵入的机会大大降低。套袋隔离了外界不良环境,防止虫害对果实造成损害,防止病原体进入果实<sup>[71-72]</sup>。

套袋后一般性果实病虫害(如轮纹病、黑星病以及蜡象、金龟子等)的发生和危害明显减少,防虫果袋还具有防治梨黄粉虫、康氏粉蚧等入袋为害的作用。黄明对梨小食心虫发生严重的果园进行试验证明,套袋果虫果率为 4.47%,未套袋果虫果率为 82.5%<sup>[73]</sup>;还有报道发现,果实套袋可以降低芒果炭疽病和茎腐病的发病率<sup>[74]</sup>。鸟类对香蕉、芒果、苹果、葡萄等果实的危害主要表现在果实成熟期,造成严重损失,果实套袋有助于减少各种水果鸟害。

**2.4.2 套袋对果实农药残留的影响** 杀虫剂和杀菌剂等农药使用后的残留对人类有害,果实套袋后,果袋阻隔了果面与外界的联系,使果实避免有害灰尘的污染,避免了农药与果面的直接接触,因而农药残留量明显减少。王建武等发现套袋对荔枝果实的味道没有影响,但可以降低水果中甲氰菊酯、敌百虫的残留量<sup>[75]</sup>。刘建海等报道套袋能够减少红富士苹果的农药残留量<sup>[76]</sup>。蔺经等研究也说明套袋翠冠梨果实中氟氯氰菊酯、多菌灵残留量远低于不套袋,并且建议双层套袋对生产优质梨更有效<sup>[22]</sup>。

## 3 研究展望

一般来说,套袋使果实果面光洁,缺陷减少,色泽鲜艳,提高了果实外观品质,对生产优质水果作用很大,但是不同类型果袋影响不同,须继续细化研究不同区域、不同树种、不同品种的具体套袋技术,包括果实品质与袋的类型、套袋时间、解袋时间等。例如,塑料袋价格低廉,但在环境中难以降解,如果使用纸袋,在雨水多地区是不可行的。因此,需要根据不同区域、不同树种、不同品种的物候期来科学设置套袋时间及解袋时间,更要在同一地区进行不同类型果袋试验,对摘袋后的生理生化机制进行深入研究,进一步明确果袋对果实品质的影响,从中筛选出适宜生产高品质果实的果袋。另外,果实品质与配套栽培管理措施有关,如果在套袋栽培过程中重套袋轻管理,会因气候条件、套袋方式的不同,造成或加剧水锈、苦痘病、粉虱、日灼果等问题。

套袋的研究大多集中在对外观品质的影响上,对果实内在品质研究也主要是糖酸等指标,其他的如酚类物质等研究较少,需要加强研究,特别是袋内微环境与果实风味物质含量的关系等,如果果袋既能改善果实的外观品质,又能够提高果实的内在品质,则能使优质套袋果的生产得到有力保障,从而更好地满足国内外市场对高档果品日益增长的需求。

果实套袋虽然可以改善果实的品质,但套袋成本高,传统的套袋技术费时费力,在劳动力成本居高不下的当前境况,已经越来越难以为继,须加强果实套袋技术的研究,开拓思路,一方面,加强套袋替代技术的研究,如果实表面喷高脂膜代替果袋,高脂膜是一种高级脂肪醇成膜物,喷涂果面迅速形成一层很薄的、肉眼不可见的高分子柔软膜,高脂膜已成为一种新型的植物保护剂,不同于常规的杀菌剂和杀虫剂等农药,不但

可以防治苹果炭疽病、轮纹病、苹果绣病等,用于果实保鲜,而且还可获得特殊的效果,效果等于或超越塑料微膜袋;另一方面,须加强果袋套袋机械的研发及应用,减少套袋的用工量,从而使果实套袋技术能够顺利应用。

#### 参考文献:

- [1] Sharma R R, Reddy S, Jhalegar M J. Pre-harvest fruit bagging: a useful approach for plant protection and improved post-harvest fruit quality—A review [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2014, 89(2): 101–113.
- [2] Teixeira R, Carissimi Boff M I, Talamini do Amarante C V, et al. Effects of fruit bagging on pests and diseases control and on quality and maturity of ‘Fuji Suprema’ apples[J]. Bragantia, 2010, 70(3): 688–695.
- [3] Hofman P J, Smith L G, Joyce D C, et al. Bagging of mango (*Mangifera indica* cv. ‘Keitt’) fruit influences fruit quality and mineral composition[J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 12(1): 83–91.
- [4] Joyce D C, Beasley D R, Shorter A J. Effect of pre-harvest bagging on fruit calcium levels, and storage and ripening characteristics of ‘Sensation’ mangoes [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1997, 37(3): 383–389.
- [5] Amarante C, Banks N H, Max S. Effect of pre-harvest bagging on fruit quality and postharvest physiology of pears (*Pyrus communis*) [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2002, 30(2): 93–98.
- [6] 李慧峰, 吕德国, 刘国成, 等. 套袋对苹果果皮特征的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(3): 326–329.
- [7] 张华云, 王善广, 牟其芸, 等. 套袋对莱阳柰梨果皮结构和 PPO、POD 活性的影响[J]. 园艺学报, 1996, 23(1): 23–26.
- [8] 滕玉柱. 无纺布果袋(PP 果袋)对红地球和玫瑰香葡萄果实品质的影响[J]. 山西果树, 2012, 28(2): 55–56.
- [9] 张斌斌, 蔡志翔, 马瑞娟, 等. 套袋对晚熟桃霞晖 8 号果实品质的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(12): 46–49, 58.
- [10] 胡桂兵, 王惠聪, 黄辉白. 套袋处理提高“妃子笑”荔枝果实耐贮性[J]. 园艺学报, 2001, 28(4): 290–294.
- [11] 王元理, 秦达遼, 李桂珍, 等. 套袋时期与所用材料对芒果果实品质的影响[J]. 热带农业科学, 2004, 24(3): 9–12.
- [12] 朱世江, 马丽艳, 刘少群. 不同套袋对香蕉主要品质和耐贮性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 304–307.
- [13] 王春梅, 张秋明, 王 红. 套袋对果实品质的影响及形成机理研究进展[J]. 热带农业科学, 2009, 29(7): 82–85.
- [14] 张世叶. 果实套袋类型及性能[J]. 山西果树, 2003, 24(3): 45.
- [15] 王惠聪, 黄旭明, 黄辉白. ‘妃子笑’荔枝果实着色不良原因的研究[J]. 园艺学报, 2002, 29(5): 408–412.
- [16] Ding P, Syakirah M N. Influence of fruit bagging on postharvest quality of ‘Harumanis’ mango (*Mangifera indica* L.) [J]. Acta Horticulturae, 2010, 877: 169–174.
- [17] Takata D, Fukuda F, Kubota N. Effects of fruit position in canopy, harvest date and bagging on occurrence of reddish-pulp fruit in peach (*Prunus persica*) [J]. Horticultural Research, 2006, 5(1): 33–37.
- [18] Sharma R R, Pal R K, Asrey R, et al. Pre-harvest fruit bagging influences fruit color and quality of apple cv. Delicious [J]. Agricultural Sciences, 2013, 4(9): 443–448.
- [19] Sarker D, Rahman M M, Barman J C. Efficacy of different bagging materials for the control of mango fruit fly[J]. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 2009, 34(1): 165–168.
- [20] Morera-Montoya R, Blanco-Metzler H, Luis-Loria C. Evaluation of different bagging materials for the control of the fruit fly *Anastrepha* sp. (Diptera: Tephritidae) and fruit pathogens in taiwanese guava fruits (*Psidium guajava* L.) [J]. Acta Horticulturae, 2010, 849: 283–292.
- [21] Fumuro M, Gamoh H. Effects of bagging on the occurrence of black stain on the skin of ‘Shinsyu’ persimmon (*Diospyros kaki* L.) grown under film [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2001, 70(2): 261–263.
- [22] 蔺 经, 李晓刚, 杨青松, 等. 两种套袋方式对翠冠梨果实品质、农药残留及贮藏的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1): 174–176.
- [23] Xu C X, Chen H B, Huang R Y, et al. Effects of bagging on fruit growth and quality of carambola [J]. Acta Horticulturae, 2008, 773: 195–200.
- [24] 高登涛, 魏志峰. 图说苹果套袋技术 [J]. 果农之友, 2016, 17(5): 16–18.
- [25] Ju Z G. Fruit bagging, a useful method for studying anthocyanin synthesis and gene expression in apples [J]. Scientia Horticulturae, 1998, 77(3): 155–164.
- [26] Huang C, Yu B, Teng Y, et al. Effects of fruit bagging on coloring and related physiology, and qualities of red Chinese sand pears during fruit maturation [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 121(2): 149–158.
- [27] Qu S C, Du B B, Xia J, et al. Effect of bag removal on ‘Fuji’ apple coloration [J]. African Journal of Agricultural Research, 2012, 7(18): 2770–2776.
- [28] 崔丽贤. 枣果套袋防裂技术 [J]. 果农之友, 2016, 17(10): 14.
- [29] 翟 衡, 任 诚, 厉恩茂, 等. 套袋对苹果生产投资结构的影响及密植园遮光问题 [J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 921–926.
- [30] 张振铭, 张绍铃, 胡化广. 果实品质形成机制及其套袋对果实品质影响的研究进展 [J]. 河北林果研究, 2009, 24(1): 84–87.
- [31] Yang W H, Zhu X C, Bu J H, et al. Effects of bagging on fruit development and quality in cross-winter off-season longan [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 120(2): 194–200.
- [32] Rodrigues M V, Souto R F, Menegucci J P. Influence of polyethylene banana bunch cover for irrigated banana tree in the North of Minas Gerais State [J]. Revista Brasileira de Fruticultura, 2001, 23(3): 559–562.
- [33] Hudina M, Stampar F. Bagging of ‘Concorde’ pears (*Pyrus communis* L.) influences fruit quality [J]. Acta Horticulturae, 2011, 909: 625–630.
- [34] Xu H, Chen J, Xie M. Effect of different light transmittance paper bags on fruit quality and antioxidant capacity in loquat [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(11): 1783–1788.
- [35] Hudina M, Stampar F. Effect of fruit bagging on quality of ‘Conference’ pear (*Pyrus communis* L.) [J]. European Journal of Horticultural Science, 2012, 76(5/6): 176–181.
- [36] Mir M, Sharma S D, Kumar P. Nutrient dynamics: effect on cropping behavior, nutrient profile and quality attributes of pomegranate (*Punica granatum* L.) under rainfed agroclimatic conditions [J].

- Journal of Plant Nutrition, 2015, 38(1): 83–95.
- [37] Arakawa O, Uematsu N, Nakajima H. Effect of bagging on fruit quality in apples[J]. Hirosaki University, 1994, 57(1): 25–32.
- [38] Tyas J A, Hofman P J, Underhill S J, et al. Fruit canopy position and panicle bagging affects yield and quality of ‘Tai So’ lychee[J]. Scientia Horticulturae, 1998, 72(3/4): 203–213.
- [39] 张振铭, 张绍铃, 胡化广. 套袋对果实品质影响的研究进展[J]. 落叶果树, 2009, 41(1): 19–21.
- [40] Kikuchi T. Influence of fruit bag practice on coloration process in apples of different varieties [J]. Bulletin of the Faculty of Agriculture, 1964, 10(1): 89–99.
- [41] 郝燕燕, 李妙玲, 张惠荣, 等. 套袋微环境对果实品质的影响及其机理分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2003, 23(3): 238–241, 260.
- [42] Zhou J H, Zhong G F, Lin Z Z, et al. The effects of bagging on fresh fruit quality of *Canarium album* [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2012, 10(1, 1): 505–508.
- [43] Wang L X, Zhang X J, Liu Y L, et al. The effect of fruit bagging on the color, phenolic compounds and expression of the anthocyanin biosynthetic and regulatory genes on the ‘Granny Smith’ apples [J]. European Food Research and Technology, 2013, 237(6): 875–885.
- [44] Liu Y, Zhang X, Zhao Z. Effects of fruit bagging on anthocyanins, sugars, organic acids, and color properties of ‘Granny Smith’ and ‘Golden Delicious’ during fruit maturation [J]. European Food Research and Technology, 2013, 236(2): 329–339.
- [45] Alvindia D G, Acda M A. The antagonistic effect and mechanisms of *Bacillus amyloliquefaciens* DGA14 against anthracnose in mango cv. Carabao [J]. Biocontrol Science and Technology, 2015, 25(5): 560–572.
- [46] 陈修会, 申为宝. 套袋对苹果和梨果实病虫害的影响[J]. 河北果树, 2000, 12(1): 5.
- [47] 东忠方, 王永章, 王磊, 等. 不同套袋处理对‘红富士’苹果果实钙素吸收的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 835–840.
- [48] Kim D H, Byun J K, Choi C, et al. The effect of calcium chloride, prohexadione–Ca, and Ca–coated paper bagging on reduction of bitter pit in ‘Gamhong’ apple [J]. Korean Journal of Horticultural Science & Technology, 2008, 26(4): 367–371.
- [49] 林存峰. 套袋对锦丰梨果实品质和养分含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 43(2): 87–89.
- [50] Bentley W J, Viveros M. Brown–bagging Granny Smith apples on trees stops codling moth damage [J]. California Agriculture, 1992, 46(4): 30–32.
- [51] 夏静, 章镇, 渠慎春, 等. 套袋对江苏红富士苹果生长发育过程中品质形成因子的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(2): 351–356.
- [52] Faoro I D, Marcia M. Bagging of nashi pear cv. Housui [J]. Brazilian Magazine of Fruit Culture, 2004, 26(1): 86–88.
- [53] Chen C S, Zhang D, Wang Y Q, et al. Effects of fruit bagging on the contents of phenolic compounds in the peel and flesh of ‘Golden Delicious’, ‘Red Delicious’, and ‘Royal Gala’ apples [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 142: 68–73.
- [54] Murray X J, Holcroft D M, Cook N C, et al. Postharvest quality of ‘Laetitia’ and ‘Songold’ (*Prunus salicina* Lindell) plums as affected by preharvest shading treatments [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(1): 81–92.
- [55] Debnath S, Mitra S K. Panicle bagging for maturity regulation, quality improvement and fruit borer management in litchi (*Litchi chinensis*) [J]. Acta Horticulturae, 2008, 773: 201–208.
- [56] Hiratsuka S, Yokoyama Y, Nishimura H, et al. Fruit photosynthesis and phosphoenolpyruvate carboxylase activity as affected by lightproof fruit bagging in Satsuma Mandarin [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2012, 137(4): 215–220.
- [57] Watanawan A, Watanawan C, Jarunat J B. Bagging ‘Nam Dok Mai 4’ mango during development affects colour and fruit quality [J]. Acta Horticulturae, 2008, 787: 325–328.
- [58] Ju Z G, Yuan Y B, Liou C L, et al. Relationships among phenylalanine ammonia–lyase activity, simple phenol concentrations and anthocyanin accumulation in apple [J]. Scientia Horticulturae, 1995, 61(3): 215–226.
- [59] Wang H, Arakawa O, Motomura Y. Influence of maturity and bagging on the relationship between anthocyanin accumulation and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity in ‘Jonathan’ apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 19(2): 123–128.
- [60] Ni Z J, Zhang Z, Gao Z H, et al. Effects of bagging on sugar metabolism and the activity of sugar metabolism related enzymes during fruit development of Qingzhong loquat [J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(20): 4212–4216.
- [61] Wang X, Hang B, Liu C. Distribution of calcium in bagged apple fruit and relationship between anti–oxidant enzyme activity and bitter pit [J]. Agricultural Science and Technology, 2010, 11(1): 82–85.
- [62] Hudina M, Stampar F, Orazem P, et al. Phenolic compounds profile, carbohydrates and external fruit quality of the ‘Concorde’ pear (*Pyrus communis* L.) after bagging [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2012, 92(1): 67–75.
- [63] Xie R J, Zheng L, Jing L, et al. The effect of cultivar and bagging on physicochemical properties and antioxidant activity of three sweet orange cultivars [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] [J]. American–Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science, 2013, 13(2): 139–147.
- [64] Jia H J, Araki A, Okamoto G. Influence of fruit bagging on aroma volatiles and skin coloration of ‘Hakuho’ peach (*Prunus persica* Batsch) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(1): 61–68.
- [65] Zhang X M, Jia H J. Changes in aroma volatile compounds and ethylene production during ‘Hujingmiliu’ peach (*Prunus persica* L.) fruit development [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005, 31(1): 41–46.
- [66] 李慧峰, 王海波, 李林光, 等. 套袋对‘寒富’苹果果实香气成分的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 843–847.
- [67] Singh B P, Anuj S R, Singh G, et al. Response of bagging on maturity, ripening and storage behaviour of ‘Winter Guava’ [J]. International Guava Symposium, 2005, 735: 597–601.
- [68] 郑小林, 张佳佳, 励建荣. “凯特”杧果栽培中果实套袋对其采后品质及贮藏性的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 657–665.
- [69] 路贵龙, 张新富, 张晓菲, 等. 采前套袋对茭梨果实贮藏特性的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 176–181.
- [70] 王少敏, 沈广宁, 薛培生. 1–MCP 与套袋对红富士苹果贮藏生

李国鹏, 谢焕雄, 吴惠昌, 等. 果蔬干燥含水率在线测量技术研究现状及展望[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 41–46.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.009

# 果蔬干燥含水率在线测量技术研究现状及展望

李国鹏, 谢焕雄, 吴惠昌, 颜建春, 魏海

(农业部南京农业机械化研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:** 果蔬干燥过程中的含水率是评价干燥设备运行状态和果蔬干燥质量的一个重要指标, 实时监测果蔬干燥过程中的含水率变化对优化控制工艺、把控干燥品质至关重要。以果蔬为对象, 在前人研究的基础上总结可用于果蔬含水率在线测量的若干方法, 包括利用介电特性、核磁共振技术、数学模型、高光谱成像技术、CT 技术、在线称质量等方法, 概述各种方法实现果蔬含水率测量的原理及研究进展, 并简述当前研究存在的不足与今后发展的方向。

**关键词:** 果蔬干燥; 含水率; 在线检测; 原理; 研究现状; 展望

**中图分类号:** TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0041-06

果蔬营养价值丰富, 是人体无机盐、纤维素、维生素等营养物质的主要来源。在农业生产中, 果蔬是除谷物以外最重要的农作物。大部分果蔬的含水率在 75% ~ 90%, 也有部分果蔬如黄瓜、生菜等含水率达 95% 以上<sup>[1]</sup>。在微生物的作用下, 容易发生各种不良的物理化学变化而导致霉变<sup>[2]</sup>。我国有着十分丰富的果蔬资源, 2015 年我国水果总产量达 27 375 万 t, 蔬菜种植总面积达 2 200 万 hm<sup>2</sup>, 水果种植总面积达 1 281.7 万 hm<sup>2</sup>, 并且呈逐年递增趋势<sup>[3]</sup> (图 1)。对果蔬进行不同程度的深加工可提高果蔬的附加值, 果蔬干燥是果蔬加工的主要形式之一。对果蔬进行干燥可以延长果蔬的保存期, 减轻质量、缩小体积、便于运输<sup>[4-6]</sup>。近年来, 我国果蔬干燥工业发展迅速, 已经成为提高农业效益、增加农民收入的重要行业, 在国际市场有着巨大的发展潜力<sup>[7-8]</sup>。

## 1 果蔬含水率实时测量技术研究现状

含水率是衡量干燥程度和干燥效果的重要指标<sup>[9]</sup>。通常有 2 种表达方式, 分为干基含水率与湿基含水率。干基含水率可以大于 1, 湿基含水率一定小于 1。

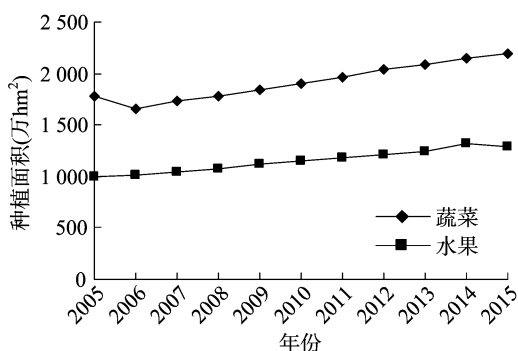


图1 我国果蔬种植面积

$$\text{干基含水率: } X_{\text{dry}} = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{dry}}};$$

$$\text{湿基含水率: } X_{\text{water}} = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{water}} + m_{\text{dry}}}.$$

式中:  $X_{\text{dry}}$  表示干基含水率, %;  $X_{\text{water}}$  表示湿基含水率, %;  $m_{\text{water}}$  表示物料水分质量, kg;  $m_{\text{dry}}$  表示物料干物质质量, kg。

果蔬含水率可以通过直接或间接测量获取。直接测量是通过减压干燥或共沸蒸馏等方式获取物料的水分质量  $m_{\text{water}}$  和干物质质量  $m_{\text{dry}}$  直接计算得出物质含水率<sup>[10]</sup>。间接测量是利用物料自身的物理、化学、光学特性与含水率之间的关系来获得含水率<sup>[11]</sup>。果蔬物料含水率在干燥过程中的实时测量对于干燥工艺过程的优化控制、判别干燥的进程以及把控干燥产品的品质等具有极其重要的意义。由于果蔬品种及物理性质的多样性, 要求其含水率的检测方法也具有多

收稿日期: 2017-08-09

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2017YFD0400905)。

作者简介: 李国鹏 (1994—), 男, 湖北汉川人, 硕士研究生, 主要从事农业装备技术研究。E-mail: greatlgp@163.com。

通信作者: 谢焕雄, 研究员, 主要从事农业机械设计及农产品加工装备。E-mail: xhxq@163.com。

理和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2009, 41(10): 43–45.

[71] Sharma R R, Singh D, Singh R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: a review [J]. Biological Control, 2009, 50(3): 205–221.

[72] Fan X, Mattheis J P. Bagging 'Fuji' apples during fruit development affects color development and storage quality [J]. HortScience, 1998, 33(7): 1235–1238.

[73] 黄明. 套袋防止梨小食心虫效果好[J]. 西南园艺, 1999, 27(2): 26.

[74] Buganic R D, Lizada C, De Ramos M B. Disease control in Philippine 'carabao' mango with pre-harvest bagging and postharvest hot water treatment [J]. Acta Horticulturae, 1997, 455: 797–804.

[75] 王建成, 陈厚彬, 周强, 等. 套袋对荔枝果实质量和农药残留的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 710–712.

[76] 刘建海, 李丙智, 张林森, 等. 套袋对红富士苹果果实品质和农药残留的影响[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2003, 31: 16–18, 21.