

# 运输振动损伤及其对果实采后生理特性与品质影响的研究进展

Research progress on transport vibration damage and effects of fruits on its postharvest physiology characteristics and quality

蒋 宝

JIANG Bao

(渭南职业技术学院, 陕西 渭南 714026)

(Weinan Vocational & Technical College, Weinan, Shaanxi 714026, China)

**摘要:** 运输振动是水果在贮运环节中产生机械损伤, 并导致品质下降的重要原因。文章在分析运输过程中车辆振动情况及影响因素的基础上, 重点综述了卡车运输振动对果实采后生理特性和品质影响研究取得的最新进展, 为降低果实的运输振动损伤提供研究依据和参考。

**关键词:** 水果; 运输振动; 机械损伤; 生理特性; 品质

**Abstract:** In our country, truck transport vibration is the important reason which leads to mechanical damage and quality decreased of fruits during storage and transportation. This paper was on the basis of the analysis of the vehicle vibration in the process of truck transportation, and influencing factors, focused on the latest process in effects of transport vibration on postharvest physiology properties and quality of fruits, providing a basis and reference for the reduced transport vibration damage of fruits.

**Keywords:** fruit; transport vibration; mechanical damage; physiology property; quality

水果从采收到销售的整个流通环节都需要进行运输。目前中国水果以公路运输为主。由于中国东西和南北间的空间跨度较大, 水果在运输过程中要经历长时间的运输振动, 这种运输振动会降低果实的品质, 对于硬脆多汁的果实问题尤为突出。据估计, 由于运输过程中机械损伤造成果实采后损失率达 25%~45%<sup>[1-2]</sup>, 严重影响其经济效益<sup>[3]</sup>。通常认为卡车的运输振动是造成果实机械损伤(擦伤和碰伤)的主要原因<sup>[4-6]</sup>。运输振动对果实造成的直接机械损伤, 严重地影响水果的外观, 同时引起果实振动后的组织流变特性

发生变化继而造成水果在储藏过程中产生延迟损伤<sup>[7-9]</sup>。近年来, 国内外学者围绕着果实运输振动及振动损伤对其品质的影响开展了相关的研究, 笔者在收集相关文献报道的基础上, 就果实运输振动损伤及其采后生理特性和品质影响的研究现状进行综述, 以期降低运输振动对果实造成的损伤提供研究依据和参考。

## 1 运输过程中车辆的振动情况

水果运输过程中, 由于行驶速度和道路状况等因素, 车辆通常会发生前后方向、上下、左右同时振动的现象。其中, 卡车车厢的垂直振动(上下振动)是导致果实运输过程中产生机械损伤的主要原因, 而水平振动(前后方向、左右振动)的影响要远小于垂直振动<sup>[10]</sup>。Pierce 等<sup>[11]</sup>指出不同悬挂类型的卡车在运输过程中的振动是不同的, 钢片弹簧悬架的半挂车振动强度要强于气体悬架的半挂车, 而中国用于水果运输的卡车的悬架类型主要是钢片弹簧悬架。

目前, 国内外学者<sup>[1, 12-13]</sup>对于水果振动损伤的研究多以利用振动模型装置的手段为主, 即将水果样品置于振动试验台上, 通过对相关振动参数(例如, 振动加速度、振动频率和振幅等)的设置来进行研究。由于通过模拟装置的手段进行研究有一定的局限性, 所以也有部分学者<sup>[14-16]</sup>通过对室外卡车运输真实过程的模拟来研究该问题。表 1 列举了部分学者的研究结果。

## 2 影响果实振动损伤的主要因素

在卡车运输过程中, 影响水果振动损伤程度的因素有多种。按照来源不同, 可以分为三类: 第一类是运输前, 即被运输水果在采收前因果实的品种、硬度和成熟度等因素的不同, 对果实振动损伤造成的差异; 第二类是卡车本身, 即因运输水果所使用卡车的悬架类型、卡车载重及轴轮数量不同导致果实振动损伤的差异; 第三类为其它因素, 包括许多不

**基金项目:** 陕西省科技发展研究计划项目(编号: 2015KJXX-98); 渭南市科技发展研究计划项目(编号: 2015KYJ-4-3)

**作者简介:** 蒋宝(1981-), 男, 渭南职业技术学院副教授, 博士。

E-mail: treebaojiang@163.com

**收稿日期:** 2016-10-11

确定因素,例如水果的包装技术(包括包装材料和包装方式)、运输时间(或运输距离)、路面状况(包括高速公路、1~3级公路及乡村土路等)、水果在车厢中被码放的位置(包括车厢前部、尾部、上层和下层)以及运输速度等。并且,在水果的实际运输过程中,通常是多因素共同作用于水果的振动损伤,至于不同因素间是否彼此间存在联系,目前还尚不清楚。此外,上述因素对果实振动损伤的影响作用是间接的,主要是通过改变卡车的振动频率、振动加速度及振幅等来最终影响果实的振动损伤。长期以来,国内外学者们主要围绕着第三类影响因素做了大量研究,表2列举了部分文献中关于影响振动损伤试验的因素。

### 3 运输振动对果实采后生理特性和品质的影响

振动损伤能诱发果实产生一系列的生理生化异常,进而使果实衰老速度加快,营养品质迅速下降,腐烂增加,导致果实品质和耐贮性下降。

#### 3.1 运输振动对果实采后生理特性的影响

3.1.1 呼吸作用 果实采收以后,呼吸作用便成为其新陈代谢的主导过程,而振动胁迫会影响果实采后的呼吸作用。杏

果实在振动过程中,其呼吸速率明显加快,且呼吸高峰提前出现<sup>[31]</sup>。在猕猴桃<sup>[32]</sup>、哈密瓜<sup>[33]</sup>和苹果<sup>[34]</sup>等多种水果中也有类似现象。其原因可能是果实会通过提高呼吸速率来防御逆境,而呼吸速率过高不仅会导致活性氧自由基增加,对细胞膜造成氧化伤害,而且还会加速果实中营养物质的损耗,降低果实质量,加快果实成熟衰老<sup>[35-36]</sup>。

3.1.2 乙烯 乙烯生成速率的变化是果实对振动胁迫的一种应激反应,这种应激反应会造成两种结果,首先是激发相应的保护机制,使乙烯合成速率先减慢,从而抵抗振动胁迫对衰老的促进作用;然后是启动某些衰老机制。随着果实贮藏期的延长,胁迫果实的乙烯生成速率开始加快,说明振动胁迫诱导的抗衰老保护机制的作用逐渐减弱最后消失,随着衰老机制的作用不断增强,果实的衰老进程加速<sup>[37]</sup>。杏果实在经过振动处理后,其内源乙烯生成速率呈先下降后上升的趋势,并且受振动胁迫后果实的乙烯生成速率明显高于对照果实<sup>[31, 38]</sup>。类似的结果在苹果<sup>[34]</sup>、葡萄<sup>[39]</sup>上也被证实。

3.1.3 相对电导率和丙二醛 果实细胞质膜受损伤后导致细胞液的大量渗漏是机械损伤最为典型的生理伤害之一。一般用组织相对电导率的变化来反映细胞液的渗透情况。运输振动能引起组织相对电导率的增加。受振动胁迫的哈

表1 车辆振动情况  
Table 1 Truck vibration situation

水果	研究手段	研究结果	文献来源
苹果	振动模拟装置	当路面状况良好时,通常卡车运输振动的加速度为0.2~0.9 g;当加速度大于1 g时,果实会发生跳动和碰撞现象,此时由振动转变为冲击	[12]
黄花梨、柑橘、甜瓜	室外卡车运输模拟	造成水果振动损伤是低频率的垂直振动	[14~16]
水晶梨	振动模拟装置	汽车运输振动的能量主要集中于0~50 Hz	[1, 17]
黄花梨	室外卡车运输模拟	当卡车的悬架类型为钢片弹簧悬架时,其在运输过程中车厢前后振动的加速度峰值均在2~4 Hz;后车厢板的振动加速度的幅值高于前车厢板;在较低的车速情况下,道路状况对车辆振动的影响起较大作用	[18]
苹果	振动模拟装置	码放于卡车车厢上层的水果受到的加速度大于码放于下层的水果	[19]
南水梨	振动模拟装置	当振动加速度相同时,随着振动频率的降低,梨的损伤程度加重;根据梨果实振动时的S-N曲线,能预测出梨失去商品价值前所允许的振动加速度与振动次数的关系	[13]

表2 影响振动损伤因素

Table 2 The influencing factors of vibration damage test

因素类型	研究对象	试验因素	参考文献
采前因素	草莓	果实成熟度	[20]
	苹果	果实硬度	[21]
	梨	果实品种	[22]
卡车因素	苹果	卡车悬架类型不同/轮轴数量	[23]
	哈密瓜、梨、苹果	包装材料不同/包装方式	[4, 6, 24~26]
	梨	运输时间	[27]
其它因素	梨、苹果、柑橘	路面状况/运输距离	[15, 18, 28~29]
	西瓜、梨	码放位置	[14, 22, 30]
	柑橘、苹果	运输速度	[15, 29]

密瓜在整个贮藏期都有较高的相对电导率<sup>[33]</sup>。类似结果在梨<sup>[28]</sup>、杏<sup>[31]</sup>等果实的研究中也有发现。

丙二醛(MDA)作为植物组织中质膜氧化程度的标志,其含量的变化通常与相对电导率变化同步。因为随着果实细胞膜透性的破坏,果实组织的相对电导率上升,且由外向内,作为膜脂过氧化产物的 MDA 含量也随之增加。对振动胁迫的猕猴桃<sup>[32]</sup>、杏<sup>[40]</sup>的研究证明了这个结论。

3.1.4 植物酶系统 在植物细胞中,SOD(超氧化物歧化酶)、POD(过氧化物酶)、CAT(过氧化氢酶)、LOX(脂氧合酶)及 PPO(多酚氧化酶)等酶与果实衰老,以及减轻脂质氧化和维持细胞膜完整性密切相关<sup>[41-42]</sup>。植物在逆境或衰老过程中,组织内酶活性会发生变化。哈密瓜在整个贮藏期间,受振动胁迫果实中 SOD、POD 和 CAT 酶的活性相对较低,表明振动胁迫可以通过抑制果实 SOD、POD 和 CAT 酶的活性来促进果实的衰老变质<sup>[24]</sup>。在逆境条件下,植物会产生活性氧自由基来激发防御系统抵抗逆境,但过量的活性氧自由基能使细胞膜氧化,SOD 和 CAT 可以将活性氧自由基转化为无毒物质,POD 可以清除过氧化物,抑制脂质氧化,保护细胞膜。由于振动胁迫降低了抗氧化酶活性,使得细胞膜加速氧化,从而加快了果实的衰老变质。对猕猴桃和杏果实的研究表明,随着振动频率的增加和振动时间的延长,LOX 和 PPO 活性呈增加趋势<sup>[32, 40]</sup>,说明振动胁迫使果实细胞膜结构遭到破坏后,相关酶和多酚类物质可能会发生氧化生成醌,醌类物质在有氧条件下可使果实发生褐变,而褐变则是果实成熟衰老的重要指标之一<sup>[40]</sup>。

### 3.2 运输振动对果实品质的影响

3.2.1 硬度 硬度是衡量果实采后品质的重要指标。受振动胁迫的梨<sup>[14]</sup>、猕猴桃<sup>[32]</sup>、哈密瓜<sup>[33]</sup>、苹果<sup>[34]</sup>及杏<sup>[38]</sup>等果实的硬度下降幅度不同程度地高于对照,振动胁迫缩短了其货架寿命。运输振动导致的机械损伤与运输后果实硬度变化之间关系还不太清楚。Miller 等<sup>[43]</sup>认为振动胁迫引起的有关降解细胞壁酶活性增加是造成果实软化的原因,振动胁迫诱导乙烯生成速率加快同样可引起软化加速。

3.2.2 可溶性固形物和总酸 可溶性固形物是果实中一种主要的营养物质,其含量是评价果实品质的重要指标,总酸含量影响果实的口感。通常把糖酸比值作为衡量果实品质的指标。对杏果实研究表明,振动胁迫会增加杏果实可溶性固形物含量,且可溶性固形物含量随着振动胁迫时间的延长而上升<sup>[31, 38]</sup>;而在梨<sup>[44]</sup>和苹果<sup>[34]</sup>上,振动胁迫使果实可溶性固形物含量呈上升—下降—上升的反复变化趋势。除果实本身因素外,上述研究结果的不同也可能是由于试验过程中振动强度不同所造成,当振动强度较低时,振动胁迫对大分子碳水化合物的降解有一定的促进作用,当振动强度达到一定程度后,果实呼吸迅速加快,随着大量的营养物质被逐渐消耗,果实的可溶性固形物含量快速降低。此外,振动胁迫显著地降低了梨<sup>[44]</sup>和杏<sup>[38]</sup>果实中总酸含量,且振动时间越长,总酸含量降低幅度越大,说明振动胁迫会降低果实的风味品质。

3.2.3  $V_c$   $V_c$  又称抗坏血酸,它是果实中重要的营养物

质<sup>[45]</sup>。振动胁迫后哈密瓜<sup>[31]</sup>和杏果实<sup>[33]</sup>在贮藏期其  $V_c$  含量较对照下降明显,且振动时间越长, $V_c$  含量下降越多。 $V_c$  作为一种非酶性抗氧化剂,对果肉褐变起到快速保护作用。随着果肉中其含量的下降,这种保护作用会减弱。

3.2.4 总酚 酚类物质是植物体中重要的次生代谢物质,与果实品质,尤其是果实抗氧化能力关系密切<sup>[33, 46]</sup>。振动胁迫降低了哈密瓜总酚含量,表明振动可能会降低果实抗氧化能力;Fischer 等<sup>[39]</sup>对葡萄果实的研究表明,经振动胁迫处理后果实褐变明显;对梨的研究<sup>[28]</sup>也获得了类似的结果。这可能是经振动胁迫处理后果皮中酚类物质迅速被氧化所致。

## 4 结语与展望

运输振动损伤对果实品质造成的影响不可忽视。过去 20 多年,国内外学者就运输振动与果实品质关系的研究取得了一定的成果,但是还存在一些尚待研究的内容,主要集中在:① 通过室内模拟运输振动来研究果实的振动损伤具有诸多优点,但也存在一定局限性,需要进一步克服该研究手段存在的局限性;② 振动损伤对果实营养和风味品质的影响有待于深入的研究;③ 目前用于评价果实品质变化的指标多为有损检测,无损检测方法需要进一步开发;④ 为了加强对于振动损伤检测结果的可追溯性和便于不同研究者彼此间比较研究结果,应该进一步提高检测手段和分析技术的标准化程度。

### 参考文献

- [1] 魏巍,王芳,赵满全,等. 果蔬运输振动损伤与其品质评价指标的研究现状[J]. 农业化研究, 2015(5): 260-263.
- [2] 李萍,王若伊,林顿,等. 果蔬运输振动损伤及其减震包装设计[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 353-357.
- [3] FUNT R, CAMERON E, BANKS N. The effect of apple fruit bruising on total returns [J]. Good Fruit Grower, 2000, 51: 37-40.
- [4] FADIJI T, COETZEE C, PATHARE P, et al. Susceptibility to impact damage of apples inside ventilated corrugated paperboard packages: effects of package design [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 286-296.
- [5] LU Fei, ISHIKAWA Y, KITAZAWA H, et al. Assessment and prediction of repetitive impact damage to apple fruit using pressure-sensitive film technique [J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2012, 10(2): 156-160.
- [6] EISSA A, GAMAA A H, GOMAA G R, et al. Comparison of package cushioning materials to protect vibration damage to golden delicious apples [J]. International Journal of Latest Trends in Agriculture & Food Sciences, 2012, 2(1): 36-57.
- [7] LV Qiang, TANG Ming-jie. Detection of hidden bruise on Kiwifruit using hyperspectral imaging and parallelepiped classification [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 12: 1 172-1 179.
- [8] OPARA U L, PATHARE P B. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce: A review [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91: 9-24.
- [9] FADIJI T, COETZEE C, CHEN L, et al. Susceptibility of

- apples to bruising inside ventilated corrugated paperboard packages during simulated transport damage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 118: 111-119.
- [10] HINSCH R T, SLAUGHTER D C, CRAIG W L, et al. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport [J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1993, 36(4): 1 039-1 042.
- [11] PIERCE C D, SINGH S P, BURGESS G A. Comparison of leaf-spring with air-cushion trailer suspensions in the transport environment [J]. *Packaging Technology and Science*, 1992, 5(1): 11-15.
- [12] BOLLEN A F, NGUYEN H X, DELA B T. Comparison of methods for estimating the bruise of volume of apples [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, 74(4): 325-330.
- [13] 康维民, 肖念新, 蔡金新, 等. 稳定振动条件下梨的振动损伤研究[J]. *农业机械学报*, 2004, 35(3): 105-108.
- [14] 周然, 李云飞. 不同强度的运输振动对黄花梨的机械损伤及贮藏品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 255-259.
- [15] JARIMOPAS B, SINGH S P, SAENGNIL W. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit [J]. *Packaging Technology and Science*, 2005, 18(4): 179-188.
- [16] JAMAL N, YING Yi-bin, WANG Jian-ping, et al. Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis [J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2005(6): 483-490.
- [17] 陈元生, 潘见, 高良润. 草莓疲劳损伤试验研究[J]. *农业机械学报*, 1990, 3(1): 75-80.
- [18] 周然, 苏树强, 李云飞. 果蔬运输振动频谱检测分析及对水果损伤的研究[J]. *包装工程*, 2007, 28(10): 76-79.
- [19] 李小昱, 王为. 苹果运输振动损伤初探[J]. *西北农业大学学报*, 1998, 26(4): 20-24.
- [20] 陈萃仁, 崔绍荣, 方利军. 草莓果实振动损伤的预测模型[J]. *农业工程学报*, 1997, 13(3): 213-216.
- [21] 祁寿椿, 梁小娥, 冯津. 苹果在模拟运销条件下的质量和生理变化[J]. *华北农学报*, 1996, 11(3): 91-95.
- [22] BERARDINELLI A, DONATI V, GIUNCHI A, et al. Damage to pears caused by simulated transport [J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66: 219-226.
- [23] VURSAVUS K, OZGUYEN F. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in Golden Delicious apples [J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2004, 28(5): 311-320.
- [24] 周然, 王锡昌, 谢晶, 等. 热水结合果蜡处理抑制振动引起哈密瓜衰老的机理[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(24): 318-324.
- [25] 周然, 李云飞. 包装材料对运输和市售条件下黄花梨品质影响[J]. *包装工程*, 2008, 29(11): 8-9.
- [26] PATHARE P B, OPARA U L. Structural design of corrugated boxes for horticultural produce: A review [J]. *Biosystems Engineering*, 2014, 125: 128-140.
- [27] 黄祥飞, 卢立新. 梨果实振动损伤及其对蠕变特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(Supp.1): 34-37.
- [28] ZHOU Ran, SU Shu-qiang, Yan Li-ping, et al. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia Nakai*, cv. Huanghua) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 46: 20-28.
- [29] CHONHENCHOB V, SITTIPOD S, SWASDEE D, et al. Effect of truck vibration during transport on damage to fresh produce shipments in Thailand [J]. *Journal of Applied Packaging Research*, 2009, 3(1): 27-38.
- [30] SHAHBAZI F, RAJABIPOUR A, MOHTASEBI S, et al. Simulated in-transit vibration damage to watermelons [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2010, 12(1): 23-34.
- [31] 程曦, 王英, 许禄鼎, 等. 模拟运输振动胁迫对赛买提苹果品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 340-344.
- [32] 李正国, 苏彩萍, 王贵禧. 振动胁迫对猕猴桃果实衰老生理的影响[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(4): 142-143.
- [33] 曾媛媛, 王锡昌, 周然, 等. 运输振动对哈密瓜贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(3): 141-144.
- [34] 王艳丽, 胡文忠, 庞坤, 等. 机械损伤对富士苹果生理生化变化的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(7): 58-62.
- [35] GUO Qin, WU Bin, PENG Xin-yuan, et al. Effects of chlorine dioxide treatment on respiration rate and ethylene synthesis of postharvest tomato fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 93: 9-14.
- [36] 周然, 刘冰宣, 谢晶, 等. 哈密瓜运输过程品质影响因素及解决方案[J]. *食品与机械*, 2013, 29(5): 176-178.
- [37] 郑永华, 应铁进, 席珂芳, 等. 振动胁迫对杨梅果实采后衰老生理的影响[J]. *园艺学报*, 1996, 23(3): 231-234.
- [38] 刘峰娟, 秦宗权, 沈艾彬, 等. 振动胁迫对杏果实品质的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(10): 266-270.
- [39] FISCHER D, CRAIG W L, WATADA A E, et al. Simulated in-transit vibration damage to packaged fresh market grapes and strawberries [J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 1992, 8(3): 363-366.
- [40] 刘华英, 王大地, 包东东, 等. 库车小白杏对振动胁迫的生理反应研究[J]. *北方园艺*, 2012, 36(12): 176-179.
- [41] YANG Zhen-feng, CAO Shi-feng, SU Xin-guo, et al. Respiratory activity and mitochondrial membrane associated with fruit senescence in postharvest peaches in response to UV-C treatment [J]. *Food Chemistry*, 2014, 161: 16-21.
- [42] 易建华, 董新玲, 朱振宝, 等. 褐变抑制剂对苹果多酚氧化酶抑制机理研究[J]. *食品与机械*, 2015, 31(4): 122-125.
- [43] MILLER A R, DALMASSO J P, KRETCHMAN D W. Mechanical, stress storage time and temperature influence cell wall degrading enzymes, firmness and ethylene production by cucumbers [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1987, 112(4): 666-671.
- [44] 余雅琼, 董明, 王旭东, 等. 机械损伤对砀山酥梨采后生理生化变化的影响[J]. *保鲜与加工*, 2011, 11(3): 10-15.
- [45] 王鹏跃, 陈忠秀, 庞林江. 气调包装对椴柑贮藏及保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(6): 124-127.
- [46] 蒋宝, 罗美娟, 张振文. 地形对品丽珠葡萄果实中多酚物质及其抗氧化活性的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(2): 80-82.