

刘梦琪, 董福佳, 刘贵珊. 模拟运输振动对枸杞果实贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 368–374. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020073

LIU Mengqi, DONG Fujia, LIU Guishan. Effect of Simulate Transportation Vibration on the Storage Quality of *Lycium barbarum* Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 368–374. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020073

· 贮运保鲜 ·

模拟运输振动对枸杞果实贮藏品质的影响

刘梦琪, 董福佳, 刘贵珊*

(宁夏大学食品与葡萄酒学院, 宁夏银川 750021)

摘要: 研究运输振动对枸杞果实贮藏品质的影响, 为其采后物流运输减损提供理论指导。实验选取‘宁杞 7 号’枸杞为试材, 采用模拟运输的方法, 将瓦楞纸箱固定于振动平台上, 在 3 Hz 的振动频率下进行 0 (对照)、4、8、12 和 16 h 的振动处理, 于 4 ± 1 °C, 93% \pm 3% 相对湿度 (Relative Humidity, RH) 的保鲜冰箱中贮藏 20 d, 测定不同贮藏期内枸杞果实硬度、色泽、超氧阴离子自由基含量以及过氧化氢酶、过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性。结果表明, 与对照组相比, 机械振动加速了硬度和色泽值的下降; 超氧阴离子含量、过氧化氢酶、过氧化物酶和超氧化物歧化酶较对照组均有显著升高 ($P<0.05$), 其中, 16 h 振动处理对枸杞果实贮藏期品质变化影响较大。机械振动对枸杞品质的影响是逐渐累积的, 振动时间越久对品质的损伤越大, 同时加速枸杞果实营养物质降解和品质劣变的速度。因此, 在运输过程中避免振动或缩短振动时间具有重要意义。

关键词: 枸杞果实, 模拟运输, 机械振动, 贮藏品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)21-0368-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020073



本文网刊:

Effect of Simulate Transportation Vibration on the Storage Quality of *Lycium barbarum* Fruit

LIU Mengqi, DONG Fujia, LIU Guishan*

(School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The effect of transport vibration on storage quality of *Lycium barbarum* fruit was studied, which provided theoretical guidance for the reduction of postharvest *Lycium barbarum* fruit logistics and transportation damage. In the experiment, ‘Ningqi No. 7’ *Lycium barbarum* was selected as the test material, and the corrugated box was fixed on the vibration platform by the method of simulated transportation. Vibration treatments for 0 (control), 4, 8, 12 and 16 h were performed at a vibration frequency of 3 Hz. The treated *Lycium barbarum* was stored in a fresh-keeping refrigerator at 4 ± 1 °C and 93% \pm 3% RH for 20 d, detected the hardness, color, superoxide anion free radical content and activities of catalase, peroxidase and superoxide dismutase during different storage periods. The results showed that mechanical vibration accelerated the decrease of hardness and color value content, superoxide anion, catalase, peroxidase and superoxide dismutase were significantly increased ($P<0.05$). Among them 16 h vibration treatment had a great influence on the quality changes of *Lycium barbarum* fruit during storage. The impact of mechanical vibration on the quality of *Lycium barbarum* gradually accumulated, the longer the vibration time, the greater the damage to the quality, which accelerated nutrients degradation and quality deterioration rates of *Lycium barbarum* fruit. Therefore, it is important to avoid vibration or shorten the vibration time during transportation.

Key words: *Lycium barbarum* fruit; simulating transportation; mechanical vibration; storage quality

枸杞子 (*Lycium barbarum* L.) 为茄科枸杞属, 作为一种药食同源食物, 富含枸杞多糖、多酚、类胡

收稿日期: 2022-02-14

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划重大项目 (2018BCF01001)。

作者简介: 刘梦琪 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程, E-mail: 18304831026@163.com。

* 通信作者: 刘贵珊 (1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程, E-mail: liugs@nxu.edu.cn。

萝卜素、植物甾醇及其衍生物等^[1],具有益肝明目、降血压、抗肿瘤、预防衰老等作用^[2-3]。鲜枸杞季节性、难以保存,通常被加工成干果、果汁和果酒等。研究表明,加工致使果实大量营养物质和生物活性成分流失,功效降低^[4-5],鲜食可以最大程度地保留枸杞的营养价值,具有较大市场潜力。由于鲜枸杞皮薄多汁的特性,在运输过程中受挤压、振动等因素的影响,极易发生品质劣变,较难实现远距离运输,限制了其作为新鲜水果的销售和可食用性。因此,有必要减少物流运输环节对果实造成的损伤,扩大鲜销面积,提高其商品价值。

运输中产生的机械振动是造成水果损伤的主要原因^[6]。起初表现为明显、肉眼可见的即时损伤,如表皮瘀伤、擦伤、磨损等。在酶的催化作用下,受损部位组织细胞结构被破坏、细胞组成成分降解、果实迅速软化,使鲜果生理代谢异常,品质劣变,不利于其贮藏和销售。近年来,机械损伤对水果生理品质影响的研究大多集中于哈密瓜^[7]、苹果^[8]、桃^[9-10]、柑橘^[11]、杏^[12]、橄榄^[13]、蓝莓^[14]、猕猴桃^[15]等,在鲜枸杞上还未有报道,并且越来越多的研究者聚焦于贮运过程中振动对果实生理及品质的影响。俞雅琼等^[16]发现机械振动在增加梨的呼吸强度的同时,也降低了纤维素酶和苯丙氨酸解氨酶的活性。刘华英等^[17]研究发现机械振动使杏果实软化,并加速营养物质的降解和成熟过程,进而影响杏的商业价值。许时星等^[18]研究认为,运输振动对蓝莓品质的影响逐渐积累,振动时间越久对品质的损伤越大,果实的衰老进程越快,具体表现为超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性上升。Lu 等^[19]和 Xu 等^[20]研究表明,在运输过程中的振动或跌落冲击会对苹果造成严重损害,从而缩短水果的储存时间。大量研究结果表明减少机械振动对水果损伤和保持水果品质具有重要的现实意义,为发展和完善水果物流运输技术提供了科学依据。本文以‘宁杞 7 号’为实验材料,采用模拟运输振动的方法,通过设定不同振动时间,研究机械振动对枸杞果实采收后生理及品质变化规律的影响,为减轻物流运输过程中的枸杞生理品质损伤提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

枸杞鲜果 于 2021 年 7 月 23 日采自宁夏中卫市中宁县,品种为‘宁杞 7 号’。采摘后纸箱包装,放置与水果比例为 1:3 的冰袋,立即装车运至实验室。挑选果实八九成熟、大小均一、无机械伤、果柄未脱落的枸杞作为试验材料;过氧化氢酶活性检测试剂盒、超氧化物歧化酶活性检测试剂盒、过氧化物酶活性试剂盒 北京市索莱宝科技有限公司;聚乙烯吡咯烷酮(Polyvinyl Pyrrolidone, PVP)、乙二胺四乙酸(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid EDTA)、曲拉通 X-100(TritonX-100)、盐酸羟胺(Hydroxylamine Hydrochloride)、对氨基苯磺酸(4-Aminobenzenesul-

fonic Acid)、 α -萘胺(1-Naphthylamine)、亚硝酸钾(Potassium Nitrite) 分析纯,天津大茂化学试剂厂。

T6 紫外可见分光光度计 上海市嘉标测试仪器有限公司;TA-XT plus 质构仪 英国 SMS 公司;CM-2300 d 便携式分光色差仪 日本柯尼卡-美能达;FA2004 分析天平 上海市舜宇恒平科学仪器有限公司;DK-98-1 电热恒温水浴锅 天津泰斯特有限公司;5804R 高速冷冻离心机 湖南省湘仪离心机仪器有限公司;ZH-AS-100 模拟运输振动试验台 东莞市正航仪器设备有限公司;BCD-218D11N 保鲜冰箱 海信容声冰箱有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 枸杞鲜果分装于 24 孔透明塑料盒中(10.5 cm×11 cm×4 cm,壁厚 1 mm,材质 PET),每盒 200±5 g,包装盒内无障碍物,枸杞果实在包装盒中均匀分布。将分装好的样本随机分成五组,包括对照组(0 h)和振动处理组(4、8、12、16 h)每组 18 盒,装箱固定于模拟运输振动平台上,在振动频率 3 Hz,4±1 °C,93%±3% RH 条件下进行模拟运输振动试验。模拟运输振动试验结束后,立即测定其品质指标,同时将剩余样品储存于 4±1 °C,93%±3% RH 的保鲜冰箱中,每 4 d 取样一次,每组样品进行 3 次重复,贮藏期为 20 d。

1.2.2 硬度测定 参考邓淑芳等^[21]的方法并略作改动。采用物性分析仪(即 TA-XT plus 质构仪),选取 P/2N 型号,直径 2 mm 的针形探头,以 100 mm/min 的速度压缩枸杞果实,穿透距离 5 mm,触发力 0.05 N,考虑其离散型,每组样品重复 3 次取平均值。

1.2.3 色差测定 枸杞鲜果颜色采用 CM-2300 d 型分光色差仪测定,每个果实沿赤道线部位选取三个点位测定取平均值,记录 L^* (亮度值)、 a^* (红绿值)和 b^* (黄蓝值)^[22]。每组样品进行 3 次重复取平均值作为测试结果。

1.2.4 超氧阴离子自由基含量测定 根据曹建康等^[23]的方法并略作修改,采用羟氧化法测定超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)含量。称取 5.0 g 枸杞试样,加入 5.0 mL pH7.8 的 50 mmol/L 磷酸缓冲液(内含 20 g/L PVP,1 mmol/L EDTA,0.3%(体积分数)TritonX-100)后冰浴匀浆,于 12000×g、4 °C 离心 20 min。取 1.0 mL 上清液于试管中,加入 1.0 mL 50 mmol/L pH7.8 磷酸缓冲液和 1.0 mL 1 mmol/L 的盐酸羟胺溶液,摇匀后,25 °C 保温 1 h。取出加入 1.0 mL 17 mmol/L 对氨基苯磺酸溶液和 1.0 mL 7 mmol/L α -萘胺溶液,混匀后,25 °C 保温 20 min 进行显色反应。530 nm 吸光度下,以亚硝酸钾做标准曲线,测定吸光度。超氧阴离子含量表示为每克鲜重果肉的超氧阴离子含量,即为 nmol/g。亚硝酸钾标准曲线回归方程为:

$$y = 0.0046x + 0.0014 (R^2 = 0.9999)$$

式中: x 为超氧阴离子的物质的量, nmol/g; y 为

吸光度值。

1.2.5 过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活力测定 过氧化氢酶(catalase, CAT)活力采用相应试剂盒进行测定。每克组织在反应体系中每分钟催化 1 μmol H₂O₂ 降解定义为一个酶活力单位(U/g FW)。

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性检测采用相关试剂盒测定,并略作改动。进行粗酶提取后吸取上清液,向 96 孔板中添加 45 μL 的 100 μmol/L EDTA-Na₂ 溶液、100 μL 的 750 μmol/L 硝基蓝四氮唑溶液、3 μL 的黄嘌呤氧化酶、18 μL 样品和 35 μL 的 130 mmol/L 蛋氨酸溶液,其中对照管包含 18 μL 双蒸馏水。混合后,将样品在室温下培养 30 min,并在 560 nm 处读取吸光度。

1.2.6 过氧化物酶活力测定 过氧化物酶(oxidase, POD)活力采用相关试剂盒测定。操作步骤按照试剂盒说明书进行,反应终止后用分光光度计在 470 nm 波长下测定 OD 值。其活性定义为每克组织在每毫升反应体系中每分钟吸光值变化 0.01 为一个酶活力单位(U/g FW)。

1.3 数据处理

所有试验指标均平行测定 3 次。使用 IBM SPSS 20.0 和 Microsoft Excel 2016 软件进行统计分析。并对实验数据进行方差分析,使用最小显著性差异(LSD)法比较其平均值,使用 Duncan 多重比较分析显著性差异。并由 Origin Pro 8.0 绘制曲线,最终实验数值表示为平均值±标准差和 P 值(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 机械振动对枸杞果实贮藏期间生理及品质的影响

2.1.1 振动时间对枸杞果实贮藏期间硬度的影响

硬度作为评价果实感官品质的重要指标。如图 1 所示,贮藏期间,硬度整体呈下降趋势,其中处理组较对

照组加速枸杞果实硬度的下降。第 0 d 时,振动时间对果实硬度影响较小,差异不显著(P>0.05);随着贮藏期的延长,第 20 d 时,与各处理组之间差异显著(P<0.05),经振动处理(4、8、12 和 16 h)的枸杞果实较对照组硬度分别下降了 8.87%、20.80%、21.44% 和 29.77%。结果表明,受长时间振动应力的影响,枸杞果实的硬度在货架期后期迅速下降,分析原因可能是振动加速了枸杞果实纤维素、果胶等细胞壁成分的降解,细胞壁网格结构被破坏,使枸杞果实软化^[24]。张哲等^[25]观察到振动后葡萄的硬度在贮藏期明显下降,与本研究结果相似。

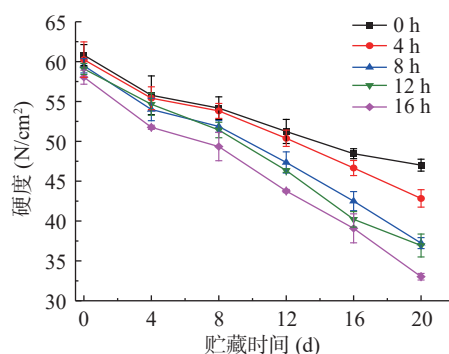


图 1 不同振动时间对枸杞果实贮藏期间硬度的影响
Fig.1 The effect of different vibration time on the hardness of *Lycium barbarum* fruit during storage

2.1.2 振动时间对枸杞果实贮藏期间色泽的影响

色泽作为水果采后重要的外观品质参数之一,其光泽度、均匀度和深浅度关系到水果的商品价值,更直观地影响着消费者对水果成熟度和新鲜度的判断^[26]。由表 1 可知,在贮藏期间,各组枸杞果实 L*、a*、b* 值总体呈下降趋势。

在贮藏第 0 d 和第 4 d 时,8 和 16 h 振动处理组的 a* 和 b* 值均显著高于同期对照组(P<0.05),8 h 振

表 1 不同振动时间对枸杞果实采后 L* 值、a* 值和 b* 值的影响

Table 1 Effects of different vibration time on L*, a* and b* values of *Lycium barbarum* fruit during storage

振动时间(h)	贮藏天数(d)						
	0	4	8	12	16	20	
L*	0	50.97±0.39 ^a	49.04±1.00 ^{ab}	49.49±0.42 ^a	47.15±0.81 ^b	47.08±1.01 ^{ab}	47.54±0.95 ^a
	4	50.55±0.95 ^a	49.56±0.26 ^a	48.91±0.97 ^{ab}	49.21±0.31 ^a	48.54±0.91 ^a	46.42±0.71 ^a
	8	49.07±0.87 ^b	47.88±0.63 ^b	48.58±0.38 ^{ab}	47.28±0.74 ^b	48.71±0.88 ^a	46.32±0.88 ^a
	12	49.09±0.94 ^b	49.23±0.48 ^{ab}	48.01±0.64 ^b	48.66±0.91 ^a	46.19±0.98 ^b	47.19±0.72 ^a
	16	50.85±0.56 ^a	48.23±0.99 ^{ab}	46.79±0.77 ^c	48.86±0.85 ^a	48.35±0.25 ^a	46.64±0.90 ^a
a*	0	47.11±0.68 ^c	44.05±0.81 ^d	46.06±0.27 ^{ab}	44.89±0.12 ^b	46.46±0.58 ^a	41.02±0.27 ^d
	4	47.37±0.48 ^{bc}	46.03±0.58 ^{bc}	46.94±0.69 ^a	46.57±0.69 ^a	45.90±0.59 ^{ab}	42.63±0.96 ^{bc}
	8	48.26±0.38 ^{ab}	47.26±0.98 ^{ab}	45.08±0.88 ^b	44.98±0.26 ^b	42.11±0.70 ^c	44.49±0.14 ^d
	12	47.55±0.66 ^{bc}	47.91±0.19 ^a	45.08±0.74 ^b	43.95±0.31 ^c	46.56±0.49 ^a	41.93±0.96 ^{cd}
	16	48.95±0.44 ^a	45.57±0.94 ^c	45.72±0.92 ^{ab}	44.47±0.37 ^{bc}	44.85±1.12 ^b	43.25±0.42 ^b
b*	0	44.56±1.05 ^c	40.89±0.93 ^c	44.30±0.64 ^a	43.12±0.83 ^a	44.59±0.44 ^{ab}	39.51±0.76 ^c
	4	45.71±0.35 ^b	45.70±0.48 ^a	44.34±0.91 ^a	44.60±0.18 ^a	42.86±0.46 ^c	42.01±0.92 ^{ab}
	8	47.16±0.35 ^a	46.49±0.23 ^a	43.66±0.91 ^a	43.24±0.94 ^a	39.32±0.74 ^d	43.01±0.33 ^a
	12	46.50±0.39 ^{ab}	45.80±1.00 ^a	43.94±0.66 ^a	40.70±1.02 ^b	45.81±0.95 ^a	39.51±0.51 ^c
	16	45.95±0.38 ^b	43.20±0.58 ^b	43.60±0.63 ^a	43.37±0.48 ^a	43.97±0.74 ^{bc}	41.14±0.23 ^b

注: 同列不同小写字母表示组内差异显著(P<0.05)。

动处理组的 L^* 值(在第 0、4、8、20 d)均低于对照组; b^* 值代表蓝黄程度, 贮藏第 8 d 时, 各处理组之间 b^* 值均无显著性差异 ($P>0.05$); 在贮藏 12 d 时, 12 h 振动处理组的 b^* 值与对照组相比显著降低 ($P<0.05$); 贮藏 16 d 时, 振动 8 h 处理组的 a^* 、 b^* 值较同期对照组显著降低 ($P<0.05$); 亮度 L^* 值代表色彩由明到暗的特征, L^* 值随贮藏时间的增加呈下降趋势, 贮藏末期各组间 L^* 值均无显著差异 ($P>0.05$), 类似的结果在 Sabir 等^[27] 的研究中发现, 桃子的 L^* 值随储存时间的增加而降低且对照组高于振动组; 整个贮藏期内枸杞果实的色泽值 (L^* 、 a^* 、 b^*) 均随着贮藏时间的增加而减小, 呈波动趋势。造成该趋势的原因可能是由于贮藏期的延长使枸杞果实表皮出现褐变、黑点、霉变等, 这使得枸杞表皮颜色不均一, 很难精确测量, 类似的情况在 Dagdelen 等^[9] 的研究中也出现过。

2.1.3 不同振动时间对枸杞果实超氧阴离子含量的影响 超氧阴离子、过氧化氢等活性氧(reactive oxygen species, ROS)的产生是水果启动衰老的重要信号分子^[28]。在果实成熟期间, 超氧阴离子的含量不断累积^[29]。如图 2 所示, O_2^- 的含量随着贮藏时间的延长而急剧增加, 说明振动处理加速了超氧阴离子含量的增长。在贮藏初期, 振动时间对枸杞果实 O_2^- 含量的影响较小; 而贮藏第 20 d 时, 振动(4、8、12 和 16 h)胁迫下的枸杞果实 O_2^- 含量分别达到 726.45、720.65、789.49 和 854.17 nmol/g, 与同期对照组相比, 振动组(4、8、12 和 16 h) O_2^- 含量分别增加了 6.1%、5.2%、15.3% 和 24.7%。说明随着贮藏时间的延长, 振动时间显著促进了枸杞果实中 O_2^- 含量的增加 ($P<0.05$), 其中 O_2^- 的累积可能会导致细胞出现脂质过氧化现象, 使细胞膜受损, 加速枸杞果实的衰老^[30]。

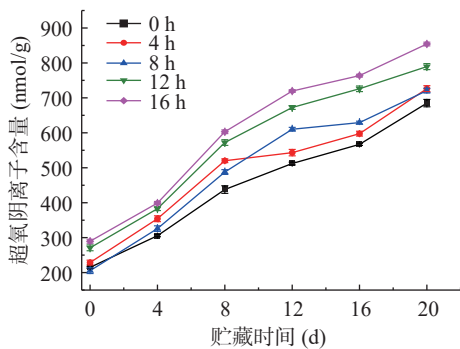


图 2 不同振动时间对枸杞果实贮藏期间超氧阴离子含量的影响

Fig.2 The effect of different vibration time on the content of superoxide anion in *Lycium barbarum* fruit during storage

2.1.4 不同振动时间对枸杞果实 CAT 活性和 SOD 活性的影响 CAT 是果实后熟衰老过程中的一种保护性酶, 可以特异地清除超氧阴离子自由基和过氧化氢, 从而减少对膜的损伤, 达到延缓细胞的衰老进程^[31]。图 3A 和 B 显示了不同振动时间对枸杞果实

贮藏过程中 CAT 和 SOD 活性的影响。由图 3A 可以看出, 在贮藏期间, CAT 活性呈先上升后下降的趋势, 第 12 d 时酶活性达到峰值, 振动组(4、8、12 和 16 h)和对照组(0 h)的 CAT 活性分别为 397.76、399.342、404.31、429.17 和 383.296 U/g, 其中, 振动组的 CAT 活性显著高于对照组 ($P<0.05$), 可以看出振动处理促进了 CAT 活性的上升, 并随着振动时间的增长而增高, 可能是枸杞果实中的 CAT 活性对运输振动敏感, 振动促进了 H_2O_2 的积累, 加剧了膜脂过氧化, 从而诱导 CAT 活性增大^[18]。但随着贮藏期的延长, H_2O_2 的累积量达到较高水平, 当累积量达到一定程度未及及时清除, 可能会抑制 CAT 的活性, 故在第 12 d 后开始逐渐下降, 这与 Xu 等^[32] 对蓝莓的研究结果相似。

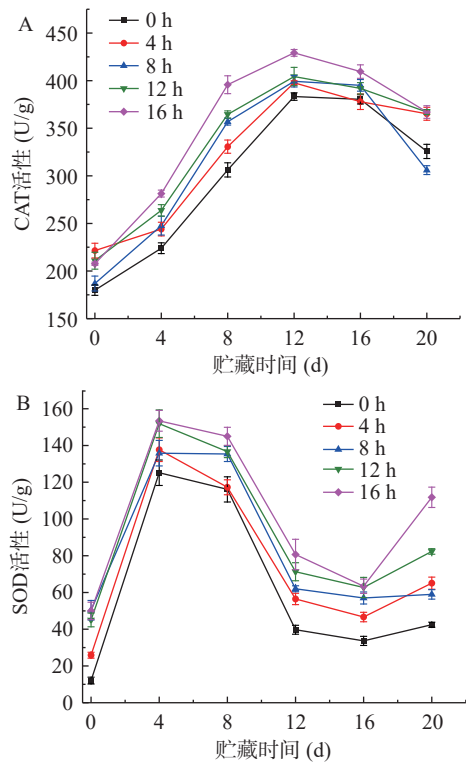


图 3 不同振动时间对枸杞果实贮藏期间过氧化氢酶(A)和超氧化物歧化酶(B)的影响

Fig.3 The effect of different vibration time on catalase (A) and superoxide dismutase (B) during storage of *Lycium barbarum* fruit

SOD 是生物体内最重要的抗氧化酶之一, 是细胞防御 ROS 毒害作用的第一道防线^[33]。由图 3B 所示, 对照和振动处理组的枸杞果实 SOD 酶活性在贮藏前期迅速增加, 而后随着贮藏期的延长逐渐降低。这可能是因为 SOD 作为一种诱导酶, 因采后环境变化, 氧化应激导致 ROS 的产生刺激了 SOD 活性的增强以抵御水果组织的氧化损伤; 而贮藏中后期, 有害物质的累积和 ROS 的清除使得 SOD 活性逐渐降低^[34]。振动处理提升了整个贮藏期 SOD 的活性, 同一贮藏期内, 除第 4 d 和第 8 d, 对照组和振动处理组枸杞果实的 SOD 活性均存在显著差异 ($P<0.05$)。

在第 4 d 时,经振动处理 4、8、12 和 16 h 的 SOD 活性为 137.68、135.82、151.87 和 153.43 U/g,较同期对照组(0 h)分别增加了 10.0%、8.5%、21.3%、22.6%。第 4 d 后, SOD 活性逐渐下降,即使在贮藏末期,振动处理组(4、8、12 和 16 h)的 SOD 活性仍显著高于对照组($P<0.05$),特别是第 20 d 时振动 16 h 的 SOD 活性是同期对照组的 2.6 倍,达到了 111.79 U/g。

2.1.5 不同振动时间对枸杞果实 POD 活性的影响
POD 作为过氧化物的清除剂,当植物受到逆境胁迫,如机械振动、挤压或碰撞时,可以防止植物细胞的过氧化。图 4 表明,贮藏前期,活性氧的产生促进细胞膜脂过氧化,诱发自由基链式反应,使枸杞果实的 POD 活性升高。贮藏中后期,振动处理在提高 POD 清除自由基能力的同时,一定程度破坏了细胞膜的完整性,加速枸杞衰老进程,在第 8 d 以后 POD 活性逐渐降低。前两个贮藏期内,枸杞果实 POD 活性随着振动时间的延长而迅速增多,第 8 d 时振动组 POD 活性达到峰值,较对照组有显著性差异($P<0.05$),含量分别是 181.66、201.73、212.52、222.80、244.54 U/g。与陈豫等^[35]的实验结论相同,与对照组相比振动应力促进 POD 活性增强,长时间振动对果实造成的机械损伤较严重。

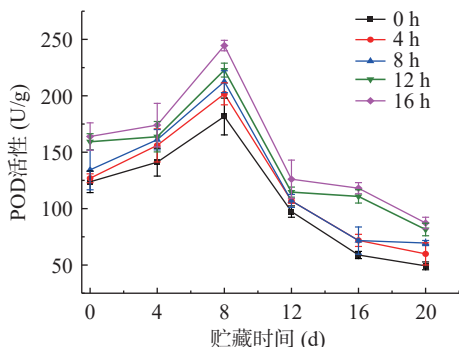


图 4 不同振动时间对枸杞果实贮藏期间过氧化物酶的影响
Fig.4 The effect of different vibration time on peroxidase during storage of *Lycium barbarum* fruit

2.1.6 枸杞果实贮藏期间生理品质指标相关性分析
在果实硬度、色泽、 O_2^- 含量和酶活性的相关性分析中,皮尔逊相关系数作为衡量变量之间的线性关系。表 2 显示了枸杞果实生理品质之间的相关性情况。枸杞果实的色泽(L^* 、 a^* 、 b^*)与 O_2^- 和 CAT 均呈极显著负相关关系($P<0.01$),这可能是由于振动加速了 ROS 的生成,使 O_2^- 含量增多,大量类胡萝卜素的降低,从而使枸杞果实的色泽值降低^[36-37]。果实硬度与色泽(L^* 、 a^* 、 b^*)间的相关系数分别是 0.739、0.690 和 0.600,并且呈现出极显著($P<0.01$)水平,此外,硬度还与 O_2^- 、CAT 和 POD 间呈现极显著相关($P<0.01$),但与 SOD 之间相关性不显著($P>0.05$)。由此看出,色泽、硬度、活性氧及相关酶之间有密切的联系, O_2^- 、CAT、POD 的活性水平可能促进枸杞

采后色泽与硬度的变化,这更利于监测枸杞果实采后运输及贮藏期间品质的变化。

表 2 枸杞果实采后不同参数的皮尔逊相关系数
Table 2 Pearson correlation coefficient of different parameters of *Lycium barbarum* fruit after harvest

	L^*	a^*	b^*	硬度	O_2^-	CAT	SOD	POD
L^*	1							
a^*	0.521**	1						
b^*	0.366*	0.927**	1					
硬度	0.739**	0.690**	0.600**	1				
O_2^-	-0.731**	-0.713**	-0.622**	-0.951**	1			
CAT	-0.599**	-0.542**	-0.487**	-0.736**	0.860**	1		
SOD	-0.103	0.003	0.025	0.026	-0.018	0.009	1	
POD	0.325	0.485**	0.454*	0.516**	-0.433*	-0.245	0.675**	1

注: *和**分别表示在0.05和0.01水平(双尾)上显著相关。

3 结论

本文研究了运输振动对枸杞果实采后贮藏品质变化的影响。机械振动导致枸杞果实产生振动损伤,受损部位细胞结构被破坏、超氧阴离子大量积累,造成枸杞果实整体发生变色、软化等现象,相关性分析显示 O_2^- 、CAT 和 POD 等指标能体现出贮藏期间枸杞果实色泽、硬度变化与相关酶活性含量紧密相关。结果表明,与对照组的枸杞果实相比,振动处理会降低枸杞的硬度和色泽值,而对超氧阴离子含量、过氧化氢酶、过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性起促进作用,加速了枸杞果实贮藏期间品质的劣变,其中,16 h 的振动处理对枸杞果实的品质影响最显著。因此,为尽可能保持枸杞果实的原有品质,应确保运输时间在 16 h 内的同时尽量缩短运输时间,并采用减振包装以减少运输中的振动,从而减少机械振动对果实的损伤。

参考文献

[1] COSSIGNANI L, BLASI F, SIMONETTI M S, et al. Fatty acids and phytosterols to discriminate geographic origin of *Lycium barbarum* Berry[J]. Food Analytical Methods, 2017, 11(4): 1180-1188.

[2] MINA K, MILTIADIS V C, ELENI T. Short-term treatments with high CO_2 and low O_2 concentrations on quality of fresh goji berries (*Lycium barbarum* L.) during cold storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(15): 51945201.

[3] XING L J, ZOU L J, LUO R F, et al. Determination of five *Alternaria* toxins in wolfberry using modified QuEChERS and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2020, 311: 125975.

[4] DERMESONLOUGLOU E, CHALKIA A, DIMOPOULOS G, et al. Combined effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pre-treatments on mass transfer and quality of air dried goji berry[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018, 49: 106-115.

[5] YU F, LI Y H, WU Z F, et al. Dehydration of wolfberry fruit using pulsed vacuum drying combined with carboxymethyl cellulose coating pretreatment[J]. LWT-Food Science and Technology,

- 2020, 134: 110159.
- [6] LIPINSKA M, TOMASZEWSKA M, KOOYN-KRAJEWSKA D. Identifying factors associated with food losses during transportation: Potentials for social purposes[J]. *Sustainability*, 2019, 11(7): 2046.
- [7] 周然, 曾媛媛. 不同等级道路的运输振动对哈密瓜贮藏过程中抗氧化系统的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(9): 176–181. [ZHOU Ran, ZENG Yuanyuan. Effect of transportation vibration on different grades of road on antioxidant system of Hami melons (*Cucumis melo var. saccharinus*) during storage[J]. *Food Science*, 2018, 39(9): 176–181.]
- [8] SU Z H, HU M J, GAO Z Y, et al. Apple polyphenols delay senescence and maintain edible quality in litchi fruit during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 157: 110976.
- [9] DAGDELEN C, ADAY M S. The effect of simulated vibration frequency on the physico-mechanical and physicochemical properties of peach during transportation[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 137(2): 110497.
- [10] LIN M H, CHEN J H, CHEN F, et al. Effects of cushioning materials and temperature on quality damage of ripe peaches according to the vibration test[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, 25(2): 100518.
- [11] CAO J P, WANG C Y, XU S T, et al. The effects of transportation temperature on the decay rate and quality of postharvest Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco) fruit in different storage periods[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 247: 42–48.
- [12] 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. [LIU Fengjuan, QIN Zongquan, SHEN Aibin, et al. Effect of mechanical vibrati on stress on the quality of apricot fruits[J]. *Food Science*, 2011, 32(10): 266–270.]
- [13] 陈绍军, 陈明木, 康彬彬, 等. 机械伤害对枇杷果实采后生理的影响[J]. *福建农业大学学报*, 2004(2): 250–253. [CHEN Shaojun, CHEN Mingmu, KANG Binbin, et al. Effect of mechanical injury on postharvest physiology of loquat fruit[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2004(2): 250–253.]
- [14] XU F X, LIU S Y, LIU Y F, et al. Effect of mechanical vibration on postharvest quality and volatile compounds of blueberry fruit[J]. *Food Chemistry*, 2021, 349: 129216.
- [15] 谢丹丹, 茅林春, 卢文静, 等. 猕猴桃果实对模拟运输振动的生理和品质响应[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(11): 168–174. [XIE Dandan, MAO Linchun, LU Wenjing, et al. Physiological and qualitative responses to simulated transport vibration in kiwifruit[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(11): 168–174.]
- [16] 俞雅琼, 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. [YU Yaqiong, DONG Ming, WANG Xudong, et al. Effects of mechanical damage on postharvest physiology and biochemistry of dangshan pear[J]. *Storage and Process*, 2011, 11(3): 10–15.]
- [17] 刘华英, 张锐利, 秦俊凤. 机械伤害对库车小白杏贮藏品质的影响[J]. *塔里木大学学报*, 2012, 24(2): 14–18. [LIU Huaying, ZHANG Ruili, QIN Junfeng. Effect of mechanical injury on storage quality of Kuqa apricot[J]. *Journal of Tarim University*, 2012, 24(2): 14–18.]
- [18] 许时星, 郝海燕, 陈杭君, 等. 振动胁迫对蓝莓果实品质和抗氧化酶活性的影响[J]. *林业科学*, 2017, 53(9): 26–34. [XU Shixing, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, et al. Effect of vibration on shelf quality and antioxidant enzyme activity of blueberries[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2017, 53(9): 26–34.]
- [19] LU F, XU F X, LI Z, et al. Effect of vibration on storage quality and ethylene biosynthesis-related enzyme genes expression in harvested apple fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 249: 1–6.
- [20] XU F X, LU F, XIAO Z G, et al. Influence of drop shock on physiological responses and genes expression of apple fruit[J]. *Food Chemistry*, 2020, 303(15): 125424.1–125424.7.
- [21] 邓淑芳, 王鹏, 张怀予, 等. 褪黑素处理对枸杞果实采后生理及贮藏品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(2): 198–204. [DENG Shufang, WANG Peng, ZHANG Huaiyu, et al. Effects of melatonin treatment on postharvest physiology and storage quality of Goji berry[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(2): 198–204.]
- [22] BAN Z J, WEI W W, YANG X Z, et al. Combination of heat treatment and chitosan coating to improve postharvest quality of wolfberry (*Lycium barbarum*) [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2015, 50(4): 1019–1025.
- [23] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 116–118. [CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Postharvest physiological and biochemical experiment guidance for fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 116–118.]
- [24] 李萍. 黄花梨模拟运输振动引起的机械损伤与品质损害 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014. [LI Ping. Studies on the mechanical damage and quality deterioration of Huanghua pears caused by simulating transport vibration[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.]
- [25] 张哲, 张治权, 郝俊杰, 等. 贮运过程中温度及振动条件对葡萄贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(7): 230–235. [ZHANG Zhe, ZHANG Zhiquan, HAO Junjie, et al. Effects of temperature and mechanical vibration conditions on grape quality during storage and transportation[J]. *Food Science*, 2018, 39(7): 230–235.]
- [26] ABBASI N A, ALI I, HAFIZ I A, et al. Effects of putrescine application on peach fruit during storage[J]. *Sustainability*, 2019, 11(7): 11072013.
- [27] SABIR F K, UNAL S, MAADHEEDI M T K, et al. Extending the postharvest quality of peach fruits by salicylic acid and map treatments[J]. *Selcuk Journal of Agriculture Food Sciences*, 2019, 33(2): 82–87.
- [28] HYODO K, SUZUKI N, MISE K, et al. Roles of superoxide anion and hydrogen peroxide during replication of two unrelated plant RNA viruses in *Nicotiana benthamiana* [J]. *Plant Signaling and Behavior*, 2017, 12(6): e1338223.
- [29] JIMENEZ A, CREISSEN G, KULAR B, et al. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening[J]. *Planta*, 2002, 214(5): 751–758.
- [30] CHOMKITICHAI W, CHUMYAM A, RACHTANAPUN P, et al. Reduction of reactive oxygen species production and membrane damage during storage of “Daw” longan fruit by chlorine dioxide[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 170: 143–149.
- [31] WANG J W, ZHOU X, ZHOU Q, et al. Low temperature

conditioning alleviates peel browning by modulating energy and lipid metabolisms of 'Nanguo' pears during shelf life after cold storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2017, 131: 10-15.

[32] XU F X, LIU S Y. Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C irradiation[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(9): 1695-1703.

[33] ZHANG H Y, LIU F R, WANG J J, et al. Salicylic acid inhibits the postharvest decay of goji berry (*Lycium barbarum* L.) by modulating the antioxidant system and phenylpropanoid metabolites[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 178: 111558.

[34] 谢丽源, 郑林用, 彭卫红, 等. 不同温度对采后杏鲍菇贮藏品质的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(22): 334-338, 343.

[XIE Liyuan, ZHEN Linyong, PENG Weihong, et al. Effect of different temperatures on the storage quality of *Pleurotus eryngii*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(22): 334-338,

343.]

[35] 陈豫, 胡伟, 王宇, 等. 模拟运输振动胁迫对宜宾茵红李生理生化变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(11): 309-313.

[CHEN Yu, HU Wei, WANG Yu, et al. Effect of simulating transportation vibration stress on changes of physiology and biochemistry of "Yinhong" plum[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(11): 309-313.]

[36] 米佳, 禄璐, 戴国礼, 等. 枸杞色泽与其类胡萝卜素含量和组成的相关性[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 81-86. [MI Jia, LU Lu, DAI Guoli, et al. Correlations between skin color and carotenoid contents in wolfberry[J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 81-86.]

[37] 马俊莹, 周睿, 程炳嵩. 类胡萝卜素与活性氧代谢的关系[J]. *山东农业大学学报*, 1997(4): 518-522. [MA Junying, ZHOU Rui, CHENG Bingsong. The relationship between carotenoid and activated oxygen metabolism[J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1997(4): 518-522.]