

葡萄贮运过程中跌落与振动损伤的试验分析

肖越^{1a}, 武佩^{1a}, 王顺喜², 刘艳秋^{1b}, 苏赫^{1a}

(1.内蒙古农业大学 a.机电工程学院 b.计算机与信息工程学院, 呼和浩特 010018;
2.中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 以巨峰葡萄为试验对象, 研究在贮运过程中跌落冲击机械损伤, 以及振动疲劳累积对其生理品质产生的影响。**方法** 在现有贮运包装条件下对葡萄进行不同高度的跌落试验, 得到跌落高度对葡萄力学特性的影响。在相同高度下, 对葡萄进行不同包装的试验验证, 得到新型减振包装对葡萄力学特性的影响, 并使用模拟运输振动试验台和六度空间振动试验台进行试验, 模拟实际运输路况下不同包装对葡萄生理品质的影响。**结果** 研究发现, 新型减振包装在 2 种振动疲劳累积试验下, 质量损失率比普通包装减少了 27.07% 和 21.42%, 表面损伤系数减少了 20.11% 与 17.61%。**结论** 可为葡萄设计合理的包装方式和运输方式提供理论依据。

关键词: 葡萄; 跌落试验; 振动试验; 力学特性; 品质分析

中图分类号: S663.1; S377 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)05-0009-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.002

Experimental Analysis of Dropping and Vibration Damage in Grapes Storage and Transportation

XIAO Yue^{1a}, WU Pei^{1a}, WANG Shun-xi², LIU Yan-qiu^{1b}, SU He^{1a}

(1a.School of Mechanical & Electrical Engineering

b.School of Computer and Information Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2.School of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: The work aims to take Jufeng grape as the test object to study the effects on the physiological quality caused by drop impact, mechanical damage and vibration fatigue accumulation during storage and transportation. Grapes were tested when dropped from different heights under the existing packaging conditions to obtain the effects of dropping height on grape mechanical properties. At the same height, the tests were performed again with the new damping package to obtain effects of new cushioning packages on grape mechanical properties. Afterwards the simulated transport vibration test bench and the six-degree space vibration test bench were used to simulate the effects of different packages on grape physiological quality under actual transportation conditions. From the study, the weight loss rate of the new vibration-damping package under two vibration and fatigue accumulation tests was reduced by 27.07% and 21.42% compared to the ordinary packaging, and the surface damage coefficient decreased by 20.11% and 17.61%. The studies can provide a theoretical basis for designing reasonable packaging and transportation methods.

KEY WORDS: grapes; drop test; vibration test; mechanical properties; quality analysis

收稿日期: 2018-08-21

基金项目: 农业部 2018 年农产品质量安全监管专项 (GJFP201801104)

作者简介: 肖越 (1993—), 男, 内蒙古农业大学硕士生, 主攻农业工程测试与控制。

通信作者: 武佩 (1963—), 男, 博士, 内蒙古农业大学教授, 主要研究方向为农业工程测试与控制。

我国是鲜食葡萄生产第一大国,因鲜食葡萄具有较高的营养价值,所以葡萄在我国五大水果中占有一席之地。由于葡萄具有皮薄、水分含量高等特点,在贮运过程中,会因为受到跌落、冲击、相互碰撞以及长时间的振动等而产生严重的机械损伤,导致其受到病菌感染而腐烂变质,因此,分析葡萄在贮运过程中受到的跌落及振动损伤对提高葡萄贮运生理品质、降低生产者的经济损失具有重要的意义。目前,国内学者对水果在贮运过程中的损伤已经做了许多研究^[1-4]。其中,浙江大学的李萍、王若伊等^[5]对果蔬在运输中受到静载、冲击、振动以及挤压等载荷作用使其品质损伤和下降的过程进行了研究,探究了不同包装的减振性能,并在模拟运输时寻找减少振动对果蔬损伤的方法。在此基础上,李萍^[6]建立了单个黄花梨的模拟运输模型,分析了运输中振动对黄花梨品质的影响,并找出了一种最适于运输的包装。内蒙古农业大学的魏巍、王芳等^[7]总结了目前影响果蔬模拟运输的因素和评价果蔬品质的方法,并提出建立一套适合果蔬品质评价和振动损伤的系统是未来该领域的发展方向。Paolo Menes^[8]提出了跌落损伤指数的概念,通过对苹果、梨、杏和桃子的试验得出跌落损伤指数,能判定果实模拟冲击过程中的敏感度与抗性。Bollen, Cox 等^[9]使用数学函数的方法预测运输过程中水果的损伤,并得出了水果品质的损伤程度与不同的运输过程息息相关。L. Ragni 等^[10]研究了不同品种的苹果在模拟运输试验中所受冲击的影响情况,发现如果持续重复地对苹果某一部位施加冲击作用力,会使苹果的品质变坏。

Chen 等^[11]分别对几种亚洲梨进行了碰撞和压缩试验,结果表明,不同品种的梨承受外界载荷的能力是不一样的,即使施加同样的载荷,其损伤情况也完全不同。

综上所述,国内外学者研究果蔬在运输中受到的机械损伤时,使用的模型多为承受载荷能力较强的水果,而对葡萄这类皮薄、易碎的水果研究较少。鉴于此,文中拟以葡萄为研究对象,制作葡萄新型减振包装,并与市场现有包装进行对比,分别测定葡萄的质量损失率、表面硬度、果梗拉伤力度、表面损伤指数等内外部品质状况,检测减振包装在防止果实振动疲劳累积和跌落冲击损伤时的效果。

1 实验

1.1 材料

葡萄选用产自内蒙古呼和浩特市葡萄园种植的巨峰葡萄。所用葡萄均颗粒饱满、成熟度相近,即颗粒硬度接近、表皮颜色相近^[12],且表面无损伤。市场现有的葡萄包装均为网套膜(PE)和纸垫。文中采用方块垫膜(PE)和葫芦充气膜(PE+PA),自行设计制作葡萄包装膜,并对2种包装膜进行对比。不同的包装膜见图1。

1.2 设备

采用模拟运输振动试验台、六度空间振动试验台分别对葡萄贮存品质进行试验,以验证在运输贮藏过



a 方块垫膜



b 葫芦充气膜



c 网套膜



d 纸垫

图1 不同的包装膜

Fig.1 Different packaging films

程中机械损伤对葡萄的影响。

1.2.1 跌落试验台

设计该试验台的目的是制作一种能够承载固定住 1 筐葡萄,并使葡萄在不同高度下自由跌落的试验台,利用电动按钮控制葡萄的上升与跌落,指示跌落高度。所设计的试验台见图 2。



图 2 跌落试验台
Fig.2 Drop test band

1.2.2 模拟运输振动试验台

试验所用模拟运输振动试验台生产于上海鲁轩仪器设备厂,型号为 LX-100VTR,试验台见图 3。



图 3 模拟运输试验台
Fig.3 Simulated transport test rig

模拟运输试验台可对受振动载荷作用的各种物品在公路汽车运输过程中承受实际路况能力进行考核,可以在试验室里就获取实际工况对物品的影响,从而对物品和物品的包装给出评定依据。该试验台的参数:最大试验负载为 100 kg;转动速度为 100~300 r/min;振幅为 25.4 mm;振动方式采用往复式;模拟车速为 25~40 km/h;标准采用欧洲运输规范。

1.2.3 六度空间振动试验台

六度空间振动试验台型号为 ZD/LX-XTP,生产于上海鲁轩仪器设备厂,可以测定垂直、水平及纵向振动。六度空间振动试验台可模拟电工、电子、汽车零部件以及其它货物在运输过程中的环境,检测产品的耐振性能。试验台见图 4。



图 4 六度空间振动试验台
Fig.4 Six-degree-space vibration test rig

1.2.4 试验用其它设备

1) 电子精密天平。由上海浦春计量仪器有限公司生产,精度等级为 3 级(精确度为 0.01 g)。用来精确测量每串葡萄的质量,每组样品进行多次测量,记录并分析振动前后葡萄的质量损失率。

2) 指针式推拉力计。选取艾德堡仪器有限公司生产的型号为 NK-10 的指针式推拉力计,中心轴行程为 10 mm,最大负荷为 10 N,最小测量值为 1 N,分度值 0.05 N。用来测量葡萄振动试验前后的果梗拉伤力度。

3) 质构仪。采用北京盈盛恒泰科技有限责任公司生产的 TMS-PRO 专业研究级食物物性分析仪。用来测定葡萄的表面硬度和果肉损伤程度,对试验前后的葡萄生理品质进行测定,并进行对比分析。

4) 数据采集分析仪。采用杭州亿恒科技有限公司的 AVANT 系列 MI-7016 数据采集分析仪。

5) 三轴加速度传感器。将机器的振动信号转化为电信号,与数据采集分析仪相连,用于数据的记录与分析。

1.3 试验方法

1.3.1 跌落试验

采用不同高度的单因素试验,将葡萄放置于包装盒内,并固定于自制的跌落试验台上,碰撞地面为钢板。选择 5 种跌落高度(500,600,700,800,900 mm)进行跌落冲击试验,每种高度重复做 5 次试验,记录并分析数据。随后试验采用同一水平高度自由跌落的方式,将样品装入不同的包装盒内,并先用绳索固定

在跌落试验台架上,然后跌落至地面的钢板上。该试验采用的跌落高度为900 mm,每组样品跌落5次,记录试验数据,并分析不同包装对跌落冲击试验影响的显著性。

1.3.2 模拟运输振动试验

所用试验台符合ISTA、ASTM国际运输标准。2种标准对模拟运输振动的设备要求均为:振幅25.4 mm,频率1.5~5 Hz(或100~300 r/min可调)。依据表1中的标准,文中选取的试验频率为4.0 Hz,试验速度为240 r/min,测试时间为5 min。

表1 测试方法(ISTA/ASTM标准)
Tab.1 Test method (ISTA/ASTM Standard)

试验速度/(r·min ⁻¹)	对应频率/Hz	测试时间/min
150	2.5	8
180	3.0	7
210	3.5	6
240	4.0	5
270	4.5	4.5
300	5.0	4

在试验前对葡萄进行分组标记,使用电子天平称量,并记录数据,将每组葡萄随机抽取5个样本进行果梗拉力测试和表面硬度测试。将葡萄固定在试验台上进行振动疲劳累积试验,试验后观察记录不同包装情况下葡萄的掉粒情况和表面损伤情况,称量各葡萄组剩下的葡萄质量。每组再次随机抽取5个样本进行果梗拉力测试和表面硬度测试。

1.3.3 六度空间振动试验

参考GB 4857.23—2012,选用随机振动方式。在随机振动时,为缩短模拟运输的时间,将加速度的均方值扩大 $\sqrt{5}$ 倍,振动的时间变为1/5 h。故真正的随机振动试验参数为表2中加强后的功率谱密度数据。使用的随机振动参数设置:振幅<10 cm,频率为1~200 Hz扫频,振动时间为2 h,加速度均方根为1.16,实际模拟运输时间为10 h,模拟公路工况加速度均方根为0.52^[13]。以此来模拟实际公路运输中果实所受的振动水平,试验方法同模拟运输振动试验。

表2 功率谱密度
Tab.2 Power spectral density

频率/Hz	功率谱密度/ (g ² ·Hz ⁻¹)	加强后功率谱密度/ (g ² ·Hz ⁻¹)
1	0.000 05	0.000 25
4	0.01	0.022 36
16	0.01	0.022 36
40	0.001	0.002 236
80	0.001	0.002 236
200	0.000 01	0.000 022 36
加速度均方根	0.52	1.16

1.4 葡萄生理品质测定指标

1) 表面损伤指数。参照郑永华等的方法,以表面出现明显的水渍状损伤作为判断依据^[14]。按损伤的面积大小将果实划分为4级:0级,无明显损伤;1级,果面有少量损伤,损伤面积小于果实面积的25%;2级,损伤面积占果实面积的25%~50%;3级,损伤面积占果实面积的50%以上。表面损伤指数计算公式:

$$\text{表面损伤指数} = \frac{\text{损伤级别} \times \text{该级果实数}}{\text{最高损伤级别} \times \text{总果实数}} \times 100\%$$

2) 表面硬度的测定^[15]。用TMS-PRO专业研究级食品物性分析仪测量其赤道部位的表皮硬度,设定探头为圆柱塑胶探头,变形量为60%,速度为1.5 mm/min,读取最大值,重复5次,取其平均值。

3) 果梗拉伤力度的测定^[16]。采用艾德堡指针式拉力计,用绳连接葡萄果梗处与拉力计,将拉力计匀速缓慢向后拉,读取果梗拉出时的拉力计读数,重复5次,取其平均值。

4) 质量损失率的测定^[17]。用电子天平称量,利用差重法计算质量损失率:

$$\text{质量损失率} = \frac{\text{试验前的质量} - \text{试验后的质量}}{\text{试验前的质量}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 不同跌落高度对葡萄果实品质的影响

选择同样的市场包装,在5种跌落高度(500, 600, 700, 800, 900 mm)下进行试验^[18]。分别做5组试验,试验后分别测量葡萄的表面损伤指数、表面硬度、果梗拉伤力与质量损失率,选取3组相近的试验数据。数据见表3。

通过分析试验数据,发现跌落高度不同,葡萄表面损伤指数、表面硬度、果梗拉伤力、质量损失率也不同。随着跌落高度的增加,葡萄的表面损伤指数和质量损失率呈增长趋势,而表面硬度及果梗拉伤力则逐渐减小。

为了进一步说明这种情况,在Excel中选用数据分析中的单因素试验方差分析,得出跌落高度对葡萄跌落试验影响的方差分析结果,见表4,其中 S_S 为离均差平方和,表示变量中每个数据点与变量均值差的平方和; d_f 为自由度; M_S 为均方。

在表4中 F_{crit} 是显著性水平0.05时 F 的临界值,经过对比表面损伤指数、表面硬度、果梗拉伤力和质量损失率中的数据,可以得出 $F > F_{\text{crit}}$,表明不同的跌落高度对葡萄跌落试验生理品质有显著的影响。同时, P_{value} 表示因素对试验结果有无明显影响的概率, $P_{\text{value}} \leq 0.01$,进一步验证了以上结论。

葡萄在贮运过程中会因为受到路况的影响而承

表 3 不同跌落高度下葡萄的力学参数
Tab.3 Mechanical parameters of grape under different falling heights

跌落高度/mm	表面损伤指数/%			表面硬度/mJ			果梗拉伤力/N			质量损失率/%		
	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组
500	19.24	15.74	20.67	38.75	37.45	36.96	4.55	5.25	4.85	14.56	13.64	19.63
600	20.46	19.78	24.75	33.67	32.42	30.86	4.15	3.95	3.65	22.53	20.53	19.86
700	26.75	27.44	28.79	29.74	28.85	27.33	3.25	3.15	2.5	30.86	35.64	32.85
800	30.75	31.65	34.33	21.75	20.84	19.64	3.45	3.05	2.75	35.75	36.97	38.64
900	36.73	40.65	39.64	18.67	19.64	9.75	2.15	1.75	1.95	40.64	47.85	42.69

表 4 跌落高度对葡萄碰撞参数的方差分析
Tab.4 Variance analysis of the drop height vs. grape collision parameters

差异源		S_S	d_f	M_S	F	$P_{\text{value}}(\times 10^{-7})$	F_{crit}
表面损伤指数	组间	805.711	4	201.4277	44.998 11	23.2	3.478 05
	组内	44.7636	10	4.476 36			
	总计	850.4746	14				
表面硬度	组间	916.6275	4	229.1569	32.585 16	104	3.478 05
	组内	70.325 53	10	7.032 553			
	总计	986.953	14				
果梗拉伤力	组间	14.549 33	4	3.637 333	35.256 87	72.1	3.478 05
	组内	1.031 667	10	0.103 167			
	总计	15.581	14				
质量损失率	组间	1583.235	4	395.8088	58.1948	6.87	3.478 05
	组内	68.014 47	10	6.801 447			
	总计	1651.25	14				

受不同高度的跌落,同时在搬运过程中也会使其受到轻微的跌落损伤,由以上试验结果得到,在贮运过程中要尽量避免葡萄跌落,从而保证其生理品质。

2.2 不同包装方式下葡萄果实跌落对品质的影响

选择 3 种不同的包装情况进行跌落试验。分别为自主生产的方块垫膜+葫芦充气膜(包装 1)、市场用的网套膜(包装 2)和无包装(包装 3)。进行 5 组试验,高度均固定在 900 mm,分别测量葡萄的表面损伤指数、表面硬度、果梗拉伤力和质量损失率。选取 3 组相近的试验数据,试验结果见表 5。

由表 5 可知,包装会对葡萄起到保护作用。不同的包装方式下,葡萄所表现出来的生理品质指标有明显的不同。对比发现,自主制作的包装中葡萄表面损伤指数和质量损失率均最低,表面硬度和果梗拉伤力

为最高,说明自主设计的包装在葡萄贮运过程中遇到不可避免的跌落时,可以对其进行保护,尽可能地减少跌落对葡萄品质造成的影响。为了进一步说明情况,同样选用单因素试验方差分析,得出包装件对葡萄跌落试验影响的方差分析,见表 6。表 6 中的数据进一步验证了以上结论。

2.3 振动试验对葡萄品质的影响

2.3.1 模拟运输振动试验台

将不同的包装进行排列组合,得出以下几种包装组合。其中,采用 2 种包装材料的方式有方块垫膜+葫芦充气膜,方块垫膜+网套膜,纸垫+葫芦充气膜,纸垫+网套膜(方块垫膜和纸垫同为垫膜,葫芦充气膜与网套膜同为减振膜,故不同时使用);采用 1 种包装材料的有方块垫膜、纸垫、网套膜、葫芦充气膜等。试验结果见表 7。

表 5 不同包装下葡萄的力学参数
Tab.5 Mechanical parameters of grapes under different packaging

包装方式	表面损伤指数/%			表面硬度/mJ			果梗拉伤力/N			质量损失率/%		
	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组
1	24.73	25.64	26.23	34.63	33.69	30.79	4.25	5.3	4.65	39.87	23.89	25.69
2	34.48	33.45	36.27	25.75	24.92	23.46	3.4	2.95	2.65	52.12	50.24	46.79
3	46.94	45.33	40.86	20.54	17.89	16.91	0.65	1.15	1.4	60.21	53.55	56.66

表6 包装对葡萄碰撞参数的方差分析
Tab.6 Variance analysis of the grape impact parameters vs. package conditions

差异源		S_S	d_f	M_S	F	$P_{\text{value}}(\times 10^{-5})$	F_{crit}
表面损伤指数	组间	532.7051	2	266.3525	63.769 01	9.07	5.143 253
	组内	25.061	6	4.176 833			
	总计	557.7661	8				
表面硬度	组间	321.4308	2	160.7154	54.312 46	14.3	5.143 253
	组内	17.754 53	6	2.959 089			
	总计	339.1854	8				
果梗拉伤力	组间	20.186 67	2	10.093 33	53.200 59	15.2	5.143 253
	组内	1.138 333	6	0.189 722			
	总计	21.325	8				
质量损失率	组间	1174.738	2	587.3691	18.543 66	270	5.143 253
	组内	190.0496	6	31.674 93			
	总计	1364.788	8				

表7 不同包装组合下葡萄品质分析
Tab.7 Grape quality analysis under different packaging combinations

包装方式	质量损失率/%	表皮硬度/mJ	表面损伤系数/%	果梗拉伤力/N
方块垫膜	54.73	20.67	47.96	2.05
葫芦充气膜	35.37	28.54	34.29	4.25
网套膜	46.74	24.71	40.34	3.65
纸垫	70.53	16.27	60.75	1.05
葫芦充气膜+方块垫膜	15.29	40.89	18.53	6.25
葫芦充气膜+纸垫	31.36	34.76	30.86	4.65
网套膜+纸垫	42.36	30.85	38.64	4.15
网套膜+方块垫膜	35.75	33.86	21.78	5.25

由表7可知,在采用1种包装材料情况下,包装对葡萄的保护情况为葫芦充气膜>网套膜>方块垫膜>纸垫;在采用2种包装材料情况下,包装对葡萄的保护情况为(葫芦充气膜+方块垫膜)>(网套膜+方块垫膜)>(葫芦充气膜+纸垫)>(网套膜+纸垫)。

试验选取葡萄串大小相近、粒数相当的2串葡萄,对其在方块垫膜包装和市场包装下的掉粒情况进行了对比,结果见图5。可以直观地看出在使用方块垫膜的情况下,葡萄掉粒数较少,且对掉粒葡萄的保护也较好,表明该包装对葡萄果实的保护明显优于市场上的包装,可以应用于葡萄的贮藏。

为了更直观地表达出自行制作的膜与市场包装膜对葡萄贮运过程减振效果的差别,使用特殊包装(葫芦充气膜+方块膜)与普通包装(网套膜+纸垫)进行对比,将所得的数据分别在4种指标中制成图表,分别呈现出单个包装使用时以及组合包装使用时几种包装对葡萄保护程度的优劣对比结果。

1) 果梗拉伤力。不同包装的葡萄在模拟运输试验台上试验后的果梗拉伤力见图6,对照组是未振动



a 方块垫膜包装



b 市场包装

图5 振动后葡萄的掉粒情况
Fig.5 Grain loss after vibration

过的葡萄。结果表明，自行制作的特殊包装相比于普通包装，果梗拉伤力平均增加了 1.23 N，相比于无包装的情况平均增加了 2.5 N，比试验前平均减少了 0.9 N。通过对比果梗拉伤力的前后数据，分析出葡萄在振动试验前后果酸的损伤程度增大，能够在一定程度上表明葡萄的生理品质和口感均下降。

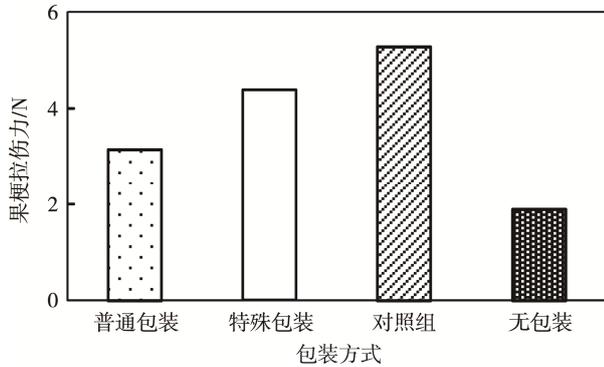


图 6 不同包装下果梗拉伤力

Fig.6 Pulling force of the stem under different packaging

2) 表面损伤系数。不同包装在模拟运输试验台上试验后的表面损伤系数见图 7。采用特殊包装的葡萄在经过振动试验后比普通包装的表面损伤减少了 20.11%，比无包装的表面损伤减少 56.98%。说明包装对葡萄振动受损具有显著影响。

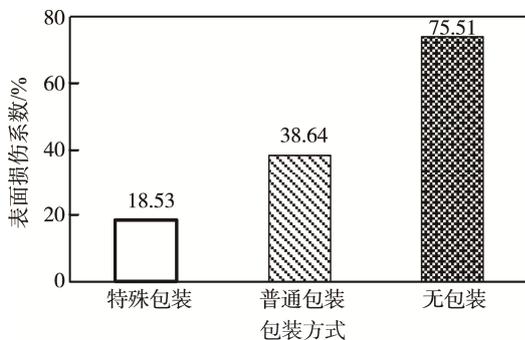


图 7 振动试验后葡萄表面损伤系数

Fig.7 Surface damage coefficient for the grapes after vibration test

3) 振动表皮强度。振动表皮强度由质构仪测试得出。由图 8 可得，相较于对照组，特殊包装与对照组(未振动试验)的葡萄内部品质基本上未发生变化；普通包装与无包装的葡萄相比，对照组差距较大，葡萄内部损伤较为严重，在实际运输中更加影响了葡萄的生理品质和口感，导致葡萄的损伤更大，而且大都是看不见的损伤。

4) 质量损失率。由电子天平测量振动前后每一串葡萄质量变化，根据计算公式得出质量损失率。质量损失率反映了葡萄在模拟运输振动试验前后葡萄的掉果率和失水率，可以反映葡萄在运输过程中的损伤大小。由图 9 可知，特殊包装下的葡萄比普通包装

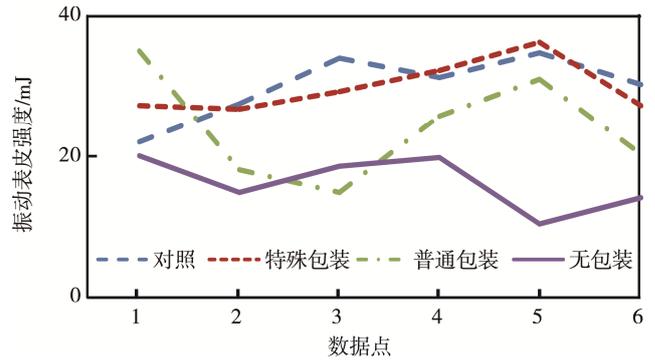


图 8 振动试验后的葡萄表皮强度

Fig.8 Skin strength of the grapes after vibration test

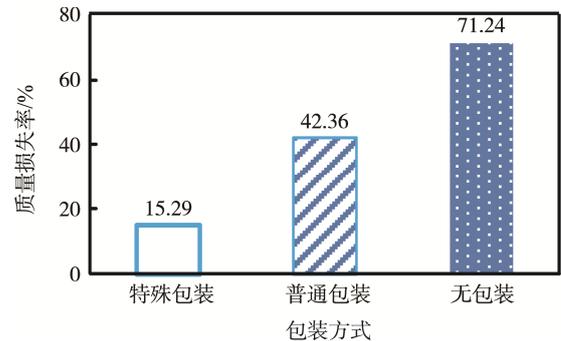


图 9 振动试验后的葡萄质量损失率

Fig.9 Weight loss rate of the grape after vibration test

的葡萄质量损失率减少了 27.07%，比无包装的葡萄质量损失率减少了 55.95%。表明，经过特殊包装的葡萄在运输过程中对葡萄的保护更为全面，能大大减少葡萄损伤情况的出现。

2.3.2 六度空间振动试验台

试验方法同模拟运输振动试验。得出的结果见表 8。

从表 8 可以看出，在采用 1 种包装材料情况下，包装对葡萄的保护效果为葫芦充气膜>网套膜>方块垫膜>纸垫；在采用 2 种包装材料情况下，包装对葡萄的保护效果为(葫芦充气膜+方块垫膜)>(网套膜+方块垫膜)>(葫芦充气膜+纸垫)>(网套膜+纸垫)。为了更直观地表达出自行制作的膜与市场包装膜对葡萄贮运过程减振效果的差别，使用特殊包装(葫芦充气膜+方块垫膜)对比普通包装(网套膜+纸垫)，进行试验，同时对 4 种指标的变化情况进行分析。

1) 果梗拉伤力。不同包装情况下，葡萄在模拟运输试验台上试验后的果梗拉伤力见图 10，对照组为未振动过的葡萄。结果表明，自行制作的特殊包装相比于普通包装，果梗拉伤力平均增加了 2.084 N，相比于无包装的果梗拉伤力平均增加了 5.292 N，比试验前平均减少了 0.31 N。

2) 表面损伤系数。由图 11 可知，在六度空间振动试验台进行试验，得到了葡萄在不同包装方式下试验后的表面损伤系数。采用特殊包装后的葡萄在经过

表 8 不同包装组合下葡萄品质分析结果
Tab.8 Analysis results of grape quality under different packaging combinations

包装方式	质量损失率/%	表皮硬度/mJ	表面损伤系数/%	果梗拉伤力/N
方块垫膜	53.86	21.85	43.75	2.15
葫芦充气膜	31.65	26.86	33.75	4.55
网套	36.68	22.96	39.74	4.05
纸垫	68.47	15.86	63.96	0.95
葫芦充气膜+方块垫膜	18.33	43.75	18.64	6.35
葫芦充气膜+纸垫	30.85	31.86	31.13	5.05
网套膜+纸垫	39.75	28.77	36.25	4.15
网套膜+方块垫膜	28.75	34.85	22.17	5.65

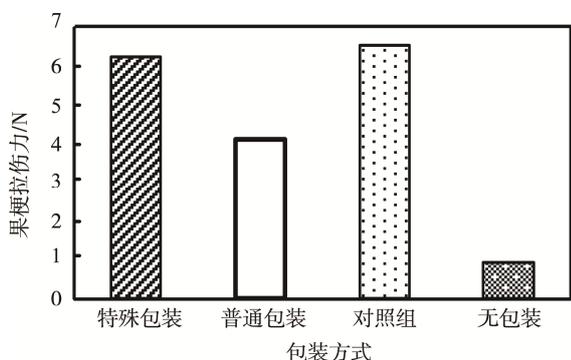


图 10 振动试验后葡萄的果梗拉伤力
Fig.10 Tensile force of the grapes after vibration test

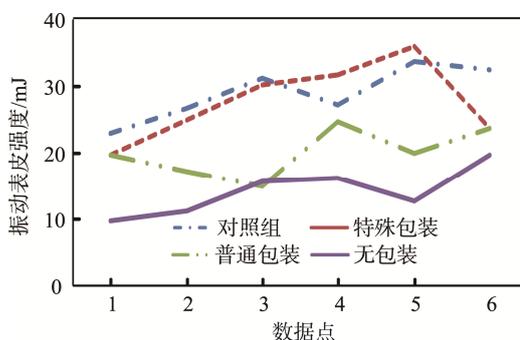


图 12 振动后葡萄的表皮强度
Fig.12 Skin strength of the grapes after vibration

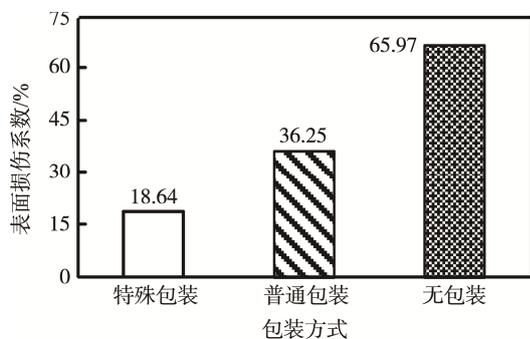


图 11 振动试验后葡萄表面损伤系数
Fig.11 Surface damage coefficient for the grapes after vibration test

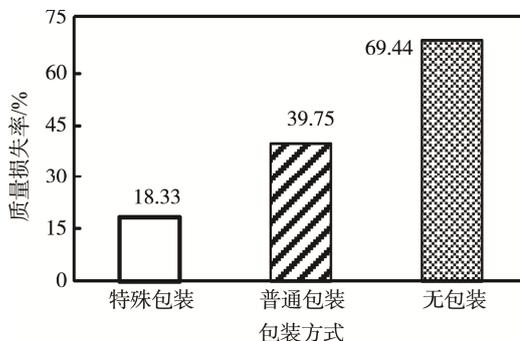


图 13 振动后葡萄的质量损失率
Fig.13 Weight loss rate of the grapes after vibration

振动试验后比普通包装的表面损伤少 17.61%，比无包装的表面损伤少 47.33%。

3)表皮强度。由图 12 可以看出，相比于对照组，特殊包装与对照组（未振动试验）的葡萄内部品质基本上未发生变化；普通包装与无包装的葡萄相比，对照组差距较大，葡萄内部损伤较为严重，在实际运输中更影响了葡萄的生理品质与口感，导致葡萄的损伤更为严重，而且多数为看不见的损伤。

4)质量损失率。由图 13 得到，特殊包装的葡萄比普通包装的葡萄质量损失率减少了 21.42%，比无包装的葡萄质量损失率减少了 51.11%，经过特殊包装的葡萄在运输过程中对葡萄的保护效果更为全面，

能减少大量的葡萄损伤。试验后将对照组与已进行过振动试验的葡萄进行对比，通过观察并记录每天葡萄的品质变化来反映振动对葡萄内部组织的损伤，见图 14—15。由图 15 可以看出，对照组的葡萄 10 d 后基本上无太大变化，然而振动过后的葡萄干瘪、脱粒现象较为严重，说明振动对葡萄内部组织造成了一定程度的损伤。

综上所述，在六度空间振动试验台产生的振动方式下，自主设计的 2 种包装材料组合（葫芦充气膜+方块垫膜）对葡萄的保护性最优。在此包装下，果梗拉伤力有所增加，葡萄的表面损伤有了一定程度的减少，质量损失率较普通包装的葡萄也有了明显的降低，表明所设计的包装能够降低贮运过程中振动对葡



a 振动试验后 (5 d)

b 振动试验后 (10 d)

图 14 振动后葡萄不同时期品质的变化情况

Fig.14 Grape quality changes in different periods after vibration



a 对照组 (5 d)

b 对照组 (10 d)

图 15 对照组葡萄不同时期品质的变化情况

Fig.15 Grape quality changes of control group in different periods

萄造成的损伤。图 14—15 进一步证明了此结论。

3 结语

通过模拟运输试验台和六度空间振动试验台 2

种不同标准的振动方式进行试验, 得到以下结论。

1) 在采用 1 种包装材料下, 包装对葡萄的保护情况为葫芦充气膜>网套膜>方块垫膜>纸垫; 在采用 2 种包装材料的情况下, 包装对葡萄的保护情况为(葫芦充气膜+方块垫膜)>(网套膜+方块垫膜)>(葫芦充气膜+纸垫)>(网套膜+纸垫)。

2) 相较于普通包装, 2 种特殊包装可以使葡萄的果梗拉力得到增加, 葡萄的表面损伤系数显著降低, 葡萄的表皮强度有所增加, 并且葡萄的质量损失率也大幅度减少。

以上结论表明, 葡萄在运输过程中包装的选择是极其重要的, 采用好的减振包装可以在很大程度上减少葡萄的损伤, 进而减少葡萄所受的机械损伤以及种植者的经济损失。

葡萄在运输过程中会由于振动和跌落冲击载荷而受到一定程度的物理损伤, 导致葡萄的生理品质发生不可逆转的变化。文中通过设计跌落试验台, 验证了不同跌落高度对葡萄的品质有显著影响。在此基础上, 以 2 种振动方式不同的振动试验台模拟路况振动、以不同包装为单因素进行葡萄跌落冲击试验。试验结果表明, 运输过程中葡萄的包装会对其起到一定的保护作用。同时从葡萄的果梗拉伤力、表面损伤系数、表皮强度及质量损失率等 4 项指标对葡萄的内外生理品质进行分析, 验证了文中自主制作的新型包装在葡萄受到跌落冲击载荷作用时对葡萄品质的保护较其它包装有显著提高, 为设计合理的包装方式及运输方式提供了依据。

文中以巨峰葡萄为试验对象, 对其贮藏过程中的包装进行了研究。由于不同品种的葡萄其外在形状和结构不同, 故自主设计的新型包装需对其它品种的葡萄进行试验, 其对葡萄保护作用的普遍性, 并进一步完善。

参考文献:

- [1] 蔡佑星, 赵东柏, 周小媛. 葡萄与保鲜包装[J]. 包装工程, 2004, 35(1): 42—43.
CAI You-xing, ZHAO Dong-bai, ZHOU Xiao-yuan. Grape and Its Fresh-keeping Packaging[J]. Packaging Engineering, 2004, 35(1): 42—43.
- [2] 卢立新, 黄祥飞, 华岩. 基于模拟运输条件的梨果实包装振动损伤研究[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 110—114.
LU Li-xin, HUANG Xiang-fei, HUA Yan. Effect of Packaging Methods on Vibration Bruising of Pear Fruits by Simulated Transport Tests[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 110—114.
- [3] 潘嘹. 典型果品机械损伤及其防护机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.

- PAN Liao. Research on Mechanical Bruising and Protection Mechanism of Typical Fruits[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [4] 翁桢, 李琛, 刘颖. 葡萄贮运保鲜包装结构优化设计[J]. 森林工程, 2012, 28(4): 93—96.
- WENG Zhen, LI Chen, LIU Ying. Optimal Design of Grape Storage and Transportation Packaging Structure[J]. Forest Engineering, 2012, 28(4): 93—96.
- [5] 李萍, 王若伊, 林顿, 等. 果蔬运输振动损伤及其减振包装设计[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 353—357.
- LI Ping, WANG Ruo-yi, LIN Dun, et al. Vibration Damage and Anti-vibration Packaging of Fruits and Vegetables during Transportation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 353—357.
- [6] 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.
- [7] 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]. 农机化研究, 2015, 37(5): 260—263.
- WEI Wei, WANG Fang, ZHAO Man-quan, et al. Research Status of Fruit and Vegetable Transport Vibration Damage and Quality Evaluation[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(5): 260—263.
- [8] MENESA P, PAGLIA G. PH-Postharvest Technology: Development of a Drop Damage Index of Fruit Resistance to Damage[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 80(1): 53—64.
- [9] BOLLEN A F, COX N R. A Technique for Predicting the Probability of Bruising for Use with an Instrumented Sphere[C]// American Society of Agricultural Engineers International Winter Meeting, 1991.
- [10] RAGNI L, BERARDINELLI A. Apple Packing Line Damage Assessment, Mechanical Behaviour of Apples, and Damage during Sorting and Packaging[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 78(3): 273—279.
- [11] CHEN P, RUIZ M, LU F, et al. Study of Impact and Compression Damage on Asian Pears[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(4): 1193—1197.
- [12] 兰海鹏, 张宏, 唐玉荣. 一种基于成熟规律的水果成熟度评价方法: 中国. 201410738646.X[P]. 2015.
- LAN Hai-peng, ZHANG Hong, TANG Yu-rong. An Evaluation Method of Fruit Maturity Based on Maturity Law: China. 201410738646.X[P]. 2015.
- [13] 黄斯. 水果减振包装的研制及其在草莓、猕猴桃和葡萄贮运中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- HUANG Si. Development and Application of Anti-vibration Package in the Storage and Transportation of Strawberry, Kiwifruit and Grapes[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [14] 郑永华, 苏新国, 毛杭云. 纯氧处理草莓的保鲜效果初探[J]. 南京农业大学学报, 2001(3): 85—88.
- ZHENG Yong-hua, SU Xin-guo, MAO Hang-yun. A Preliminary Study on the Effects of Pure Oxygen on Strawberry Fruit Storage[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001(3): 85—88.
- [15] 吾尔尼沙·卡得尔, 车凤斌, 张婷, 等. 不同贮藏温度对红提葡萄贮期品质及生理指标变化的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(1): 82—86.
- WUERNISHA Kader, CHE Feng-bin, ZHANG Ting, et al. Effect of Different Temperature on Quality and Physiological Index of Postharvest Red Globe Grape during Storage[J]. Xinjiang Agriculture Sciences, 2010, 47(1): 82—86.
- [16] 王凯, 鞠延仑, 魏晓峰, 等. 避雨栽培对“户太八号”葡萄果实品质的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(8): 1202—1211.
- WANG Kai, JU Yan-lun, WEI Xiao-feng, et al. Effects of Rain-shelter Cultivation on Quality of 'Hutai No.8' Grape[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(8): 1202—1211.
- [17] 孙新枝. 壳聚糖保鲜剂涂膜对保鲜葡萄的效果研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 329—330.
- SUN Xin-zhi. Study on Fresh-keeping Treatment of Grape by Chitosan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(19): 329—330.
- [18] 冯国华. ASQ700 跌落冲击试验机的半正弦波跌落冲击试验模型分析[D]. 苏州: 苏州大学, 2007.
- FENG Guo-hua. Half Sine Wave Shock-excited Analysis Based on ASQ700 Model[D]. Suzhou: Suzhou University, 2007.