

跌落冲击对苹果呼吸速率的影响

王霞¹, 刘影²

(1.广东食品药品职业学院, 广州 510000; 2.茂名职业技术学院, 茂名 525000)

摘要: **目的** 研究亚临界载荷对苹果呼吸速率变化的影响机制。**方法** 首先通过在跌落临界高度以下设置不同高度的苹果跌落实验; 然后测量跌落后的苹果在密封容器内 CO₂ 和 O₂ 浓度的变化; 最后根据实验数据得到跌落高度与苹果呼吸速率的关系。**结果** 在亚临界高度下, 苹果受到损伤冲击后的呼吸速率发生了较大变化。在相同的时间内, 跌落高度越高, 密闭容器中 O₂ 的含量越少, CO₂ 的含量越多, 呼吸速率越大。随着跌落高度的增加, 氧气的减少率越来越大, 二氧化碳的增加率也越来越大。在同一跌落高度下, 随着时间的增加, 苹果的呼吸速率逐渐减小, 当达到一定时间后, 呼吸速率趋于平稳。根据实验数据建立了亚临界载荷下呼吸速率与跌落高度和时间的数学模型。**结论** 研究结果有助于果品缓冲包装的改进。

关键词: 临界跌落高度; 亚临界载荷; 呼吸速率

中图分类号: TB489 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)17-0048-04

Effect of Drop Impact on the Respiratory Rate of Apples

WANG Xia¹, LIU Ying²

(1.Guangdong Food and Drug Vocational College, Guangzhou 510000, China;

2.Maoming Vocational and Technical College, Maoming 525000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of subcritical loads on the change of respiratory rate of the apples. Firstly, the apple drop tests at different heights below the critical drop height were set up. Then, the change in the concentration of CO₂ and O₂ of the dropped apple in the airtight container was measured. Finally, the relationship between the drop height and the respiratory rate was obtained on the basis of the experimental data. The respiratory rate of the apple had changed greatly after the impact damage. The higher the drop height was, the less the O₂ was, the more CO₂ was in an airtight container and the greater the respiratory rate was in the same period of time. With the increase of drop height, the oxygen loss rate was becoming more and greater, and so was the carbon dioxide increase rate. With the increase of time, the apple's respiratory rate gradually decreased at the same drop height, and then tended to be stable after a period of time. The mathematical model for the respiratory rate and the drop height and time under the subcritical load was established according to the experimental data. The research results are conducive to the improvement of the fruit cushion packaging.

KEY WORDS: critical drop height; subcritical load; respiratory rate

果蔬类产品是一种特殊的商品, 其从运输到销售的过程中质量和品质都会有不同程度的损失和降低, 而这些在很大程度上都是由机械损伤引起的, 机械损伤会造成果蔬组织结构生理活性的改变、组成成分的变化、外观出现伤痕等。果品在储运过程中, 会受到不同形式的力的作用, 比如碰撞、摩擦、振动等。其中, 有振动、碰撞等力对果蔬损伤较大, 国内外许多学者都在这些方面进行了比较深入的研究。

不少学者对果品由于冲击振动造成的损伤进行了很多的研究, Holt 和 Schoorl^[1-2]研究了苹果在包装容器中受到的冲击损伤, 对苹果间的能量吸收建立了理论模型, 发现苹果损伤的体积越大则吸收的能量越高, 从而造成的损伤越大。Schulte^[3]研究发现苹果在运输包装过程中受到的冲击大于 20g 时, 苹果更容易受到损伤。Barchi^[4]研究发现包装箱内放置隔衬可降低枇杷受振动影响所造成的损伤。刘迎雪^[5]

收稿日期: 2016-12-19

作者简介: 王霞(1981—), 女, 博士, 广东食品药品职业学院讲师, 主要研究方向为食品检测和食品营养。

等研究了振动对小番茄的生理特性的影响, 研究发现振动强度越大, 呼吸速率越大。简超^[6]等研究发现在临界高度以下, 苹果跌落不会出现可视损伤, 但贮藏时间会缩短。王岩^[7]对影响果品呼吸作用的因素进行了初步研究, 发现果品遭受机械损伤后, 立即产生反应, 呼吸强度明显增加。赵梅霞^[8]研究了受损后不同水果的反应时间和反应速度, 发现桃果类对机械伤害的反应较为快速。

果品的临界跌落高度指的是会立即给其造成可视损伤的跌落高度。目前国内外的研究主要集中在临界高度以上的冲击振动对果品的损伤研究。在亚临界跌落高度下的冲击损伤对苹果的机械损伤很小, 损伤很难被注意到, 但是对生理指标及后续加工品质的影响是不容忽视的。经过调研发现, 在临界高度以下即亚临界高度时, 苹果也会受到机械损伤, 这种损伤并不明显, 称之为软损伤。这里主要研究在临界高度以下受到跌落冲击时苹果产生的软损伤, 在分析苹果受到软损伤后, 对其呼吸强度变化的影响进行研究。通过不同高度下对照实验的比较, 得出相关数据, 对于苹果损伤研究以及苹果包装设计尤其是气调包装提供了有价值的资料^[9-10]。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 陕西糖心富士苹果, 购于欧尚超市, 挑选大小和成熟度一致、色泽均匀、无机械损伤且无畸形、无病虫害的果实, 质量为 240.4~274.5 g, 硬度为 0.68~0.80 MPa。主要仪器: 6600 型 O₂/CO₂ 顶部空间分析仪, SECURA224-1CN 型电子天平, THS-AOC-100AS 型恒温恒湿箱, 广州深华公司。

1.2 方法

1.2.1 苹果跌落实验

根据相关文献^[10-11]的实验方法, 可以得到该实验中苹果的临界跌落高度为 3.5 cm。这里主要研究在临界高度以下受到跌落冲击时苹果产生的软损伤, 因此跌落高度的选取要低于临界跌落高度。选取 12 个苹果分成 4 组, 分别在 0, 1, 2, 3 cm 的高度下跌落后, 放入容器中, 每个容器内放入 1 个苹果, 共设置 12 个容器试样, 3 个试样为 1 组。实验容器为自制密封罐, 容积为 1200 mL, 顶部开 3 mm 的孔, 硅胶片封住。为保持干燥度, 在每个容器中放入 30 mL 过饱和 Mg(NO₃)₂ (维持容器内相对湿度为 50%), 并将所有试样密封放入室温 (23 °C) 下以供测试。

1.2.2 呼吸速率测定

文中苹果呼吸速率的测定采用密闭系统法^[12-15]。

实验使用顶部空气分析仪之前, 要先对仪器进行预热, 预热时间大约为 0.5 h, 当仪器的温度达到并稳定在 650 °C 时才能保证仪器的正常使用。实验时, 将仪器的针头部分插入硅胶隔膜到达密闭容器内部, 按下绿色的按键, 直到数据稳定不变, 实验结束, 拔出针头部分。仪器的针头部分插入和拔出时, 用手按住硅胶隔膜片, 防止硅胶隔膜被撕开, 造成容器漏气。

测量方法: 每隔一段时间对容器内的气体浓度变化进行测试, 由于开始对苹果的呼吸变化不太了解, 所以实验开始时间间隔较短, 然后逐渐增大间隔时间, 在苹果刚放进容器中时, 先测量容器内的气体含量, 再间隔 1, 2, 4, 12, 12, 12 h……进行实验, 直至密闭容器内氧气含量极低, 苹果呼吸作用紊乱。

1.2.3 呼吸速率的测定方法

果蔬的呼吸速率常用单位质量、单位时间内吸收 O₂ 或者产生 CO₂ 的量来表示^[9]。密闭系统法是目前实验室使用得最多的测定果蔬呼吸速率的方法; 该方法是在密闭容器中放入果蔬和一定浓度的气体, 密闭容器内的气体浓度会随着呼吸作用发生改变, 通过测量气体浓度的变化来计算果蔬的呼吸速率^[11]。呼吸速率计算方程为:

$$R_{O_2} = \frac{(\varphi_{O_2}^t - \varphi_{O_2}^{t_1})V}{100m(t_f - t_1)} \quad (1)$$

$$R_{CO_2} = \frac{(\varphi_{CO_2}^t - \varphi_{CO_2}^{t_1})V}{100m(t_f - t_1)} \quad (2)$$

式中: t_f 为该阶段测量时间; t_1 为前一阶段测量时间; $\varphi_{O_2}^t$ 和 $\varphi_{O_2}^{t_1}$ 分别表示测试时前一阶段和该阶段氧气的体积分数; $\varphi_{CO_2}^t$ 和 $\varphi_{CO_2}^{t_1}$ 分别表示测试时前一阶段和该阶段二氧化碳的体积分数; V 为容器体积; m 为果蔬质量。

2 结果与分析

2.1 实验结果

不同的跌落高度下气体浓度的变化见图 1。可以看出, 随着时间的推移, 不同跌落高度下, 密闭容器中二氧化碳的含量逐渐升高, 氧气的含量逐渐降低, 当达到一定的时间后 (70 h), 氧气和二氧化碳的含量基本不变。在较短的时间内, 2 种气体的变化率都比较高, 随着时间的推移, 气体变化率逐渐降低, 最后趋于平缓; 在相同的时间内, 跌落高度越高, 密闭容器中氧气的含量越少, 二氧化碳的含量越多, 随着跌落高度的增加, 氧气的减少量逐渐增加, 氧气的减少率也越来越大, 同样, 二氧化碳的增加量逐渐增加, 二氧化碳的增加率也越来越大。

不同跌落高度下苹果呼吸速率的变化曲线见图 2。

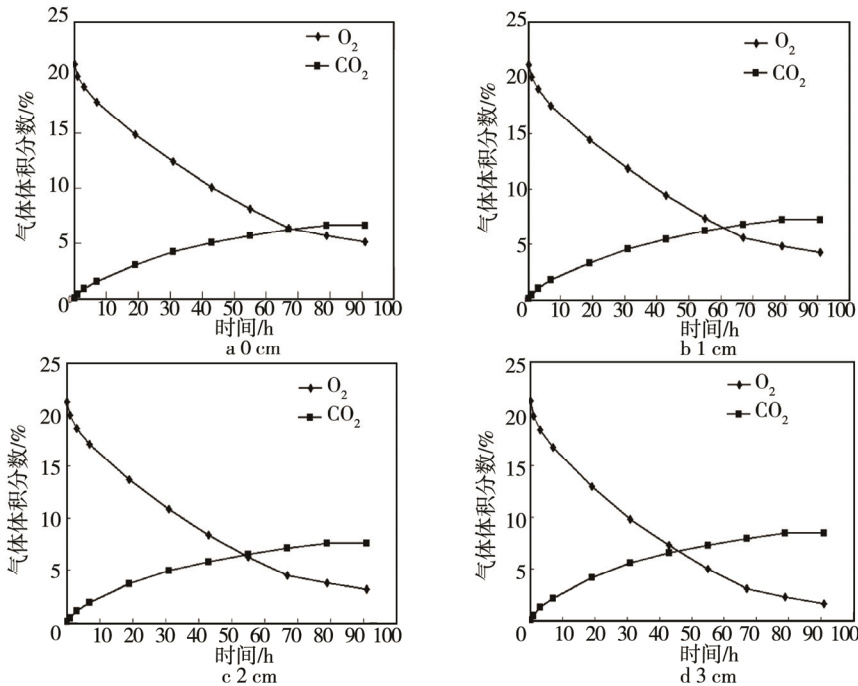


图1 不同跌落高度下气体体积分数随时间的变化曲线
Fig.1 Curves of gas concentration with time at different drop heights

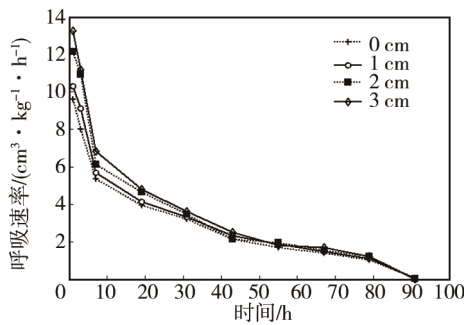


图2 不同跌落高度下苹果呼吸速率的变化曲线
Fig.2 Changes of respiration rate of apple under different drop heights

可以看出,在同一跌落高度下,随着时间的增加,苹果的呼吸速率逐渐减小,当达到一定的时间后(50 h左右),呼吸速率趋于平稳;在开始的40 h内,跌落高度越高,苹果的呼吸速率越快,在40~80 h内,由于容器内氧气的减少和二氧化碳的增加,对苹果的呼吸作用有所抑制,致使不同高度下的呼吸速率基本一致且趋于平稳,在80 h以后,由于容器内的氧气含量过小,所有高度下的苹果都已进行厌氧呼吸。

2.2 亚临界载荷下呼吸速率数学模型的建立

基于上述结果,建立数学模型反映亚临界载荷强度与呼吸强度的关系,见图3。

通过实验数据建模,可以得到将亚临界高度下苹果的呼吸速率拟合成4个不同的曲线,分别得到不同跌落高度下的呼吸速率与时间的公式,式中, R 为呼吸速率, t 为前后两次测量气体含量的时间间隔。

1) 跌落高度为0时: $R = -35.4t^{0.05} + 44.99$ 。

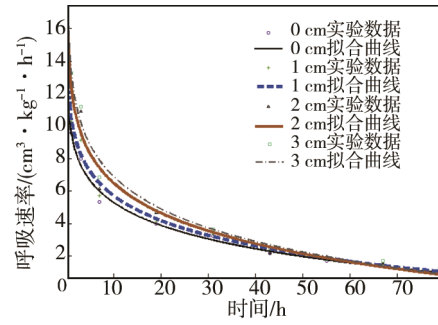


图3 不同跌落高度下苹果呼吸速率的变化曲线
Fig.3 Changes of respiration rate of apple under different drop heights

- 2) 跌落高度为1 cm时: $R = -50.53t^{0.04} + 61.09$ 。
- 3) 跌落高度为2 cm时: $R = -81.33t^{0.03} + 93.54$ 。
- 4) 跌落高度为3 cm时: $R = -137t^{0.02} + 150.3$ 。

由上述公式可以看出,苹果呼吸速率和时间满足公式 $R = at^b + c$ 的关系。想要得到临界高度和苹果呼吸速率之间的关系,就需要考虑临界高度与公式中的系数 a , b , c 之间是否存在关系。用 Matlab 进行模拟可以得出, $a = -10.135h^2 - 3.155h - 35.86$; $b = -0.01h + 0.05$; $c = 1.0165h^2 + 4.343h + 45.388$ 。最后,得到亚临界载荷与呼吸速率之间的关系式为: $R = (-10.135h^2 - 3.155h - 35.86)t^{-0.01h+0.05} + 1.0165h^2 + 4.343h + 45.388$ 。

3 结语

通过密闭系统实验法研究了亚临界载荷对苹果呼吸速率变化的影响机制。在相同的时间内,跌落高

度越高, 密闭容器中氧气的含量越少, 二氧化碳的含量越多。随着跌落高度的增加, 氧气的减少率越来越大, 二氧化碳的增加率也越来越大。在同一跌落高度下, 随着时间的增加, 苹果的呼吸速率逐渐减小, 当达到一定的时间后(70 h), 呼吸速率趋于平稳。此外, 建立的亚临界载荷下呼吸速率与跌落高度和时间的数学模型, 从理论的角度揭示了苹果在运输过程中内部损伤过程机理, 对于研究果蔬产品的损伤机制以及保证储运过程的安全性都具有重要意义。

参考文献:

- [1] HOLT J E, SCHOORL D. Prediction of Bruising in Impacted Multilayered Apple Packs[J]. Transactions of the ASAE, 1981, 24(1): 242—247.
- [2] HOLT J E, SCHOORL D. Package Protection and Energy Dissipation in Apple Packs[J]. Scientia Horticulturae, 1984, 24(2): 165—176.
- [3] SCHULTE P N L, TIMM E J, BROWN G K, et al. Apple Damage Assessment During Intrastate Transportation[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1990, 6(6): 753—758.
- [4] BARCHI G L, BERARDINELLI A, GUARNIERI A, et al. Postharvest Technology: Damage to Loquats by Vibration-simulating Intra-state Transport[J]. Biosystems Engineering, 2002, 82(3): 305—312.
- [5] 刘迎雪, 卢立新. 振动对小番茄生理特性的影响[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 20—21.
LIU Ying-xue, LU Li-xin. Vibration Effects on Physiological Characteristics of Tomato[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 20—21.
- [6] 简超, 王军, 潘嘹, 等. 亚临界载荷下跌落高度对苹果贮藏寿命的影响[J]. 包装工程, 2011, 32(17): 17—19.
JIAN Chao, WANG Jun, PAN Liao, et al. Subcritical Load Drop Height on the Apple Storage Life[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(17): 17—19.
- [7] 王岩. 影响果品呼吸作用因素的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(27): 13031—13032.
WANG Yan. A Preliminary Study on the Factors Affecting Fruit Respiration[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(27): 13031—13032.
- [8] 赵梅霞. 几种水果不同部位呼吸量及机械损伤后呼吸反应的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
ZHAO Mei-xia. The Respiration Rate of Different Parts of Fruits and the Respiratory Response after Mechanical Injury[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [9] 侯东明, 江亿. 水果蔬菜薄膜气调贮藏[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
HOU Dong-ming, JIANG Yi. Film Storage of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.
- [10] 张琳, 宁玲玲, 黄俊彦. 新鲜果蔬的气调包装[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 22(3): 5—8.
ZHANG Lin, NING Ling-ling, HUANG Jun-yan. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Fruits and Vegetables[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(3): 5—8.
- [11] 卢立新. 果蔬及其制品包装[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
LU Li-xin. Fruits and Vegetables Packaging[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [12] 吕丽. 苹果机械伤模型与抗病生理研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
LYU Li. Study on Mechanical Injury Model and Disease Resistance Physiology of Apple[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012.
- [13] 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. Study of Typical Fruit Mechanical Injury and Protection Mechanism[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [14] 卢立新, 王志伟. 多层苹果刚性跌落冲击模型与冲击响应研究[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 27—29.
LU Li-xin, WANG Zhi-wei. Study on Impact Model and Impact Response of Multilayer Apple[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 27—29.
- [15] 李春飞, 卢立新, 杨冰. 箱装苹果振动特性及损伤的实验研究[J]. 包装工程, 2007, 28(5): 1—3.
LI Chun-fei, LU Li-xin, YANG Bing. Experimental Study on Vibration Characteristics and Damage of Box Mounted Apple[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(5): 1—3.