

不同低温逆境条件下黄瓜果实的热特性参数变化

黄汝国, 张敏*, 袁海涛, 解越, 梁飞侠
(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 探讨低温逆境条件下黄瓜贮藏过程中热特性参数变化规律, 对在2、5、8、11 °C低温条件下黄瓜果实的热特性随贮藏时间的变化进行研究。结果发现: 黄瓜在2、5、8 °C条件下均有冷害发生, 而在11 °C条件下并未出现冷害; 随着贮藏时间的延长, 黄瓜的质量损失率会渐渐上升, 而比热容因失水而下降; 黄瓜的热导率在冷害发生前后出现拐点。实验结果表明, 果实热特性参数的变化与其生物组织冷害具有一定的相关性。

关键词: 低温逆境; 热特性; 比热容; 热导率; 冰点

Variations of Thermophysical Properties of Cucumber Fruit under Different Low Temperature Stresses

HUANG Ruguo, ZHANG Min*, YUAN Haitao, XIE Yue, LIANG Feixia
(College of Food Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to estimate the thermal properties of cucumber under low temperature stress, we measured the thermal properties of cucumber fruit stored for varying times at 2, 5, 8 and 11 °C, respectively. The experimental results indicated that chilling injury appeared in the cucumbers when they were stored at 2, 5 and 8 °C, but not at 11 °C. The mass loss of cucumbers gradually increased during storage, while the specific heat capacity decreased due to the water loss. The inflection point of thermal conductivity in cucumbers appeared around the storage time when its chilling injury occurred for the first time. This study showed that there were some correlations between the changes in the thermal properties of fruit and its biological tissue injuries.

Key words: low temperature stress; thermophysical properties; specific heat capacity; thermal conductivity; ice point

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)22-0177-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201522034

对果实在低温等逆境条件下的生理研究一直是国内外果实采后贮藏研究中的热点。果实采后贮藏中温度是影响其生理变化的其中一个重要的因素, 低温贮藏也被认为是果实保鲜贮藏最有效的方法^[1-2], 但冷敏型果实在冰点以上的低温贮藏容易引起果实内部的代谢失调和机体损伤^[3-4]。黄瓜是一种典型的冷敏型果蔬, 是全球十大蔬菜之一。黄瓜在低温逆境条件下贮藏易造成生理代谢紊乱和细胞膜结构损伤, 亦即出现了冷害。黄瓜的冷害症状一般表现为表皮凹陷、水渍状斑点等^[5-6]。前人对黄瓜在低温逆境条件下贮藏过程, 黄瓜的膜透性、酶蛋白活性等生理生化特性进行了大量的研究, 但对于黄瓜在低温逆境条件下的热特性的变化规律研究较少。

本研究选取黄瓜为研究对象, 以测定其冰点、可溶性固形物、热导率、比热容等特性参数为依据, 旨在发现低温逆境对冷敏果实热特性参数影响, 探明冷敏果实冷害发生过程中热传递特性参数的动态变化规律, 为下一步进行冷敏果实冷害过程中热特性参数与组织细胞膜

透性和细胞形态结构的关系研究以及冷敏果实低温冷害指标的研究提供理论和实验参考。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料采用瑞青黄瓜(新一代全雌性华南系黄瓜品种, 非嫁接栽种, 果长23 cm左右, 单瓜质量220 g左右), 均选取新鲜成熟的作为研究对象, 果实饱满, 无机械损伤, 长条H型, 采自上海市浦东新区书院镇大棚。

1.2 仪器与设备

DCS823e差示量热扫描仪 瑞士梅特勒公司; BT224S型电子分析天平(精度0.1 mg)、MA100C卤素水分测定仪 德国Sartorius公司; WYA-2S数字阿贝折射仪 上海仪电物理光学仪器公司; GY-1型硬度计 杭州东邦科技有限公司。

收稿日期: 2015-01-27

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31371526); 上海海洋大学研究生科研基金项目

作者简介: 黄汝国(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事果蔬冷藏保鲜研究。E-mail: macao2047@126.com

*通信作者: 张敏(1969—), 女, 教授, 博士, 主要从事生物传热及食品冷藏保鲜研究。E-mail: zhangm@shou.edu.cn

1.3 方法

1.3.1 实验处理

采摘的黄瓜适当冲洗拭干, 每3根一组, 然后装入带孔的聚乙烯薄膜保鲜袋中, 每个温度7组, 其中1组作为第0天样品, 分别贮藏于2、5、8、11℃, 相对湿度85%的恒温、恒湿箱中。贮藏后的0.5、1、2、4、6、8、10 d, 分别取样, 置于20℃的室温条件下, 4 h后待黄瓜复温至室温条件下测试各项指标。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 硬度的测定

使用果实硬度计测量黄瓜中段位置去皮后的硬度, 探头直径为1 cm, 测试压入深度10 cm, 每次测定3个样品。

1.3.2.2 冷害指数的测定

参考乔勇进等^[7]方法, 黄瓜的冷害症状为瓜面表皮凹陷, 果皮出现水浸状斑点, 失水萎蔫。冷害分级标准如下: I级: 0, 正常果实, II级: 冷害斑在1%~25%, III级: 冷害斑在26%~50%, IV级: 冷害斑在50%~75%, V级: 冷害斑在76%~100%。按式(1)计算冷害指数。

$$\text{冷害指数} = \frac{\sum \text{冷害级别} \times \text{该级别果实数}}{\text{总果实数}} \quad (1)$$

1.3.2.3 含水量的测定

含水量的测定采用MA100C卤素水分测定仪^[8], 以百分含量计。

1.3.2.4 可溶性固形物含量的测定

根据文献^[9]采用WAY-2S数字阿贝折射仪测定, 以百分含量计。

1.3.2.5 冰点的测定

使用DSC法测定冰点的过程是先使试样冻结, 再升温使其熔化, 测定熔融过程的热效应, 通过热流曲线显示试样的熔融过程。因此实验中只要记录功率随时间(温度)的变化也就反映了试样吸热速度随时间(温度)的变化^[10-11]。

1.3.2.6 比热容的测定

采用文献^[10]的方法测定黄瓜的比热容, 按式(2)计算:

$$C_p = \frac{m_{\text{scd}}}{m_s} \times \frac{\text{DSC}_s - \text{DSC}_b}{\text{DSC}_{\text{scd}} - \text{DSC}_b} \times C_{\text{pstd}} \quad (2)$$

式中: C_p 为样品的比热/(J/(g·K)); C_{pstd} 为标准物质的比热/(J/(g·K)); m_{std} 为标准物质的质量/mg; m_s 为样品的质量/mg; DSC_s 为样品的热流信号/mW; DSC_{std} 为标准物质的热流信号/mW; DSC_b 为空坩埚的热流信号/mW。

1.3.2.7 热导率的测定

热导率测试采用张敏等^[12-13]的测量果实热导率实验装置的方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 不同低温逆境条件下黄瓜果实的冷害指数

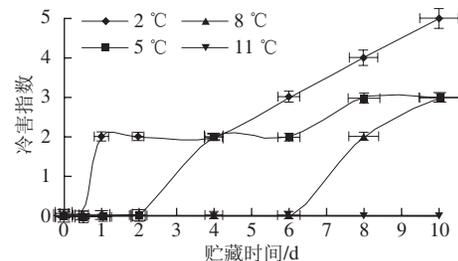


图1 不同低温逆境条件下黄瓜果实的冷害指数

Fig.1 Chilling injury index of cucumber fruit under different low temperature stresses

黄瓜属于冷敏果蔬, 低温条件下贮藏容易发生冷害^[3-6]。由图1可知, 黄瓜在11℃的贮藏期间内并未有冷害发生, 2℃条件下黄瓜贮藏1 d后即发生冷害, 5℃和8℃条件下分别贮藏4 d和8 d时也出现了冷害症状。

2.2 不同低温逆境条件下黄瓜果实质量损失率的变化

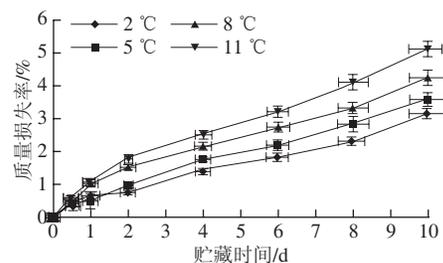


图2 不同低温逆境条件下黄瓜果实质量损失率的变化

Fig.2 Changes in weight loss in cucumber fruit under different low temperature stresses

在低温逆境条件下, 黄瓜果实内部的水分运动会有所减缓, 但仍会有水分散失存在^[14]。由图2所示, 在实验过程中, 各个实验组质量损失率几乎呈线性增长。黄瓜在2℃的低温逆境条件下, 水分不断散失, 其质量损失率逐渐提高, 实验结束时, 质量损失率为3.17%。同样地, 5、8、11℃各组的质量损失率分别为3.6%、4.26%、5.12%。11℃条件下的质量损失率是2℃条件下的162%, 可见在低温逆境、相同湿度条件下, 贮藏温度的高低是影响黄瓜果实质量损失率的关键因素。

2.3 不同低温逆境条件下黄瓜果实硬度的变化

硬度是衡量果实保鲜效果的其中一项重要指标^[15]。随着贮藏时间的延长, 由于黄瓜果实会渐渐失去水分而变得绵软^[16-17], 如图3所示, 各实验组黄瓜果实的硬度均随时间延长不断下降, 其中以2℃的低温逆境时下降最快, 至实验结束时, 其硬度为初始硬度的51%, 而5、8、11℃各组的硬度最终分别下降为初始值的56%、64%、76%。2℃的低温与5、8、11℃各组之间差异显著($P < 0.05$)。

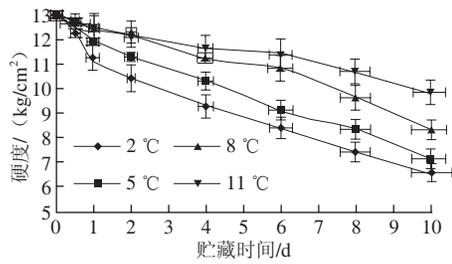


图3 不同低温逆境条件下黄瓜果实硬度的变化

Fig.3 Changes in firmness in cucumber fruit under different low temperature stresses

2.4 不同低温逆境条件下黄瓜果实可溶性固形物含量的变化

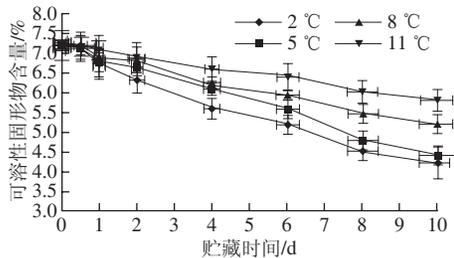


图4 不同低温逆境条件下黄瓜果实可溶性固形物含量的变化

Fig.4 Changes in soluble solids content in cucumber under different low temperature stresses

可溶性固形物含量可以在一定程度上反映果实的成熟度, 并和其成熟度呈反比, 随着贮藏时间延长, 果实呼吸衰老, 果实果肉的可溶性固形物会有所下降^[9]。如图4所示, 在不同低温逆境条件下, 黄瓜随着时间的延长其可溶性固形物含量会逐渐降低, 新鲜黄瓜的可溶性固形物含量为7.2%, 到第10天后, 2、5、8、11 °C贮藏下的可溶性固形物含量分别为4.2%、4.4%、5.2%、5.8%, 其中2 °C条件下降低的幅度最大为41.7%, 贮藏温度越高降低的幅度越小。这可能是因为可溶性固形物的主要成分是糖, 果蔬机体在遇到低温逆境时, 会在一定程度上以糖为原料进行聚合反应, 使自由水向结合水转变, 释放出能量来抵御低温逆境。

2.5 不同低温逆境条件下黄瓜果实冰点的变化

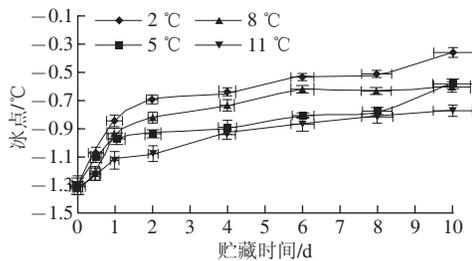


图5 不同低温逆境条件下黄瓜果实冰点的变化

Fig.5 Changes in freezing point of cucumber fruit under different low temperature stresses

如图5所示, 不同低温逆境条件下黄瓜果实冰点随着贮藏时间延长呈逐渐上升的趋势, 并且在不同的低温逆境条件下, 冰点上升的幅度并不相同。新鲜黄瓜的冰点为-1.3 °C, 到第10天后, 2、5、8、11 °C贮藏条件下的冰点分别为-0.35、-0.57、-0.59 °C和-0.76 °C, 各组之间差异显著 ($P < 0.05$)。黄瓜果实冰点的升高是由于随着贮藏时间的延长其可溶性固形物含量下降所致, 这也与前人的研究^[18-19]结论相一致。

2.6 不同低温逆境条件下黄瓜果实比热容的变化

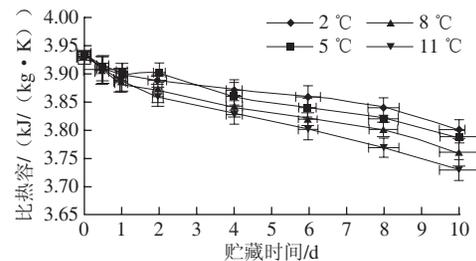


图6 不同低温逆境条件下黄瓜果实20 °C时的比热容变化

Fig.6 Changes in specific heat capacity at 20 °C in cucumber fruit under different low temperature stresses

由图6可以看出, 在4种低温逆境条件下, 黄瓜的比热容都是呈不断下降的趋势, 2 °C条件下贮藏的黄瓜的比热容由初始的3.93 kJ/(kg·K)下降到最终的3.81 kJ/(kg·K), 下降的比例为3.05%。5、8、11 °C贮藏条件下, 黄瓜的比热容分别下降到3.79、3.76、3.73 kJ/(kg·K), 下降的比例分别为3.56%、4.32%和5.09%, 贮藏的温度越低下降的幅度越小。由于含水量较高的食品材料的比热容基本上由其含水量确定^[20-21], 黄瓜果实贮藏过程中水分的散失可能是造成黄瓜比热容下降的主要原因。这与图1所示的质量损失率上升的比例比较吻合, 并且也与果蔬比热容随其含水率的增大而呈增大趋势的报道^[22]一致。

2.7 不同低温逆境条件下黄瓜果实热导率的变化

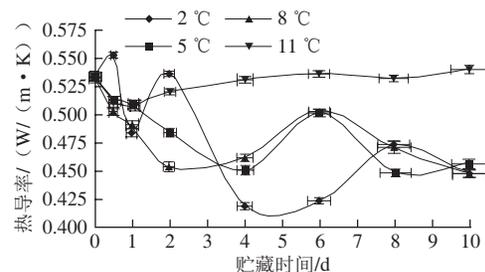


图7 11 °C低温逆境条件下黄瓜果实热导率的变化

Fig.7 Changes in thermal conductivity in cucumber fruit under different low temperature stresses

由图7可知, 不同低温逆境条件下黄瓜果实热导率随贮藏时间延长产生变化, 2、5、8 °C各组的热导率在随着贮藏时间的延长都发生了波动, 且最后维持在一个

比较低的值上,而11℃贮藏条件下的黄瓜热导率值变化并不明显。新鲜黄瓜的热导率为0.53 W/(m·K),至实验结束时,2、5、8、11℃贮藏条件下的黄瓜热导率分别为0.45、0.46、0.45、0.54 W/(m·K)。结合图1,可发现黄瓜热导率出现波动和拐点的时间与初次冷害出现的时间较为一致,究其原因可能是黄瓜果实在受到冷害前后,组织细胞的生物膜发生了相变,膜脂由液晶态向凝胶态转变,同时膜脂相变还导致了原生质流动的停止^[23],从而导致黄瓜的组织结构发生了变化,引起了热导率发生了变化。

3 讨论与结论

实验表明,黄瓜在2、5、8℃低温逆境条件下贮藏均有冷害发生,初次出现冷害的时间分别为1、4、8 d,而在临界温度11℃条件下,黄瓜并未出现冷害。在不同低温逆境条件下,黄瓜随着贮藏时间的延长其可溶性固形物会逐渐降低,因果蔬冰点与其可溶性固形物含量呈正相关^[19],所以可能导致了实验中黄瓜果实的冰点随着贮藏时间而升高。

在低温逆境条件下,黄瓜贮藏过程中的质量损失主要是由其呼吸作用和蒸腾作用导致了水分损失所致^[14,24-25],因为贮藏温度低能有效抑制黄瓜的内源酶活性,降低酶促反应并抑制黄瓜的生命活动,其呼吸作用和蒸腾作用也相应降低^[26]。这也是在同一相对湿度,造成不同低温逆境条件下的质量损失率随着贮藏温度的升高和贮藏时间的延长而升高的原因,2、5、8、11℃各组的质量损失率分别为3.17%、3.6%、4.26%、5.12%。新鲜黄瓜的比热容为3.93 kJ/(kg·K),由于受到贮藏期间黄瓜不断失水的影响,黄瓜的比热容有渐渐降低的趋势,至实验结束时2、5、8、11℃各组的比热容分别为3.81、3.79、3.76 kJ/(kg·K)和3.73 kJ/(kg·K),贮藏温度越低比热容下降的幅度越小,这与含水量的变化相一致。

不同低温逆境条件下黄瓜果实热导率会随贮藏时间的延长而变化,新鲜黄瓜的热导率为0.53 W/(m·K),至实验结束时,2、5、8、11℃贮藏条件下的黄瓜热导率分别为0.45、0.46、0.45、0.54 W/(m·K)。黄瓜热导率的拐点与其初次冷害出现的时间较为一致,原因可能是黄瓜果实在受到冷害前后,组织细胞的生物膜发生了相变,膜脂由液晶态向凝胶态转变,同时膜脂相变还导致了原生质的流动停止,从而导致黄瓜的组织结构发生了变化,引起传热能力发生了变化。这将为下一步进行冷敏果实冷害过程中热特性参数与组织细胞膜透性和细胞形态结构的关系研究,以及冷敏果实低温冷害指标的研究提供理论和实验参考。

参考文献:

- [1] IBA K. Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance[J]. Annual Review Plant Biology, 2002, 53: 225-245.
- [2] CARSON J K. Review of effective thermal conductivity models for foods[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29: 958-967.
- [3] 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 低温贮藏引起果蔬冷害的研究进展[J]. 食品科技, 2010, 35(1): 72-80.
- [4] 斐倩如, 朱本忠, 田慧琴, 等. 气体成分对黄瓜低温贮藏冷害的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 105-112.
- [5] YANG Huqing, WU Fenghua, CHENG Jiyu. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response[J]. Food Chemistry, 2011, 27: 1237-1242.
- [6] 沈丽雯, 刘娟, 董红敏, 等. 热激处理对黄瓜低温贮藏特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 343-348.
- [7] 乔勇进, 冯双庆, 赵玉梅. 热处理对黄瓜冷害及生理变化的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(1): 131-135.
- [8] 卫生部食品卫生监督检验所. GB 5009.3—2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [9] 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: 9.
- [10] 刘振海. 分析化学手册: 热分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 9.
- [11] 胡少强, 于海成, 孙莲萍, 等. 喷气燃料冰点的差示扫描量热法测定[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2004, 2(4): 45-46.
- [12] 张敏, 赵惠忠, 谢晶, 等. 果实热导率测试系统设计和试验[J]. 农业机械学报, 2006, 7(1): 90-93.
- [13] 张敏, 张杰, 张雷杰, 等. 生鲜食品导热系数影响因素的实验研究[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(6): 680-683.
- [14] PAULL R. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15: 263-277.
- [15] 吴雪莹, 屈立武, 周雅涵, 等. 壳聚糖和纳米SiO₂处理对采后脐橙果实硬度的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 204-209. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201502040.
- [16] 姜松, 何莹, 赵杰文. 水果黄瓜在贮藏过程中力学品质变化的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(2): 322-326.
- [17] 纪淑娟, 马超, 周倩. 蓝莓果实贮藏期间软化及相关指标的变化[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 341-345. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201312071.
- [18] WANG Jie, LI Lite. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60: 481-484.
- [19] 钟志友, 张敏, 车贞花, 等. 果实冰点与其生理生化指标关系的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 76-78.
- [20] SWEAT V E. Thermal properties of foods[M]. New York: Marcel Dekker, 1995.
- [21] 冯志哲. 食品冷藏学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 5.
- [22] 张敏, 钟志友, 杨乐, 果蔬比热容的影响因素[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 9-13.
- [23] 马文月. 植物冷害和抗冷性的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(5): 1003-1006.
- [24] 王悦, 薛伟. 不同温度和湿度对松茸保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 366-389.
- [25] MAHAJAN P V, OLIVEIRA F A R, MACEDO I. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84: 281-288.
- [26] 庄言, 张婷, 韩永斌. 冰水预冷及贮藏温度对水芹贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 279-284. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201324058.