

双温冷激处理对黄瓜品质和生理的影响及传热特性分析

张娜, 杨昭^{*}, 陈爱强, 尹海蛟

(天津大学热能研究所, 天津大学中低温热能高效利用教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要: 为探究果蔬冷激过程中传热特性对保鲜效果的影响, 分别对黄瓜进行常规冷激处理(0℃冰水混合物处理42 min)及双温冷激处理(0℃冰水混合物处理14 min后放到6℃冷水中处理14 min, 最后返回0℃冰水混合物处理14 min)。测定了处理过程中黄瓜组织温度分布及贮藏期间失重率、硬度、过氧化物酶(peroxidase, POD)活性等品质和生理变化, 分析了黄瓜贮藏品质与传热特性的内在关系。结果表明: 双温冷激处理在延缓细胞膜降解、提高POD活性方面显著优于常规冷激处理($P < 0.05$), 在10℃冷库贮藏15 d后, 其相对电导率、POD活性分别是常规冷激组的92%及1.24倍; 双温冷激黄瓜内部组织温度梯度在处理第29 min时的阶跃式升高, 以及从处理第29 min到处理结束过程中, 黄瓜内部组织温度梯度高于常规冷激黄瓜, 或许是双温冷激处理黄瓜保鲜效果较好的内在因素。所得结论可为双温冷激处理的应用提供参考。

关键词: 热传递, 机理, 贮藏, 双温冷激, 黄瓜, 品质, 温度梯度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.01.034

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-01-0259-06

张娜, 杨昭, 陈爱强, 等. 双温冷激处理对黄瓜品质和生理的影响及传热特性分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 259-264.

Zhang Na, Yang Zhao, Chen Aiqiang, et al. Effect of two-temperature cold shock treatment on quality and physiology of cucumber and its heat transfer characteristic[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(1): 259-264. (in Chinese with English abstract)

0 引言

冷激因具有无毒、无污染、易操作等优点日益受到国内外学者的关注。适当强度冷激处理能够降低果蔬呼吸强度、推迟乙烯高峰、减轻冷害、延缓成熟衰老等^[1-4]。熊兴森等^[1]发现0℃冷空气处理可提高油桃组织内超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)等抗氧化酶的活性, 并能保持较好的果肉硬度; Graham等^[2]对柑橘的冷激处理研究表明, 冷激处理后柑橘表现出更自然的果皮颜色转变; Zhang等^[3]报道将香蕉浸入冰水混合物1 h, 起到延缓软化及抑制果皮退绿转黄的效果; 陈爱强等^[4]指出, 0℃冰水冷激处理黄瓜40 min, 可有效抑制可溶性固形物含量下降、减缓失重率上升。

研究表明, 对于某一特定果蔬存在一个最佳冷

激处理时间, 超过此时间, 冷激积极效应可能减弱, 甚至出现冷害现象^[1]。由此可见, 随处理时间的增加, 冷激产生积极效应程度不同; 而从传热角度分析, 由于果蔬组织热扩散系数较小, 冷激过程中果蔬随处理时间表现出不同的传热特性。目前, 大多数的研究多偏重于冷激时间与冷激胁迫积极效应间的关系, 而未考虑果蔬组织内部温度变化过程对冷激胁迫积极效应的影响, 因此, 本文通过双温冷激, 使得冷激处理具有不同组织温度变化过程, 并从常规与双温冷激处理黄瓜组织温度场分布及内部组织温度梯度差异出发, 旨在探究果蔬冷激过程中传热特性对保鲜效果的影响, 所得结论可为双温冷激处理应用于果蔬预处理中提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜黄瓜于2011年7月14日采摘于天津郊区, 采后立即运回实验室。挑选大小均匀、八九分成熟度、无病虫害、无机械损伤的黄瓜备用。

1.2 处理方法

参考前期研究成果^[5], 设定双温冷激处理为2种温度的3个等时阶段处理, 选取冷激处理适宜时间42 min。将所挑选黄瓜分为3组, 每条约15 kg。各组处理如下: 对照组(CK), 不做处理; 常规冷

收稿日期: 2012-04-25 修订日期: 2012-12-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51076112); 国家自然科学基金项目(51276124)

作者简介: 张娜(1989-), 女, 江苏徐州人, 主要从事果蔬低温冷藏及生物传热技术研究。天津大学热能研究所, 300072。

Email: zhangna881127@163.com

*通信作者: 杨昭(1960-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事生物冷藏保鲜及制冷热泵新技术研究。天津大学热能研究所, 300072。

Email: zhaoyang@tju.edu.cn

激组 (CSS), 0℃冰水混合物冷激处理 42 min; 双温冷激组 (CSD), 按如下顺序处理: 0℃冰水混合物冷激 14 min—6℃冷水冷激 14 min—0℃冰水混合物冷激 14 min。各处理均在恒温水槽(宁波天恒仪器厂)内进行。处理后, 每组随机选取 3 根黄瓜进行标记, 随后将 3 组黄瓜放入温度 10℃、相对湿度 90%、风速 1.2 m/s 的冷库内贮藏。

1.3 品质指标测定与方法

1.3.1 失重率

以称量法测量每组标记黄瓜质量, 按式 (1) 计算失重率。

$$\text{失重率} = \frac{m_0 - m_n}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_0 为贮藏第 0 天黄瓜质量, kg; m_n 为贮藏第 n 天黄瓜质量, kg。

1.3.2 硬度

每组随机取 3 根未标记黄瓜, 在果实中部去皮后用 GY-3 型果实硬度计(杭州汇尔仪器设备有限公司)测量 3 次, 取平均值。

1.3.3 色差

使用 WSC-S 测色色差计(上海精密科学仪器), 采用 Hunter 表色空间, 测量每组标记黄瓜固定位置处 L (亮度)、 a (红绿度)、 b (黄蓝度) 值, 按式 (2) 计算色差值 (ΔE)。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (2)$$

1.3.4 POD 活性

采用愈创木酚氧化法^[6]测定。

1.3.5 相对电导率

采用 CONSCAN-40 型电导率仪(上海理达仪器厂), 测量黄瓜组织浸提液煮沸前后电导率, 2 次电导率的百分比为相对电导率, 每组取 3 根黄瓜, 测量黄瓜中部组织细胞膜渗透率, 取平均值。

1.3.6 温度

采用标准温度计标定后的 T 型热电偶(天津市中环温度仪表厂)测量冷激过程中黄瓜中心及距中心 2R/5、4R/5 组织处温度值, R 为黄瓜半径。

1.4 数据处理

应用 SPSS 软件进行 3 次数据的单因素方差分析及 Duncan 多重比较, 显著性水平为 0.05。

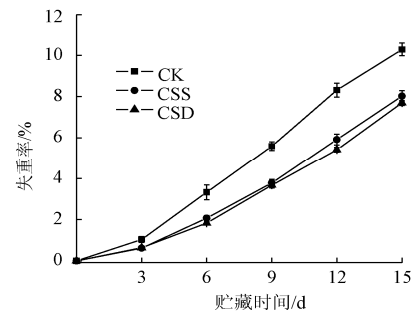
2 结果与分析

2.1 黄瓜保鲜效果与分析

2.1.1 失重率

新鲜黄瓜含水率较高, 在贮藏过程中易失水^[7]。如图 1 所示, 各试验组失重率随时间呈增长趋势, 其中 CK 组始终显著高于其他 2 组 ($P < 0.05$); 贮

藏结束时, CSD 组最低, CSS 组高于 CSD 组、但 2 组间差异不显著 ($P < 0.05$), CK 组最高, 分别是 CSS、CSD 组的 1.28 及 1.34 倍。上述结果表明常规与双温冷激处理均能减少黄瓜的失重率。



注: 对照组 (CK), 不做处理; 常规冷激组 (CSS), 0℃冰水混合物冷激处理 42 min; 双温冷激组 (CSD), 按如下顺序处理: 0℃冰水混合物冷激 14 min—6℃冷水冷激 14 min—0℃冰水混合物冷激 14 min, 下同。

图 1 不同冷激处理方法对黄瓜失重率的影响

Fig.1 Effects of different cold shock treatment methods on cucumber weight loss rate

2.1.2 硬度

硬度是评价黄瓜品质的重要指标之一^[8]。如图 2 所示, 贮藏过程中, 各试验组黄瓜硬度不断降低, 且 CK 组下降速度最快, 贮藏第 3 天后, CK 组便始终显著 ($P < 0.05$) 低于各冷激组; CSS 与 CSD 组硬度在贮藏过程中差异不显著 ($P < 0.05$); 贮藏结束时, CK、CSS、CSD 组硬度分别为初始值的 78.7%、91.49%、92.65%; 感官验证 CK 组黄瓜较疲软, CSS 与 CSD 组则保持相对较好的硬度。常规与双温冷激处理均能有效延缓黄瓜硬度下降。

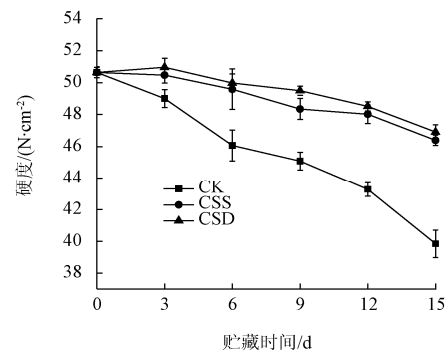


图 2 不同冷激处理方法对黄瓜硬度的影响

Fig.2 Effects of different cold shock treatment methods on cucumber firmness

2.1.3 色差

如图 3 所示, 贮藏前期, 各组黄瓜色差均呈现快速增长趋势, 贮藏第 3 天, CSS 组最大, 分别是 CK、CSD 组的 1.42、1.24 倍; 贮藏后期, CK 组色差仍以较大速率增长, 而 CSS 与 CSD 组的增长则趋于平缓, 贮藏 9d 后, CK 组色差值显著高于其他 2 组 ($P < 0.05$); 贮藏结束时, CK 组色差值最大,

且分别是 CSS、CSD 组的 1.19、1.27 倍, CSS 与 CSD 组之间无显著差异 ($P<0.05$)。可见, 常规与双温冷激处理均能有效抑制黄瓜果实色差增长, 且双温冷激组效果稍优于单温冷激组。

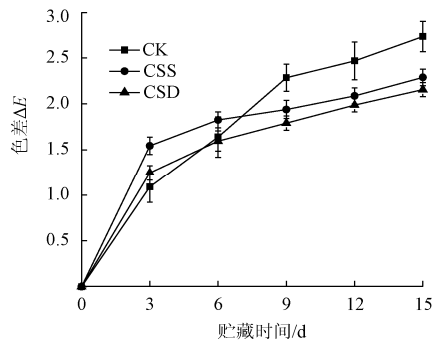


图 3 不同冷激处理方法对黄瓜色差的影响

Fig.3 Effects of different cold shock treatment methods on cucumber color difference

2.1.4 相对电导率

植物膜系统的完整性破坏和功能缺失是植物低温冷害及衰老的基本特征^[9-10], 目前相对电导率已经被广泛应于表征果蔬膜脂过氧化程度及冷害情况^[11-12]。如图 4 所示, 贮藏第 3 天, 各组无显著差异 ($P<0.05$); 贮藏 3 d 后, 各组相对电导率呈增加趋势, 且 CK 组显著高于 CSS 组、CSS 组显著高于 CSD 组 ($P<0.05$); 贮藏结束时, CSD 组相对电导率分别为 CK、CSS 组的 77.37%、92.01%。常规与双温冷激处理均能较好的抑制黄瓜果实生物膜降解、减少细胞膜电解质渗透率, 但双温冷激组效果显著优于常规冷激处理 ($P<0.05$)。

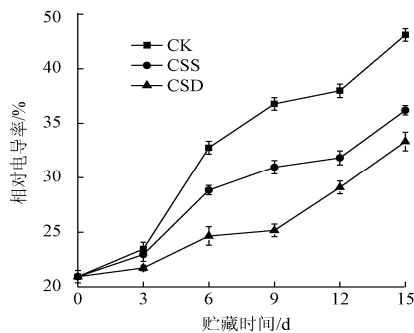


图 4 不同冷激处理方法对黄瓜相对电导率的影响

Fig.4 Effects of different cold shock treatment methods on cucumber relative conductivity

2.1.5 过氧化物酶 (POD) 活性

POD 作为酶促防御系统中主要的过氧化保护酶, 可提高果蔬低温适应能力、延缓衰老。POD 活性高, 清除自由基能力强^[13-15]。如图 5 所示, 贮藏过程中, 各组 POD 活性呈现先升后降的趋势, 且 CK 组显著 ($P<0.05$) 低于两冷激组、CSD 组具有

最高值 ($P<0.05$); 各组峰值均出现在第 3 天, CK 组峰值最低, 分别是 CSS、CSD 组的 73.08%、65.98%; 贮藏结束时, CSD 组 POD 活性值分别是 CSS、CK 组的 1.24、1.97 倍。常规与双温冷激组均具有较高的 POD 活性, 但双温冷激组效果更显著 ($P<0.05$)。

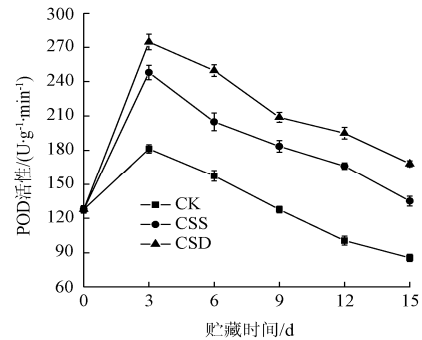


图 5 不同冷激处理方法对黄瓜 POD 活性的影响

Fig.5 Effects of different cold shock treatment methods on cucumber POD activity

2.1.6 分析讨论

黄瓜皮薄, 采后由于呼吸及蒸腾作用易失水, 贮藏 15d, 各组失重率均较高, 且两冷激组低于 CK 组, 可见冷激处理可有效抑制黄瓜呼吸强度。果蔬软化过程复杂, 果胶、纤维素及半纤维素在酶的作用下水解是果蔬硬度下降的主要原因, 此外, 失水引起的细胞膨压下降也会造成软化^[16]。两冷激组始终保持较高硬度, 可能是由失重率较低且冷激有效抑制细胞壁分解酶活性共同造成的。绿色果蔬贮藏期间由于叶绿素降解易出现黄化现象, 黄瓜表皮颜色直接影响其商品价值^[17-18]。贮藏第 3 天, 对照组色差值最小, 冷激处理可短时促进黄瓜叶绿素含量下降, 3d 后两冷激组色差增长速率明显低于对照组, 可能是冷激处理激发了黄瓜的自身保护机制, 抑制了黄瓜表皮色素浓度的变化。

冷激胁迫能诱导某些基因表达^[19], 合成小分子蛋白质以维护细胞正常生理活动, 提高 POD 等保护酶的活性。两冷激组在贮藏过程中, 始终保持较高的 POD 活性, 且 CSD 组最大, 说明冷激可激发黄瓜保护机制, 同时双温冷激的胁迫诱发程度高于常规冷激。质膜是植物细胞原生质体与外界环境的界面结构, 表征细胞衰老和逆境伤害, 在贮藏过程中, 对照组相对电导率最高, 且 CSD 组值最小, 这可能与 CSD 组相对较高的 POD 活性值有关。

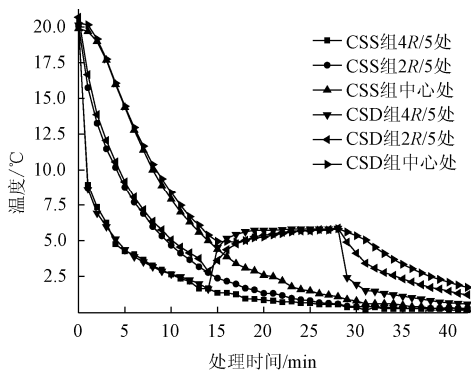
通过品质及生理指标对比分析, 两冷激组保鲜效果优于对照组; 且双温冷激组在细胞膜渗透率及 POD 活性方面显著优于常规组 ($P<0.05$)。在相同的贮藏条件下, 两冷激组间的品质差异主要取决

于相应的冷激过程,因此有必要探究冷激过程中黄瓜组织的传热特性。

2.2 不同冷激处理黄瓜传热特性对比分析

2.2.1 不同冷激处理黄瓜组织温度动态分布

如图 6 所示, CSS 组处理初始, 黄瓜各测点温度均持续快速下降, 且黄瓜组织降温速率从表皮至中心处依次降低; 处理 17 min 后, 黄瓜与介质间温差缩小、温度缓慢下降。CSD 组处理分 3 个阶段, 第一阶段: 0℃冷激 14 min, 与 CSS 组处理温度分布趋势基本一致; 第二阶段: 6℃冷激 14 min, 处理初始, 4R/5 处温度便快速回升, 而中心处温度仍保持下降, 直至处理 17 min 时才缓慢回升, 第二阶段结束时黄瓜整体温度稳定在 6℃; 第三阶段: 0℃冷激 14 min, 温度分布与第一阶段具有相同趋势。



注: 2 种冷激处理所选黄瓜半径 R 为 17.00 mm。

图 6 不同冷激处理方法对黄瓜组织温度动态分布的影响
Fig.6 Effects of different cold shock treatment methods on dynamic temperature field of cucumber tissue

从两冷激组处理过程得, 双温与常规冷激处理的主要差别在于双温冷激处理第二阶段: 6℃冷激 14 min, 提高了黄瓜组织整体温度, 进而增大了处理第三阶段黄瓜与 0℃冰水混合物之间的传热温差, 同时由于果蔬组织热扩散系数较小, 使得黄瓜表皮与内部组织间再次出现较大温差, 温差是冷激处理中组织间热量传递的根本动力。

2.2.2 不同冷激处理黄瓜内部组织温度梯度

在具有连续温度场的物体内, 任意一点温度梯度值为该点处最大温度变化率, 即过该点等温线法线方向上温度变化率^[26]。黄瓜内部组织温度梯度为该点沿半径方向上的温度变化率。由于实际测温中无法得到黄瓜内部各点温度分布趋势, 本文选取黄瓜内部径向 2R/5 与 4R/5 间单位长度上组织温差来表示不同冷激处理黄瓜内部组织温度梯度。如图 7 所示, 处理前 28 min, CSS 与 CSD 组黄瓜组织温度梯度保持较高一致性, 双温冷激组第二阶段处理虽使得黄瓜具有不同温度分布, 但并没有对组织温

度梯度产生影响。处理第 1 min, 两冷激组同时达到各自温度梯度峰值, 之后便呈现下降趋势, 直到处理第 28 min, CSS 与 CSD 组黄瓜各自温度梯度值分别降到 0.04℃/cm 与 0℃/cm, 其组织间温度梯度趋于零, 即黄瓜内部基本无温差; 处理 28 min 后, CSS 组黄瓜内部组织持续保持较低温度梯度值直至处理结束, 而 CSD 组黄瓜由于经过第二阶段 6℃冷水处理 14 min, 再次进行 0℃冷激时黄瓜组织温度梯度出现阶跃式升高, 在处理第 29 min 时达到另一峰值, 后又逐步缩小但直到处理结束时仍具有 0.96℃/cm 的较高温度梯度值。

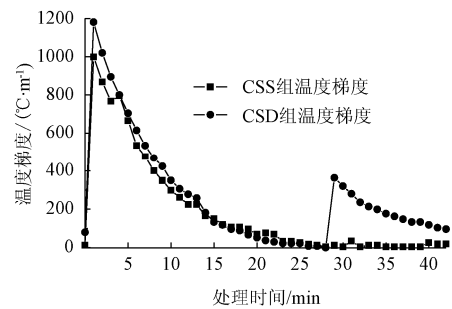


图 7 不同冷激处理方法对黄瓜组织温度梯度的影响
Fig.7 Effects of different cold shock treatment methods on temperature gradient of cucumber tissue

温度梯度表征由于处理介质与果蔬间存在温差而引起的热量传递。双温冷激处理第 29 min 时组织温度梯度的阶跃式升高, 以及在处理第 29 min 到处理结束时, 其组织温度梯度值始终高于常规组, 组织温度梯度大表明果蔬组织温差大、果蔬组织热量传递剧烈。从传热角度来看, 果蔬的冷激过程是一定温差下热量转移过程。冷激对果蔬产生低温胁迫, 一般认为这种胁迫效应程度与冷激处理时间有关^[1]。两冷激组具有相同冷激时间, 而双温组保鲜效果优于常规组, 因此这种由果蔬与处理介质间温差所产生的组织间温度梯度也许是影响胁迫效应大小的内在因素。

3 结论

1) 与对照组相比, 冷激处理能够有效减少失重率、延缓硬度下降、抑制颜色变化及细胞膜降解、提高 POD 活性。

2) 双温冷激处理保鲜效果在相对电导率、POD 活性方面显著优于常规冷激处理 ($P < 0.05$), 在 10℃冷库贮藏 15 d 后, 其相对电导率、POD 活性分别是常规冷激组的 92% 及 1.24 倍。

3) 黄瓜组织间较大温度梯度也许是冷激对黄瓜产生生物学应激效应的根本原因, 双温冷激组组织温度梯度在处理第 29 min 时的阶跃式升高, 以及

在处理第 29 min 后到处理结束过程中, 其内部组织温度梯度值始终高于常规冷激组, 或许是双温冷激处理黄瓜保鲜效果较好的内在因素。

[参 考 文 献]

- [1] 熊兴森, 饶景萍, 戴思琴, 等. 冷激处理对油桃贮藏品质和抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 473—477.
Xiong Xingmiao, Rao Jingping, Dai Siqin, et al. Effect of cold shock treatment on the quality and anti-oxidative enzyme activities of nectarine fruits during storage[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(3): 473—477. (in Chinese with English abstract)
- [2] Graham H B, Angelique A W. Low-temperature cold shock may induce rind colour development of 'Nules Clementine' mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(1): 82—88.
- [3] Zhang Haiyan, Yang Shaoyu, Daryl C J, et al. Physiology and quality response of harvested banana fruit to cold shock[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(3): 154—159.
- [4] 陈爱强, 杨昭, 尹海蛟, 等. 冷激黄瓜贮藏品质及冷激过程传热特性分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 349—353.
Chen Aiqiang, Yang Zhao, Yin Haijiao, et al. Preservation quality of cold shock treated cucumber and heat transfer characteristic during treatment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(11): 349—353. (in Chinese with English abstract)
- [5] 尹海蛟, 杨昭, 陈爱强, 等. 冷热激黄瓜的保鲜效果对比及生物传热分析[J]. 天津大学学报, 2011, 44(6): 516—521.
Yin Haijiao, Yang Zhao, Chen Aiqiang, et al. Preservation contrast and bio-heat transfer analysis of cold and heat shock treatments of cucumber[J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(6): 516—521. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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.
- [7] 苏亚东, 王庆国, 陈玉贞, 等. 热激处理对黄瓜片保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 381—387.
Su Yadong, Wang Qingguo, Chen Yuzhen, et al. Effects of heat-shock treatments on storage of fresh-cut cucumbers[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 381—387. (in Chinese with English abstract)
- [8] 邓云, 吴颖, 李云飞. 果蔬在贮运过程中的生物力学特性及质地检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 1—6.
Deng Yun, Wu Ying, Li Yunfei. Biomechanical properties and texture detection of fruits and vegetables during storage and transportation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(4): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [9] 寇丽萍, 刘兴华, 赵斌, 等. 热处理对轻度加工葡萄膜脂过氧化作用的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 170—173.
Kou Liping, Liu Xinghua, Zhao Bin, et al. Effects of hot air treatment on membrane lipid peroxidation of lightly processed grapes[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(4): 170—173. (in Chinese with English abstract)
- [10] Liu Hai, Song Lili, You Yanli, et al. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(1): 24—30.
- [11] 孔祥佳, 林河通, 郑俊峰, 等. 诱导冷藏橄榄果实抗冷性的适宜热空气处理条件优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 371—376.
Kong Xiangjia, Lin Hetong, Zheng Junfeng, et al. Optimum conditions of hot air treatment for inducing chilling tolerance of Chinese olive fruits during cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 371—376. (in Chinese with English abstract)
- [12] 寇丽萍, 刘兴华, 赵斌, 等. 热处理对轻度加工葡萄膜脂过氧化作用的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 170—173.
Kou Liping, Liu Xinghua, Zhao Bin, et al. Effects of hot air treatment on membrane lipid peroxidation of lightly processed grapes[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(4): 170—173. (in Chinese with English abstract)
- [13] Sala J M, Lafuente M T. Antioxidant enzymes activities and rindstaining in 'Navelina' oranges as affected by storage relative humidity and ethylene conditioning[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(3): 277—285.
- [14] Ballester A R, Lafuente M T, Gonzalez-Candelas L. Spatial study of antioxidant enzymes, peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase in the citrus fruit-*Penicillium digitatum* interaction[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39(2): 115—124.
- [15] 庞学群, 黄雪梅, 李军, 等. 热水处理诱导香蕉采后抗病性及其相关酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 221—225.
Pang Xuequn, Huang Xuemei, Li Jun, et al. Hot water dipping induced resistance to disease *Colletotrichum musae* on banana fruits and its effect on related enzymes [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(2): 221—225. (in Chinese with English abstract)
- [16] Prasanna V, Prabha T N, Tharanathan R N. Fruit ripening

- phenomena-an overview[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2007, 47(1): 1–19.
- [17] Jiang Yueming, Zhang Zhaoqi, Joyce D C, et al. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.)[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 26(3): 241–252.
- [18] Fukasawa A, Suzuk Y, Terai H, et al. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on activities and gene expression of chlorophyll catabolic enzymes in broccoli florets[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 55(2): 97–102.
- [19] Seki M, Narusaka M, Ishida J, et al. Monitoring the expression profiles of 7000 *Arabidopsis* genes under drought, cold and high-salinity stresses using a full-length cDNA microarray[J]. *The Plant Journal*, 2002, 31(3): 279–292.
- [20] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

Effect of two-temperature cold shock treatment on quality and physiology of cucumber and its heat transfer characteristic

Zhang Na, Yang Zhao^{*}, Chen Aiqiang, Yin Haijiao

(Thermal Energy Research Institute, Tianjin University, Key Laboratory of Medium-Low Temperature Energy Efficient Utilization of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Cold shock treatment, as a safe, effective physical pretreatment method, had gained growing interest. Part of this interest relates to the growing pressure from consumers to reduce the quantities of postharvest chemicals used for keeping fresh. To investigate the effects of heat transfer characteristics on fruits and vegetables during storage, the concept of two-temperature cold shock treatment was introduced to obtain the different heat transfer characteristics during the process of cold shock treatment. Cucumbers were treated with a common cold shock treatment (42 min at mixture of ice and water) and a two-temperature cold shock treatment (14 min at mixture of ice and water, followed by 14 min at 6°C cold water, and 14 min at mixture of ice and water again), respectively. The temperature distribution of cucumber was measured. The storage quality such as weight loss rate, firmness, and peroxidase (POD) activity were evaluated. Then the internal relationships between the cucumber preservation quality and heat transfer characteristics were analyzed. The results indicated that the two cold shock treatment methods performed better than the comparative group in reducing weight loss rate, restraining soft tissues and color variation, maintaining the membrane integrity, and increasing POD activity. The two-temperature cold shock treatment was significantly superior to the common cold shock treatment in delaying degradation of cell membrane and increasing POD activity ($P < 0.05$), after 15 d storage at 10°C, the membrane permeability, POD activity of the two-temperature cold shock treatment were 92% and 1.24 times of the common cold shock treatment, respectively. The temperature gradient appeared a step increase in the 29th minute of the two-temperature cold shock treatment, and compared to the common cold shock treatment, it maintained a relatively higher value from the 29th minute to the end. These could be the internal reasons for the better preservation quality of cucumber with two-temperature cold shock treatment. The interrelated conclusions can offer a reference for the application and implementation of the two-temperature cold shock treatment in postharvest cucumber.

Key words: heat transfer, mechanisms, storage, two-temperature cold shock, cucumber, quality, temperature gradient