

## 热处理对黄瓜贮藏冷害及生理生化的影响

乔勇进 冯双庆 赵玉梅

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

**摘要** 研究热处理抑制贮藏果蔬冷害的效果和机理,选用“新丹4号”黄瓜为试验材料,采后分别用42、37、33和对照(20℃)处理24h,然后2℃低温下贮藏;测定了贮藏过程中冷害发生及与冷害相关细胞膜渗透率等生理生化指标。结果表明:在33~42℃温度范围内,热处理可减轻黄瓜低温贮藏冷害,延缓细胞膜渗透率的上升和可溶性蛋白含量的下降,提高膜脂过氧化保护酶POD、SOD、CAT的活性,可以保护膜膜的稳定性;在低温贮藏过程中,乙烯的释放量没有明显的峰值出现,且后期逐渐降低,但热处理能明显减少贮藏过程中乙烯的释放。在试验热处理温度中37℃效果最好。

**关键词** 黄瓜;冷害;膜保护酶;可溶性蛋白;膜渗透率

中图分类号 S 609.3

文章编号 1007-4333(2003)01-0071-04

文献标识码 A

### Effect of heat treatment on chilling injury and physiological responses of cucumber during low temperature storage

Qiao Yongjin, Feng Shuangqing, Zhao Yumei

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** The cucumber “Xindan 4” was treated with 42, 37, 33 and CK (20℃) respectively, and then stored at 2℃. In order to find out the relations between heat treatment and chilling injury (CI) during storage under low temperature, the chilling injury rate, chilling injury index, ethylene production, soluble protein content, membrane electric conductivity and activities of membrane protective enzymes (SOD, POD, CAT) were investigated in the present study. The results showed that heat treatment inhibited CI occurrence and development, retarded increase in membrane electric conductivity and decrease in soluble protein content, maintained high level of activity of POD, SOD and CAT, and protected the stability of membrane. Ethylene production peak was not apparently present during the whole period and the production gradually fell down in the later period of low temperature storage, but heat treatments decreased ethylene production. These suggest that 37℃ is the best among three temperatures chosen for cucumber heat treatments in the study.

**Key words** cucumber; chilling injury; membrane protective enzymes; soluble protein; membrane electric conductivity

低温贮藏是目前采后贮藏保鲜的主要手段,但一些冷敏型果蔬却容易发生冷害,造成很大损失。而热处理作为果蔬采后处理的一种简单物理方法,可以减轻冷藏的伤害、防治贮藏病虫害、改善贮藏品质、延长贮藏期<sup>[1~3]</sup>,而且无毒无害,避免化学处理的污染,提高食用果蔬的安全性,因而受到采后生理界的广泛重视。前人研究证明热处理可改善低温贮藏过程中由于冷害引起的细胞代谢失常,促进有毒物质的代谢和挥发,并可诱导合成小分子量的热激蛋白,减轻和抑制某些果蔬冷害的发生;还可降低某些氧化酶的活性,抑制组织褐变,改善贮藏品质<sup>[4]</sup>。先后见于用苹果、甘蓝、柿子、颚梨、番木瓜、柑橘、菜

豆和桃等材料进行的热处理贮藏保鲜研究<sup>[3~9]</sup>。热处理可以大规模机械化经营,具有广阔的发展前景。黄瓜属于典型的冷敏易腐型蔬菜,低温贮藏容易发生冷害,造成腐烂失去商品价值和食用价值,热处理在黄瓜方面的研究还未见报道。本试验旨在探求热处理对黄瓜冷藏期间冷害的抑制效果和作用机理,为黄瓜的贮藏保鲜及热处理的应用提供理论基础,并为其他果蔬的贮藏保鲜提供参考。

### 1 材料和方法

#### 1.1 试验材料

选用“新丹4号”黄瓜,于2001-10-04和10-21

收稿日期:2002-10-07

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(6002003)

作者简介:乔勇进,博士研究生,主要从事果蔬采后生理与贮藏技术研究;冯双庆,教授,博士生导师,主要从事果蔬采后生理和贮藏技术研究,Tel:010-62892451

来自北京马连洼蔬菜基地,选择饱满均匀、无机械伤的瓜条,带1 cm果柄,采后尽快运回实验室。

### 1.2 处理方法

热处理用33、37、42 三个温度对黄瓜进行处理24 h,对照为20 。在生物培养箱中进行,RH 90%,处理后用0.04 mm厚的聚乙烯薄膜包装贮藏于2 恒温箱中,每隔3 d取样55条,其中10条用于测定膜渗透率、乙烯释放量、可溶性蛋白含量、SOD、POD、CAT的活性等生理指标;45条分3个重复在常温下放置2 d,调查黄瓜的冷害指数。

### 1.3 测定方法

黄瓜的冷害症状为瓜面表皮凹陷,果皮出现水渍状斑点,失水萎蔫,后期严重会出现霉斑和腐烂。本试验参照马俊莲等方法<sup>[9]</sup>将黄瓜冷害分为4级。

冷害发生率 = 冷害发生数量 / 调查总数量 × 100 %

冷害指数 = (冷害级别 × 该级别果数) / (4 × 总果数)

细胞膜渗透率用DDS - 型电导仪测定黄瓜果皮圆片浸提液的电导,加热煮沸后再测浸提液电导值,相对电导率用2次测定值的百分数表示。

乙烯的测定:用Shimadzu GC - 9A气相色谱仪测定,重复3次;色谱条件为氢焰离子化检测器,CDX - 502填充柱,载气、燃气和助燃气分别为N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>和空气,柱温80,检测室温度120。用外标法定量测定。

SOD活性的测定:采用氮蓝四唑(NBT)法<sup>[10]</sup>。

POD活性测定:愈创木酚氧化法测定<sup>[11]</sup>。

CAT活性的测定:采用滴定法<sup>[12]</sup>。

可溶性蛋白的测定:采用考马斯亮蓝法<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 对冷害发生率和冷害指数的影响(表1)

黄瓜在2 贮藏条件下,冷害发生率随贮藏时间逐渐提高,但差异很大,冷藏的前3 d,各处理没有冷害发生,对照和33 处理从第6天开始出现冷害,但33 要比对照轻;而37和42 处理冷害的发生延迟到第9天出现,而且冷害发生率显著低于对照,第12天对照全部发生冷害,而37 处理仅为52.2%,其他热处理也低于对照,由此可见热处理能抑制冷害的发生。2 贮藏条件下黄瓜的冷害第6 d开始出现,冷害指数对照为0.11,33和42 处理分别为0.023和0.02,而37 处理则推迟到第9天出现,之后冷害指数急剧上升,到第12天时CK的冷害指数达到0.40以上,热处理在0.3以下,其中37 处理冷害指数最低,仅为0.22,分别比CK、33、42 处理降低了0.18、0.08和0.02;由此可见热处理可以抑制冷害的发生,从冷害发生率和冷害指数试验结果表明37 处理抑制冷害的效果最好,可作为黄瓜低温贮藏的适宜热处理温度。

表1 热处理对冷害的影响

Table 1 Effect of heat treatment on chilling injury

处 理	t/d,冷害发生率/%					t/d,冷害指数				
	3	6	9	12	15	3	6	9	12	15
CK	0	19.6 a	75.4 a	100 a	100 a	0	0.11 a	0.37 a	0.40 a	0.65 a
33	0	16.6 a	68.4 b	90.6 a	100 a	0	0.02 b	0.25 b	0.30 a	0.64 a
37	0	0 b	24.4 c	52.2 c	100 a	0	0 c	0.09 d	0.22 c	0.45 c
42	0	0 b	28.2 c	60.4 b	100 a	0	0 c	0.16 c	0.24 b	0.49 b

注: a、b、c、d 为处理间的显著性比较(P < 0.05)。

### 2.2 对膜渗透率的影响(图1)

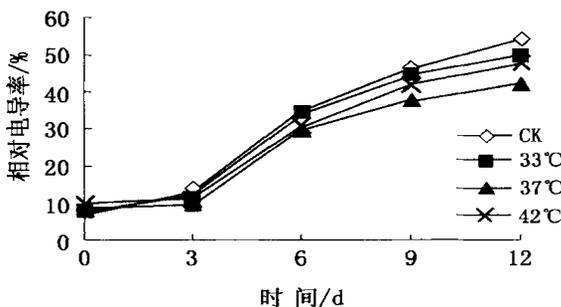


图1 细胞膜渗透率的变化

Fig. 1 Changes of membrane electric conductivity

植物材料受到低温胁迫时,最初伤害的是细胞的膜系统,膜系统由于受到氧自由基的攻击而透性增加,造成离子外渗,因此通常把膜渗透率作为衡量冷害发生程度的重要指标。贮藏之前各处理和对照的膜渗透率均在10%左右,其中42 明显高于对照和其他2个处理,说明处理过程已经对黄瓜的膜系统造成了轻微伤害,引起细胞质的离子外渗。热处理和对照在2 贮藏条件下随着贮藏时间的延长,膜渗透率逐渐增加,第3~6天上升最快,这与冷害的发展相吻合;从第3天开始热处理的膜渗透率低于对照,第6天之后开始有显著差异(P < 0.05),说明热处理可以

提高膜的耐冷性和稳定性,抑制了膜渗透率的增加。

### 2.3 对乙烯释放量的影响(图 2)

黄瓜在贮藏过程中,乙烯的释放量在  $3.54 \sim 4.68 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  之间波动,没有出现明显的峰值,随着贮藏时间的延长,后期释放量在逐渐降低。但热处理的乙烯释放量和降低速率均低于对照,这与黄瓜作为非呼吸跃变型果实是一致的。

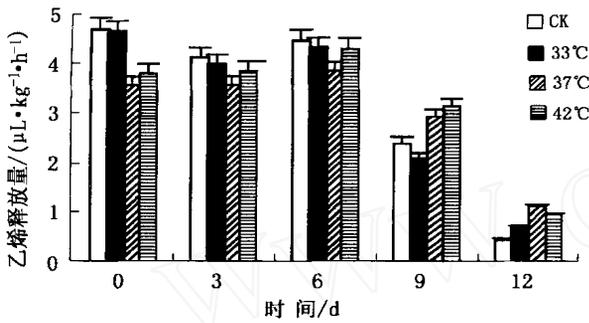


图 2 乙烯释放量的变化  
Fig. 2 Changes of ethylene production

### 2.4 对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响(图 3)

在整个低温贮藏过程中 SOD 活性呈先升后降的趋势,冷藏开始 SOD 活性有一应激升高的过程,这可能是贮藏果蔬的一种保护性反应,但热处理与对照反应的时间和程度存在差异;对照在第 3 天出现一显著峰值,33℃ 也有一小幅上扬,但峰值低于对照,而后 SOD 活性开始下降,直至贮藏结束,到

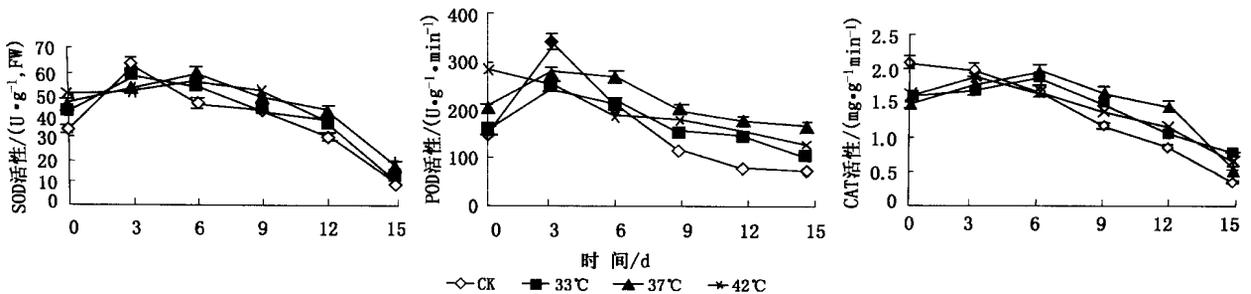


图 3 SOD、POD、CAT 活性的变化  
Fig. 3 Changes of SOD, POD, CAT activity

在低温贮藏过程中 CAT 的活性逐渐降低,开始贮藏时 CAT 活性( $\text{H}_2\text{O}_2$ )维持在  $1.5 \sim 2.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  左右,贮藏结束降低到  $0.4 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,对照开始贮藏前 CAT 活性显著高于热处理,而后一直呈下降趋势,前期(1~6 d)下降平缓,后期则急剧下降;说明低温贮藏对 CAT 活性有消弱和抑制作用,使其对  $\text{H}_2\text{O}_2$  的作用逐渐减弱。热处理则可以延缓 CAT 下降的趋势,并且热处理黄瓜在低温贮藏过程中 CAT 活性有一升高的过程,但不同强度热处理峰值出现时间不同,42℃ 处

15 d 时 SOD 活性已降至很低水平( $10 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{FW}$ );而 37 和 42℃ 处理则在前 3 d 一直处于上升阶段,第 6 天达到峰值,而后下降;在整个贮藏过程中热处理的 SOD 活性高于 CK(第 3 天峰值除外),其中 37℃ 处理的 SOD 活性变化平稳,到贮藏后期(12 d)活性高于 33 和 42℃。这充分说明热处理可以提高冷藏过程中 SOD 酶的活性,提高低温条件下膜的稳定性和清除自由基的能力,37℃ 处理效果优于 33 和 42℃,这与贮藏效果具有一致性。

### 2.5 对过氧化物酶(POD)活性的影响(图 3)

在黄瓜的整个低温贮藏过程中 POD 的活性呈逐渐下降趋势,说明在低温贮藏条件下 POD 的活性逐渐降低,清除自由基的能力逐渐减弱,但热处理和对照之间差异很大;其中对照 POD 的活性开始有一显著的应激升高,第 3 天达到高峰,而后急速下降,到贮藏的第 9 天显著低于热处理的 POD 活性;而热处理的黄瓜贮藏开始 POD 活性就高于对照,42℃ 处理 POD 活性最高达到  $282.2 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,后有一小幅上升,第 3 天达到小峰值,37℃ 处理峰值最高( $276.8 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )。从第 3 天开始到贮藏结束 37℃ 处理 POD 活性一直保持高于 33 和 42℃ 处理。这说明 37℃ 热处理可以延缓黄瓜 POD 活性的降低,减弱膜的膜脂过氧化作用。

### 2.6 对过氧化氢酶(CAT)活性的影响(图 3)

理峰值出现在第 3 天,而 37 和 33℃ 处理则延续到第 6 天出现,但 37℃ 峰值高于 33℃。且贮藏后期(9 d 后)对照 CAT 活性显著低于热处理。

### 2.7 对可溶性蛋白含量的影响(图 4)

可溶性蛋白含量在低温贮藏过程中逐渐减少,CK 开始贮藏时可溶性蛋白含量为  $678.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (FW),后急剧降低,贮藏到第 9 天,可溶性蛋白含量降为  $346.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (FW),下降了 48.9%;33℃ 冷藏后也呈下降趋势,9 天贮藏后,可溶性蛋白含量下降

了29.5%;但37和42℃热处理后冷藏过程中在第3天都有一小幅上升,出现一峰值,42℃峰值高于37℃;而后逐渐下降,到第9天时可溶性蛋白含量分别下降了11.4%和24.5%,试验表明热处理能延缓可溶性蛋白含量的降低。

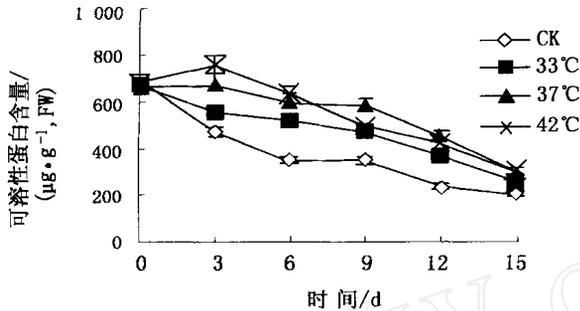


图4 可溶性蛋白含量的变化

Fig. 4 Changes of soluble protein content

### 3 结论与讨论

1) 热处理可以显著抑制黄瓜低温贮藏过程中冷害,冷害发生率和冷害指数均显著低于对照,其中37℃热处理效果最好,可以作为黄瓜热处理的适宜温度。研究表明不同的热处理温度对冷害的抑制作用效果差异很大,这与果蔬的耐热能力和生理特性有关,因此在应用前需要对处理果蔬的热处理温度条件进行试验研究,确定最佳处理温度和时间。

2) 热处理可以延缓黄瓜细胞膜渗透率的增加,减轻由于低温造成膜的伤害,维持膜的稳定性,延缓和抑制冷害的发生;低温贮藏过程中,黄瓜的乙烯释放量没有出现明显的峰值,贮藏后期呈逐渐降低的趋势,热处理比对照能明显减少乙烯的释放。

3) 低温贮藏过程中,冷藏果蔬体内有2种对冷胁迫的防御系统<sup>[14]</sup>,可以提高果蔬的低温适应能力和抗冷性。一种为非酶促防御系统有:VE、VA、VC、以及辅酶Q等;另一种是酶促防御系统,主要有SOD、POD、CAT、谷胱甘肽过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶等;通过这些防御体系清除自由基对膜的攻击,抑制膜脂过氧化,维护膜的结构和功能。在黄瓜低温贮藏过程中,SOD、POD、CAT的活性总体在逐渐降低,说明低温对细胞造成伤害,膜的保护能力在逐渐减弱,自我保护调节能力降低,虽然热处理对3种酶的活性变化影响存在差异,但都能提高酶的活力,延缓酶活力的降低,使组织细胞清除自由基的能力增强,减轻了膜的伤害,这与冷害的发生基本吻合。通过对SOD、POD、CAT等膜脂保护酶活性的研究,有助于揭示冷害和热处理的作用机理,但仍需要对同工酶及酶的代谢和调节体系进一步研究,揭示冷害和热处理的作用机理。

4) 对于低温下植物体内可溶性蛋白变化的研究一直是逆境生理研究的重点,因为这种变化可能与低温胁迫植物基因的表达有关。一般认为可溶性蛋白与抗冷能力之间存在着正相关关系,因为可溶性蛋白亲水性强,可以提高细胞的持水能力,增强对低温适应能力的抗性。因此可溶性蛋白含量变化可以作为植物抗逆性的生理指标<sup>[15]</sup>。在低温贮藏过程中,黄瓜可溶性蛋白含量逐渐降低,热处理可以延缓其降低,尤其37和42℃处理冷藏的前期还有一小幅上升,而且这种波动与冷害的发生程度表现同步的趋势,是否与热激蛋白等特异蛋白质的生成代谢有关,需要做进一步的探讨。

### 参 考 文 献

- [1] Couey H M. Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits [J]. Hort Science, 1989, 24: 198 ~ 201
- [2] William S C, Wojciech J J, Joshua D K, et al. Strategy for combining heat treatment, cium infiltration, and biological control to reduce postharvest decay of ' Gala ' apple [J]. Hort Science, 1999, 34(4): 700 ~ 704
- [3] Chien Y W. Heat treatment affects postharvest quality of Kale and Collard, but not of Brussels Sprouts [J]. Hort Science, 1998, 33(5): 881 ~ 883
- [4] 莫开菊. 热处理在果蔬贮藏保鲜方面的应用与机理 [J]. 湖北民族学院学报, 1997, 15(6): 20 ~ 22, 86
- [5] Lay-Yee M, Ball S, Forbes S K. Hot treatment for insect disinfestation and reduction of chilling injury of ' Fuyu ' persimmon [J]. Postharvest Biol Technol, 1997, 10: 81 ~ 87
- [6] Allan B W, Christopher B W, Judith H B. Reducing external chilling injury in stored ' Hass ' avocados with dry heat treatments [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1995, 120(6): 1050 ~ 1056
- [7] Robert. Shock response in field - grown ripening papaya fruit [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1990, 115(4): 623 ~ 631
- [8] 茅林春, 王阳光, 张上隆. 热处理减缓桃果实的采后冷害 [J]. 浙江大学学报, 2000, 26(2): 137 ~ 140
- [9] 马俊莲, 张子德, 陈志周, 等. 热处理对菜豆冷害及生理生化的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(1): 57 ~ 59
- [10] 王爱国, 罗广华, 邵从本. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究 [J]. 植物生理学报, 1983, 9(1): 77 ~ 84
- [11] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990
- [12] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994
- [13] 李琳, 焦新之. 应用蛋白质染色剂考马斯亮蓝 G250 测定蛋白质的方法 [J]. 植物生理学通讯, 1980, 6: 52 ~ 54
- [14] 张维强, 唐秀芝. 同工酶与植物遗传育种 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993
- [15] 王荣富. 植物抗寒指标的种类及其应用 [J]. 植物生理学通讯, 1987(3): 49 ~ 55