

降温曲线法快速检测果蔬冷害

解越, 张敏, 朱赛赛, 梁飞侠, 袁海涛, 黄汝国

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 为了研究不同贮藏温度对黄瓜品质及细胞结构的影响, 本试验以申青黄瓜为研究对象, 将黄瓜置于 2 °C、8 °C、12 °C、20 °C 下贮藏, 每隔 2 d 测定其感官评分、褐变指数、硬度、电解质外渗率、降温曲线、细胞间隙等指标的变化。结果表明, 在 2 °C 下, 随着贮藏时间的延长, 感官评分逐渐减低, 10 d 时黄瓜品质开始变差, 褐变指数逐渐增大, 12 d 时达到 71%, 硬度逐渐降低, 12 d 时部分出现腐烂, 硬度相比于 0 d 时下降了 43.88%, 此时, 电解质外渗率增幅已经达到 40%, 而 12 °C 和 20 °C 则无明显品质变化。利用果蔬冰点及过冷点测试装置测得黄瓜组织降温曲线, 温度越过过程提前, 降至过冷点的平均速度提高, 不同贮藏时间下黄瓜的冰点基本都在 -2 °C 左右。通过观测黄瓜组织细胞间隙的变化, 发现细胞间层厚度逐渐增大, 2 °C 下贮藏 10 d, L1 达到 3.307 μm, 相应的细胞次生壁厚度逐渐减小, L3 达到 4.233 μm。

关键词: 贮藏温度; 黄瓜; 降温曲线; 品质; 细胞结构

文章编号: 1673-9078(2015)12-370-377

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.055

Rapid Detection of Chilling Injury in Cucumbers via Cooling Curve

Approach

XIE Yue, ZHANG Min, ZHU Sai-sai, LIANG Fei-xia, YUAN Hai-tao, HUANG Ru-guo

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The impact of storage under different storage temperatures on quality and cell structure of Shen Qing cucumbers was investigated. Cucumbers were stored at 2 °C, 8 °C, 12 °C, and 20 °C and changes in sensory evaluation, index of internal browning, firmness, cooling curve, and intercellular layer thickness were analyzed. The results showed that at 2 °C, with an extension of storage time, sensory parameters deteriorated, the quality of cucumber fruits decreased, the index of internal browning reduced to 71% after 12 days and some cucumber fruits began to decay. The firmness decreased to 43.88%, while electrolyte leakage increased by 40%. On the other hand, the cucumber fruits did not show any symptoms of deterioration at 12 °C and 20 °C. The cooling curve showed that, with an extension of storage time, the point of temperature jump moved up and the average speed that dropped to the supercooling point increased as well. The freezing point of cucumber fruits was approximately -2 °C regardless of storage time. Changes in cell structure indicated that the intercellular layer thickness increased and reached 3.307 μm at 2 °C after 10 days; meanwhile, the secondary wall thickness decreased and reached 4.233 μm.

Key words: storage temperature; cucumber; cooling curve; quality; cell structure

黄瓜 (*Cucumis sativus* Linn) 是一种典型的亚热带植物, 属葫芦科 1 年生草本蔓生攀缘植物, 果实颜色呈油绿色或翠绿色, 黄瓜既可作为蔬菜又可作为水果, 由于其丰富的营养价值深受人们的喜爱, 现广泛种植于温带地区^[1]。黄瓜对温度很敏感, 不适宜的低温贮藏极易影响其正常生理代谢, 进而导致组织膜透性受到破坏, 造成组织细胞发生损伤, 即会产生冷

收稿日期: 2015-02-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31371526): 低温逆境下冷敏果实机体传热特性与组织冷损伤相关性研究

作者简介: 解越 (1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬低温贮藏保鲜

通讯作者: 张敏 (1969-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜及食品热物性

害症状^[2]。冷害的发生会导致其抗病性及耐贮性下降, 果实品质发生劣变, 最后完全腐烂, 严重影响其商品价值^[3]。一般情况下果蔬的冷害症状表现为: 表面呈现水浸斑、凹陷斑或烫伤状, 表皮或内部发生褐变, 果实不能正常完熟, 组织腐烂和变味等^[4]。冷害造成细胞膜透性的升高明显早于果蔬外部形态的变化。Linden^[5]等研究发现冷害导致红莓果实相对膜透性增加, 细胞膜透性在贮藏 10 天后快速增加, 说明此时红莓发生了生理代谢的紊乱。黄瓜在低温胁迫下的细胞超微结构变化源于细胞间隙的变化^[6], 细胞间隙逐渐变大变厚, 随着冷害程度的加深, 在细胞之间逐渐出现大量高密度物质, 主要是一些有毒的代谢产物^[7]。我国关于黄瓜低温贮藏冷害的研究起步较晚、进度较

慢,相比于其他传统果蔬^[8-9],目前主要集中在研究黄瓜低温贮藏冷害发生的机理上^[10]。本文以申青黄瓜作为试验对象,通过测定感官评分、褐变指数、硬度、电解质外渗率、降温曲线、细胞间隙等指标的变化情况,将果蔬贮藏期间物性参数的变化与果蔬的生理特性及品质特性的变化结合起来,找出低温贮藏过程中的变化规律,从而能够更快、更准确地衡量果蔬发生冷害的程度,为采后果蔬低温贮藏提供重要的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试材申青黄瓜于2014年12月购自上海市临港新城大棚种植园。果实完全成熟,长度平均为30 cm,

直径平均为3.5 cm,单个果实的重量平均为200 g,果实无明显机械损伤。对运回实验室的试样进行适当的处理,冲洗拭干后每3根为一组分别装入聚乙烯薄膜包装袋中,分别贮藏于2℃、8℃、12℃、20℃下,用记号笔做好相应的标记。

1.2 试验方法

1.2.1 感官评价

参考汤元睿^[11]的方法,参考黄瓜贮藏品质标准^[12-15],对黄瓜果实样品分别从质量、成熟度、外形、色泽、新鲜度等5各方面进行评分,评分人员为6名受过专业培训的研究人员,最后取5项评分的总和即为感官评价的结果,具体评定标准详见表1。

表1 黄瓜果实感官评价标准

Table 1 Scale for sensory evaluation of cucumber

感官描述	优良(2分)	中等(1分)	合格(-1分)	不合格(-2分)
质量	很好	较好	一般	较差
成熟度	完全成熟	成熟	基本成熟	不成熟
外形	形态很好,很直	形态正常,较直	形态一般,较弯	形态较差,很弯
色泽	很绿	较绿	较黄	很黄
新鲜度	很新鲜	较新鲜	一般	不新鲜

1.2.2 褐变指数

在黄瓜果实低温贮藏期间,每次随机取20根黄瓜,按照果实褐变面积的大小确定果实褐变的程度^[16]。果实褐变指数共分为5个等级,即0级,无褐变;1级,褐变面积小于25%;2级,褐变面积为25%~50%;3级,褐变面积为50%~75%;4级,褐变面积为75%~100%。最后,按照公式1计算褐变指数,重复3次取平均值,并计算标准偏差。

$$\sum(\text{褐变等级} \times \text{该等级中果实个数}) / (4 \times \text{测定果实总个数}) \quad (1)$$

1.2.3 硬度的测定

参考李念文^[17]的方法,用TA-XT2i质构仪测定果实硬度,采用质构分析(Texture profile analysis, TPA)模式,将样品组织切成2.5 cm×2.5 cm×1.5 cm的方块,使用平板底柱形探头(SMSP/6)进行测定,探头直径为5 mm,下压距离为5 mm,下压速度为1 mm/s。每组测定8个样品,重复3次取平均值,并计算标准偏差。

1.2.4 细胞膜透性的测定

参考陈健华^[1]的方法。记录试验结果,用公式2分别计算出电导率(百分比),即细胞电解质外渗率,每组测定8个样品,重复3次取平均值,并计算标准偏差。

$$I' = \left(\frac{R - R_0}{R' - R_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

1.2.5 降温曲线的测定

参考钟志友^[18]的方法。利用果蔬活组织冰点及过冷点测试装置^[19]测得黄瓜样品果实组织降温曲线。

1.2.6 果肉组织细胞形态切片的制作

参考卢佳华^[20]的方法。首先用锋利的刀片选取黄瓜果肉组织,组织块的大小取0.3 cm×0.3 cm×0.3 cm。取样后,迅速将其投入到预先配置好的FAA固定液(50%乙醇溶液90 mL+冰醋酸5 mL+40%甲醛5 mL)中进行固定,固定时间为24 h^[22]。固定后的样品采用乙醇逐级脱水:50%乙醇→60%乙醇→75%乙醇→85%乙醇→95%乙醇→100%乙醇(共两次);各级时间均为1 h。脱水后的样品采用二甲苯作为透明剂进行透明处理,乙醇与二甲苯(体积比1:1)→二甲苯(共两次);各级时间均为30 min。随后将样品进行浸蜡处理,二甲苯与石蜡(体积比1:1)→蜡杯(共两次);各级时间均为40 min;温度控制在56~58℃内。样品经过包埋后,在室温下用石蜡切片机进行切片,切片厚度设定为6 μm,本实验染色采用传统的HE法,将切好的样品置于载玻片上,在50℃的烘箱内烘烤过夜。最后,用光学显微镜(自带数码摄像头和图像分析软件ScopeImage9.0)拍摄并记录下组织

细胞结构图像, 对其中的细胞间层厚度(L1)以及相邻两个细胞间细胞壁厚度(L2), 通过公式 3 计算得到细胞次生壁厚度(L3), 同时计算平均值以及标准偏差。

$$L3 = \frac{L2 - L1}{2} \quad (3)$$

1.3 数据处理

运用 SPSS 软件对试验数据进行处理, 同时使用邓肯多重比较进行方差分析, 最后采用 Origin Pro 8.0 软件绘制曲线。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度下中黄瓜果实品质变化对感官评价的影响

表 2 不同贮藏温度下黄瓜果实感官评价结果

贮藏温度/d	对照组	2℃	8℃	12℃	20℃
0	8.21±0.24 ^a	8.21±0.35 ^a	8.21±0.42 ^a	8.21±0.33 ^a	8.21±0.32 ^a
2	7.99±0.72 ^b	5.94±0.66 ^b	7.72±0.50 ^b	7.72±0.64 ^b	7.72±0.63 ^b
4	8.23±0.86 ^a	5.83±0.72 ^b	6.02±1.23 ^c	7.30±1.07 ^b	7.30±1.06 ^b
6	8.01±1.24 ^b	4.95±0.52 ^b	4.79±0.82 ^c	6.11±0.58 ^b	6.11±0.50 ^b
8	7.99±1.27 ^b	4.47±1.24 ^b	4.53±0.41 ^c	5.63±0.61 ^b	5.21±1.06 ^b
10	7.76±0.89 ^c	2.50±1.16 ^c	2.63±0.68 ^c	3.40±0.56 ^c	2.90±1.40 ^c
12	7.60±0.59 ^c	-0.54±1.25 ^c	-0.03±1.03 ^c	1.73±0.71 ^c	0.47±1.15 ^c

注: 表中数据为各组样品“感官评分平均值±标准差”(n≥6); 同行的不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

不同贮藏温度下黄瓜果实的感官评价结果如表 2 所示。在贮藏前期(0~2 d), 样品间并没有表现出显著性差异(p>0.05), 但是随着贮藏时间的延长, 黄瓜果实感官评价结果均呈现出递减的趋势, 其中下降幅度最为明显的是贮藏温度为 2℃组。在 10 d 时, 贮藏温度为 12℃、20℃与贮藏温度为 2℃、8℃之间存在显著性差异(p<0.05), 说明当贮藏温度为 12℃和 20℃时, 黄瓜果实能够保持较为理想的品质, 反之, 当贮藏温度为 2℃和 8℃时, 黄瓜果实的品质不尽如人意。相较于其他贮藏温度, 贮藏温度为 12℃时, 黄瓜果实的感官评价结果相对较高并能为人所接受, 因此黄瓜在此温度下贮藏黄瓜果实品质能有所保障。

2.2 不同贮藏温度下黄瓜果实褐变指数的变化

不同贮藏温度下黄瓜果实褐变指数的变化如表 3 所示。褐变指数常常用来作为判定冷敏性果蔬是否遭受冷害最为直接的指标^[22], 不适的低温贮藏温度及贮藏时间极易造成果实发生冷害, 不但会影响其果实的营养成分, 而且还会影响其商品价值^[23~24]。由表 3 可知, 在不同低温贮藏下, 黄瓜果实冷害发生的程度各不相同。当贮藏温度为 12℃和 20℃时, 黄瓜果实并没有表现出明显的褐变现象, 但随着贮藏时间的延长, 在 12 d 时, 部分果实已经腐烂变质。当贮藏温度为 2℃和 8℃时, 黄瓜果实分别于 2 d 开始发生褐变现象, 随着贮藏时间的延长, 褐变指数呈递增性上升,

褐变指数与贮藏时间呈显著正相关性(p<0.05), 贮藏温度为 2℃时尤为明显, 贮藏 12 d 时, 褐变指数已经达到 71%, 相比于 2 d 时高出了 65%。

表 3 不同贮藏温度下黄瓜果实褐变指数的变化

Table 3 Change in internal browning of cucumber at different storage temperatures

贮藏时间/d	2℃	8℃	12℃	20℃
0	0 ^b	0 ^a	0 ^a	0 ^a
2	0.06±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a	0 ^a	0 ^a
4	0.15±0.02 ^a	0.12±0.01 ^a	0 ^a	0 ^a
6	0.30±0.03 ^b	0.24±0.01 ^a	0 ^a	0 ^a
8	0.46±0.02 ^b	0.33±0.02 ^b	0 ^a	0 ^a
10	0.53±0.02 ^b	0.47±0.01 ^b	-	-
12	0.71±0.01 ^c	0.60±0.03 ^b	-	-

注: 表中数据为各组样品“褐变指数平均值±标准差”(n≥6); 同行的不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

2.3 不同贮藏温度下黄瓜果实硬度的变化

不同贮藏温度下黄瓜果实硬度的变化如表 4 所示。质构特性常常用来鉴定果蔬样品组织状态、结构等, 是判断果蔬品质重要的指标^[25], 本试验以硬度作为主要研究的对象。由表 4 可知, 在贮藏期间, 黄瓜果实的硬度随着贮藏温度的升高而显著降低, 贮藏温度与硬度呈显著负相关性, 并且贮藏温度越高硬度下降越快, 这与陈京京^[26]等人的研究结论相符。当贮藏温度为 2℃时, 随着贮藏时间的延长, 黄瓜果实硬度迅速下降, 果实出现软化的现象, 贮藏 10 d 时, 硬度

相比于 0 d 时下降了 43.88%，相同的现象同样发生在贮藏温度为 8 °C 时。相比与此，当贮藏温度为 12 °C 和 20 °C 时，黄瓜果实硬度下降的速度相对缓慢，贮

藏后期，部分黄瓜果实硬度还会略微增加，这可能与果实后熟等因素有关^[27]。

表 4 不同贮藏温度下黄瓜果实硬度的变化

Table 4 Change in firmness of cucumber at different storage temperatures

贮藏时间/d	对照组	2°C	8°C	12°C	20°C
0	3.771±0.198 ^a	3.771±0.198 ^a	3.771±0.198 ^a	3.771±0.198 ^a	3.771±0.198 ^a
2	3.642±0.199 ^a	3.697±0.201 ^a	3.662±0.181 ^a	3.740±0.193 ^a	3.768±0.202 ^a
4	3.670±0.178 ^a	3.415±0.188 ^a	3.557±0.206 ^a	3.684±0.179 ^a	3.764±0.180 ^a
6	3.867±0.184 ^a	3.343±0.200 ^a	3.483±0.207 ^a	3.651±0.203 ^a	3.662±0.204 ^b
8	3.801±0.190 ^a	3.199±0.161 ^a	3.101±0.168 ^b	3.622±0.168 ^a	3.577±0.161 ^a
10	3.811±0.220 ^a	2.621±0.159 ^b	2.988±0.197 ^b	3.592±0.152 ^a	3.559±0.162 ^a
12	3.793±0.179 ^a	2.380±0.202 ^b	2.612±0.160 ^b	3.576±0.168 ^a	3.489±0.220 ^a

注：表中数据为各组样品“硬度平均值±标准差”(n≥6)；同行的不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

2.4 不同贮藏温度下黄瓜果实细胞电解质外

渗率的变化

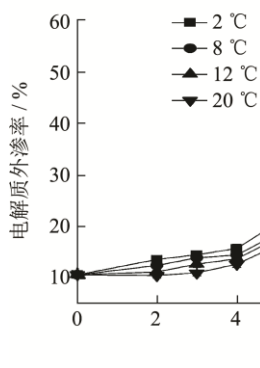


图 1 不同贮藏温度下黄瓜果实细胞电解质外渗率的变化

Fig.1 Change in electrolyte leakage rate of cucumber at different storage temperatures

不同低温贮藏下黄瓜果实细胞电解质外渗率的变化结果图 1 所示。由图 1 可知，黄瓜果实低温贮藏下的细胞电解质渗透率与贮藏温度及时间有显著的相关性。如图 1 所示，当贮藏温度为 2 °C 时，电解质外渗率由 2 d 时的 12.69% 增长到 4 d 时的 14.85%，增长幅度仅为 17.02%，还不到 20%，增长幅度较慢。但是随着贮藏时间的延长，电解质外渗率由 6 d 时的 24.10% 增长到 8 d 时的 34.10%，增长幅度为 44.76%，接近 50%，增长速度快、幅度大。同样，电解质外渗率由 10 d 时的 44.76% 增长到 12 d 时的 51.07%，增长幅度为 14.10%，增长幅度又再次趋于平缓。相同的变化趋势也发生在 8 °C、12 °C 和 20 °C 下。说明在相同的贮藏温度下，贮藏初期 (0 d~4 d)，黄瓜果肉组织电解质外渗率增长幅度较小，增长速度缓慢，相互间差异较小，但随着贮藏时间的延长 (5 d~10 d)，电

解质外渗率增长幅度逐渐增大，差异达到显著水平，最后贮藏末期 (11 d~12 d)，电解质外渗率的增长幅度又趋于平缓，说明此时细胞膜透性已经完全受到破坏^[28]。

2.5 不同贮藏温度下黄瓜果实降温曲线的变

化

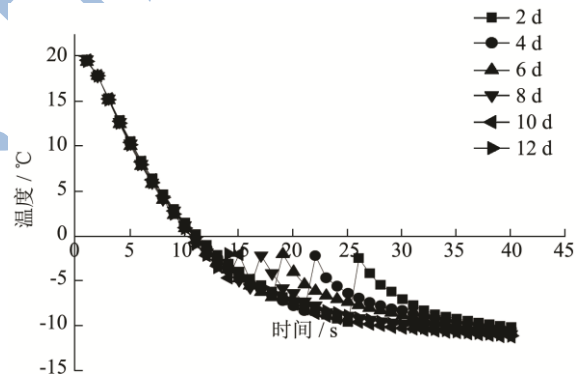


图 2 贮藏温度为 2 °C 时黄瓜果实组织降温曲线图

Fig.2 The cooling curve of cucumber tissue at 2 °C

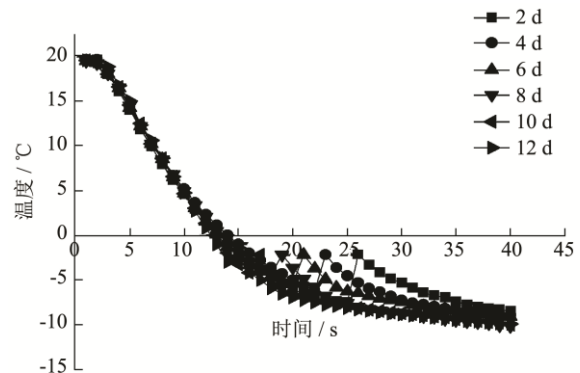


图 3 贮藏温度为 12 °C 时黄瓜果实组织降温曲线图

Fig.3 The cooling curve of cucumber fruit at 12 °C

表 5 不同贮藏温度下黄瓜果实冰点及过冷点温度/°C

Table 5 Super-cooling and freezing points of cucumber at different storage temperatures

贮藏 时间/d	2°C		8°C		12°C		20°C	
	过冷点	冰点	过冷点	冰点	过冷点	冰点	过冷点	冰点
0	-8.31±0.01 ^a	-2.54±0.01 ^a	-8.31±0.01 ^a	-2.54±0.01 ^a	-8.31±0.01 ^a	-2.54±0.01 ^a	-8.31±0.01 ^a	-2.54±0.01 ^a
2	-9.45±0.02 ^a	-2.39±0.01 ^a	-8.47±0.01 ^a	-2.28±0.01 ^a	-7.49±0.01 ^a	-2.17±0.03 ^a	-	-
4	-8.19±0.04 ^a	-2.10±0.02 ^a	-7.18±0.01 ^b	-2.15±0.03 ^a	-6.17±0.03 ^b	-2.19±0.01 ^a	-	-
6	-6.71±0.03 ^b	-1.93±0.04 ^a	-6.09±0.02 ^b	-2.07±0.03 ^a	-5.46±0.03 ^b	-2.20±0.03 ^a	-	-
8	-5.58±0.01 ^b	-2.03±0.01 ^a	-4.95±0.03 ^b	-2.12±0.02 ^a	-4.32±0.01 ^b	-2.20±0.01 ^a	-	-
10	-4.55±0.01 ^b	-1.96±0.03 ^a	-4.37±0.04 ^c	-2.08±0.04 ^a	-4.19±0.02 ^b	-2.19±0.04 ^a	-	-
12	-3.88±0.03 ^c	-1.89±0.03 ^a	-3.20±0.03 ^c	-1.89±0.01 ^a	-3.01±0.04 ^c	-1.88±0.02 ^a	-	-

注：表中数据为各组样品“温度平均值±标准差”(n≥6); 同行的不同字母表示差异性显著(p<0.05)。

利用果蔬活组织过冷点及冰点测量装置测得黄瓜果实组织降温曲线呈现如下的变化趋势。刚开始时，黄瓜果实组织的降温速度快同时下降的幅度也相当大，随后降温的速度及幅度均有所减小直到温度下降到最低温度（即过冷点），此刻曲线会出现了一个小幅的跃变过程，温度快速升至某一特定温度（即冰点），跃过这个温度后的降温速率又开始变慢，降温曲线相比于初始降温曲线呈现出平缓的趋势，最终降至某一温度稳定不变，曲线基本呈一直线。图 2 及图 3 分别为黄瓜样品在贮藏温度为 2 °C 和 12 °C 下所测得的降温曲线。从图中可以看出，贮藏温度分别为 2 °C 和 12 °C 的黄瓜果实组织的降温曲线基本相似，到达过冷点及冰点的时间比较接近均在 25 s 前后，降温曲线的下降速度和幅度大体一致，在 21 s 之前曲线基本重合。以 12 °C 为例分析，随着贮藏时间的延长，果实组织降温的速度和曲线下落的幅度也各不相同，贮藏 2 d、4 d、6 d、8 d、10 d、12 d 降至过冷点之前的平均速度分别为 1.08 °C/s、1.17 °C/s、1.25 °C/s、1.32 °C/s、1.48 °C/s 及 1.61 °C/s，并且出现温度跃变的时间也各不相同，分别为 27 s、24 s、22 s、20 s、18 s 及 16 s，可以看到贮藏 12 d 的黄瓜温度降至冰点的时间和速度明显快于贮藏 2 d、4 d、6 d、8 d 及 10 d 的时间和速度，过冷点有所提前，相比其他贮藏时间的过冷点温度明显提高，从而导致跃变升高到的冰点温度也相对较高。同时还测得了黄瓜样品的冰点，如表 1 所示贮藏温度 12 °C 时，不同贮藏时间下黄瓜的冰点基本都在 -2 °C 左右，这与冯悦悦^[29]等人对新疆红提葡萄的贮藏期与冰点关系研究中发现的贮藏期对红提的冰点温度有影响的实验结果相符。同时贮藏 12 d 的冰点温度与 0 d 的差距最大，并且贮藏 12 d 的冰点温度高于 0 d 的冰点温度，这与孟庆瑞^[30]等人对活组织与死组织冰点研究中发现的死组织的冰点高于活组织的冰点具有

一定共性。同样的对于贮藏温度为 2 °C、贮藏时间为 2 d、4 d、6 d、8 d 及 10 d 的黄瓜果实组的降温曲线也符合以上分析的规律，但所不同的是 2 °C 贮藏的黄瓜是由于冷害的发生而引起的。本实验所得曲线规律与张敏^[31]等人实验结果相一致。

2.6 不同贮藏温度下黄瓜果实组织细胞结构的变化

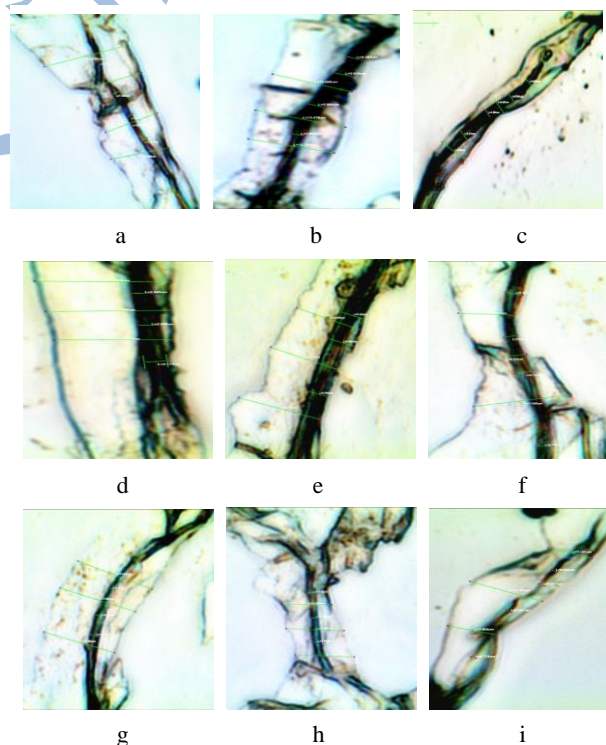


图 4 不同贮藏温度下黄瓜果实组织细胞结构(放大倍数 100×)

Fig.4 Ultra-structure of cucumber cell at different storage temperatures

注：a. 2 °C 2 d, b. 2 °C 6 d, c. 2 °C 10 d, d. 8 °C 2 d, e. 8 °C 6 d, f. 8 °C 10 d, g. 12 °C 2 d, h. 12 °C 6 d, i. 12 °C 10 d.

在对细胞壁结构变化的研究中发现,伴随着果实的成熟衰老,果肉组织细胞壁的电子密度降低,细胞壁明显变薄,细胞壁的结构会发生很大的变化^[7,32]。从试验所拍摄得的图像中可以看出,在选取的统一成熟度的同批次的同种黄瓜中,部分黄瓜果实细胞中含有的细胞间层(图 4a),另一部分没有细胞间层(图 4e)。细胞间层具有一定的厚度,一般细胞间层的厚度较小(图 4f),可以看出在正常温度下细胞结合的较为紧密(图 4h),并且大多数细胞中的次生壁也比较完整并且连接紧密(图 4i)。然而当黄瓜果实经过不同低温贮藏后,组织细胞在冷害温度下,细胞间层厚度(L1)与相邻两个细胞间细胞壁厚度(L2)均有所变化,进而会导致细胞次生壁厚度(L3)产生相应的变化(公式 1)。归纳起来就是低温逆境胁迫下果实细胞组织的细胞间层增大,部分细胞的次生壁有所降解并最终消失。因而导致细胞被破坏,最终死亡。

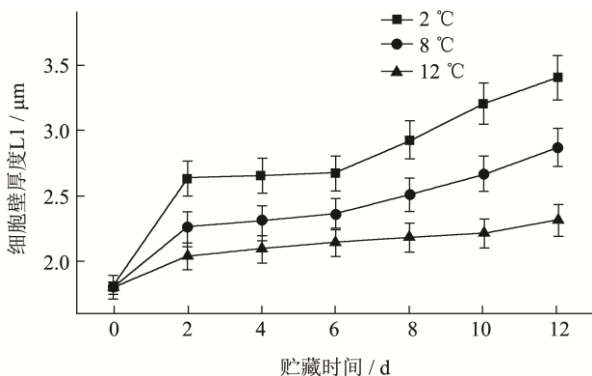


图 5 不同贮藏温度下黄瓜果实组织细胞间层厚度 L1

Fig.5 Inter-cellular thickness under different storage temperatures

不同低温贮藏下黄瓜果实组织细胞间层厚度的变化如图 5 所示。由图可知,细胞间层厚度与贮藏时间及贮藏温度有着显著的相关性。在同一贮藏温度下,它会随着贮藏时间的延长相应的增大,同时增长的幅度也会随着贮藏时间的延长相应的增大;在同一贮藏时间下,它会随着贮藏温度的升高相应的减小,同时增长的幅度也会随着贮藏温度的升高相应的减小。这与乔勇进等对于冷藏黄瓜超微结构的研究结论相符^[32]。以图 5 为例,2 °C下,从第 0 d 贮藏至第 2 d 时,L1 由 1.802 μm 增长到 2.640 μm,增长幅度为 46.5%;从第 0d 贮藏至第 6 d 时,L1 由 1.802 μm 增长到 2.673 μm,增长幅度为 48.3%,接近 50%;从第 0 d 贮藏至第 10 d 时,L1 由 1.802 μm 增长到 3.037 μm,增长幅度为 68.5%,接近 70%;随着贮藏时间的延长,增长幅度逐渐增大。与此同时,8 °C下,样品分别经历贮藏时间为 2 d、6 d、10 d 后,L1 由原来的 1.802 μm 分别增长到 2.265 μm、2.364 μm、2.669 μm,增长幅度依次为 25.7%、31.2%、48.1%,8 °C下贮藏 10 d 后的

增长幅度才将接近 50%。由此可见,2 °C下贮藏 10 d 后,L1 达到最大值(图 4c),为 3.307 μm,增长大幅也达到最大值,为 68.5%;12 °C下贮藏 2 d 后,L1 达到最小值(图 4g),为 2.150 μm,增长幅度也达到最小值,为 13.5%。由图 5 还可知,2 d 下,2 °C下 L1 的值为 2.640 μm,8 °C下 L1 的值为 2.265 μm,12 °C下 L1 的值为 2.045 μm,L1 的值随着贮藏温度的升高逐渐减小,增长幅度依次为 46.5%、25.7%、13.5%,增长幅度也逐渐减小。类似的情况也同样发生在贮藏时间为 6d 和 10 d 下,例如,6 d 下,2 °C、8 °C、12 °C 时 L1 的值分别为 2.673 μm、2.364 μm、2.150 μm,L1 的值不断减小,增长幅度也依次减小。

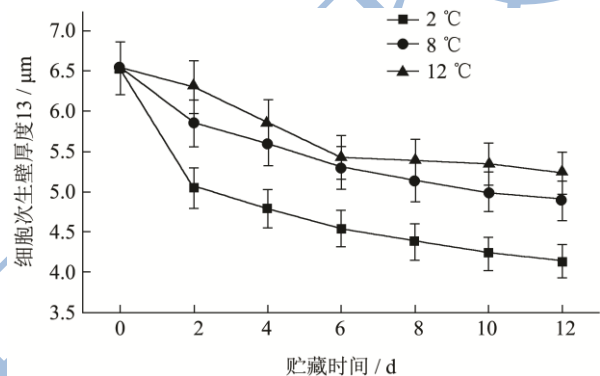


图 6 不同贮藏温度下黄瓜果实组织细胞次生壁厚度 L3

Fig.6 The secondary wall thickness under different storage temperatures

不同低温贮藏下黄瓜果实组织细胞次生壁厚度的变化如图 6 所示。由图 6 可知,细胞次生壁厚度也与贮藏时间及贮藏温度有着显著的相关性。在同一贮藏温度下,它会随着贮藏时间的延长相应的减小,同时减小的幅度也会随着贮藏时间的延长相应的增大;在同一贮藏时间下,它会随着贮藏温度的升高相应的增大,同时增长的幅度也会随着贮藏温度的升高相应的增大。这与乔勇进等对于冷藏黄瓜超微结构的研究结论相符^[32]。以图 6 为例,2 °C下,从第 0 d 贮藏至第 2 d 时,L3 由 6.541 μm 减小到 5.047 μm,增长幅度为-22.8% (即减小幅度为 22.8%,以下不再重复);从第 0 d 贮藏至第 6 d 时,L3 由 6.541 μm 减小到 4.540 μm,减小幅度为 30.6%;从第 0 d 贮藏至第 10 d 时,L3 由 6.541 μm 减小到 4.233 μm,减小幅度为 35.3%,相当于减少了原来的三分之一;随着贮藏时间的延长,增长幅度为负值,即逐渐减小,换言之,减小幅度逐渐增大。与此同时,8 °C下,样品分别经历贮藏时间为 2 d、6 d、10 d 后,L3 由原来的 6.541 μm 分别减小到 5.855 μm、5.297 μm、4.992 μm,减小幅度依次为 10.5%、19.0%、23.7%。由此可见,12 °C下贮藏 2d 后,L3 达到最大值(图 4g),为 6.315 μm,减小大幅也

达到最小值,为3.5%,2℃下贮藏10d,L3达到最小值(图4c),为4.233 μm,减小幅度也达到最大值,为35.3%。由图6还可知,2d下,2℃下L3的值为5.047 μm,8℃下L3的值为5.855 μm,12℃下L3的值为6.315 μm,L3的值随着贮藏温度的升高逐渐增大,减小幅度依次为22.8%、10.5%、3.5%,增长幅度也逐渐增大。类似的情况也同样发生在贮藏时间为6d和10d下,例如,6d下,2℃、8℃、12℃时L3的值分别为4.540 μm、5.297 μm、5.429 μm,L3的值不断增大,增长幅度由最初时的30.6%减小到后来的19.0%,最后减小到17.0%。

3 结论

3.1 不同温度贮藏下的黄瓜果实在贮藏期间受到温度及时间的影响显著,即贮藏温度越低,贮藏时间越长,冷害发生越严重,果实品质越差。当贮藏温度为2℃时,随着贮藏时间的延长,黄瓜果实的感官评价结果总体呈现下降的趋势,硬度不断下降,到贮藏后期部分果实腐烂变质,同时伴有褐变的发生,褐变指数明显升高,电解质外渗率呈现出慢快慢的增长趋势,到贮藏末期,细胞膜透性已完全遭到破坏,大大降低了黄瓜果实商品价值。而贮藏温度为12℃和20℃时,黄瓜果实并没有出现明显的冷害症状^[33-34]。

3.2 利用果蔬活组织过冷点及冰点测量装置测得黄瓜果实组织在贮藏温度为2℃和12℃时的降温曲线总体符合先前描述的变化趋势。降温曲线到达过冷点及冰点的时间比较接近,降温曲线的下降速度和幅度也基本相同。但是随着贮藏时间的延长,果实组织降温的速度和曲线下降的幅度各不相同,并且出现温度跃变的时间也各不相同。同时还测得在不同贮藏时间下黄瓜果实的冰点基本都在-2℃左右。

3.3 在对黄瓜果实组织细胞结构变化的研究中发现,随着贮藏时间的延长,果肉组织细胞壁明显变薄^[7,32]。从试验所拍摄得的图像中可以看出,部分黄瓜果实细胞中含有的厚度较小的细胞间层,可以看出在正常温度下细胞结合的较为紧密,细胞次生壁也比较完整并且连接紧密。然而当不适的低温贮藏引起黄瓜果实发生冷害时,细胞间层厚度(L1)与相邻两个细胞间细胞壁厚度(L2)均有所变化,进而会导致细胞次生壁厚度(L3)发生变化。在同一贮藏温度下,L1会随着贮藏时间的延长相应的增大,相反,L3会减小;而在同一贮藏时间下,L1会随着贮藏温度的升高相应的减小,相反,L3会增大。总之,冷害后的果实细胞组织的细胞间层增大,部分细胞的次生壁有所降解并最终消失,因而导致细胞被破坏,最终死亡。

3.4 本研究以典型冷敏性果蔬黄瓜作为研究对象,通过试验测定其在不同温度贮藏下果实生理特性以及细胞结构的变化,得出贮藏温度及时间与果实品质间的变化规律,为采后果蔬贮藏方式的创新与改进提供参考,如何减少贮藏温度及时间的变化果蔬贮藏品质的影响值得更为深入的研究。

参考文献

- [1] 陈健华,张敏,车贞花,等.不同贮藏温度及时间对黄瓜果实冷害发生的影响[J].食品工业科技,2012,33(9):394-397
CHEN Jian-hua, ZHANG Min, CHE Zhen-hua, et al. The Influence on chilling injury of the cucumber fruit under different storage temperatures and storage time[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012,33(9):394-397
- [2] Khan M M, Al-Mas'oudi R S M, Al-Said F, et al. Salinity Effects on growth, electrolyte leakage, chlorophyll content and lipid peroxidation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. International Proceedings of Chemical, Biological & Environmental Engineering, 2013: 55
- [3] 单杨.中国果蔬加工产业现状及发展战略思考[J].中国食品学报,2010(1):1-9
SHAN Yang. Current situation and development strategic consideration of the fruits and vegetables processing industry in China[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010(1):1-9. (in Chinese with English abstract)
- [4] Pesis E, Aharoni D, Aharon Z, et al. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit[J]. Postharvest biology and technology, 2000, 19(1): 93-101
- [5] Lindén L, Palonen P, Lindén M. Relating freeze-induced electrolyte leakage measurements to lethal temperature in red raspberry [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2000, 125(4): 429-435
- [6] Kratsch H A, Wise R R. The ultrastructure of chilling stress[J]. Plant, Cell & Environment, 2000, 23(4): 337-350.
- [7] Zhao Y, Chen J, Tao X, et al. The possible role of BAX and BI-1 genes in chilling-induced cell death in cucumber fruit[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(6): 1345-1351
- [8] Luengwilai K, Beckles D M, Saltveit M E. Chilling-injury of harvested tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Micro-Tom fruit is reduced by temperature pre-treatments [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 63(1): 123-128
- [9] Huang S, Li T, Jiang G, et al. 1-Methylcyclopropene reduces chilling injury of harvested okra (*Hibiscus esculentus* L.) pods [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 141: 42-46

- [10] Guan N, Blomsma S A, Fahy G M, et al. Analysis of gene expression changes to elucidate the mechanism of chilling injury in precision-cut liver slices [J]. *Toxicology in Vitro*, 2013, 27(2): 890-899
- [11] 汤元睿,谢晶,李念文,等.不同冷链物流过程对金枪鱼品质及组织形态的影响[J].*农业工程学报*,2014, 30(5): 285-292
TANG Yuan-rui, XIE Jing, LI Nian-wen, et al. Effects of different cold chain logistics situation on quality and microstructure of tuna (*Thunnus obesus*) fillets[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(5): 285-292
- [12] SB/T 10027-1992,速冻黄瓜[S]
- [13] NY/T 578-2002,黄瓜[S]
- [14] NY/T 269-1995,绿色食品黄瓜[S]
- [15] GB/T 18518-2001,黄瓜贮藏和冷藏运输[S]
- [16] 林河通,陈绍军.龙眼果皮微细结构的扫描电镜观察及其与果实耐贮性的关系[J].*农业工程学报*, 2002, 18(3): 95-99
LING He-tong, CHEN Shao-jun. Observation on pericarp ultrastructure by scanning electron microscope and its relation to keep quality on longan fruit [J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(3): 95-99
- [17] 李念文,汤元睿,谢晶,等.物流过程中大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 的品质变化[J].*食品科学*,2013, 34(14): 319-323
LI Nian-wen, TANG Yuan-rui, XIE Jing. Physicochemical quality properties of *Thunnus obesus* logistic process [J]. *Food Science*, 2013, 34(14): 319-323
- [18] 钟志友,张敏,杨乐,等.果蔬冰点与其生理生化指标关系的研究[J].*食品工业科技*,2011,2: 76-78
ZHONG Zhi-you, ZHANG Min, YANG Le, et al. Study on relation between freezing and physiological and biochemical indexes of fruits and vegetables [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 2: 76-78
- [19] 张敏,卢佳华,车贞花,陈健华.一种果蔬活组织过冷点、冰点的测试装置及其测量方法[P].上海:CN102520002A, 2012-06-27
- [20] 卢佳华.低温贮藏黄瓜组织生理生化特性、传热特性及组织细胞结构变化研究[D].上海海洋大学,2013
LU Jia-hua. Research of physiological and biochemical characteristics, heat transfer characteristics and cell structure of cucumber tissue during low temperature storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013
- [21] 朱登峰,唐冬英,李明芳,等.观察植物木质部的 3 种切片方法比较[J].*湖南农业科学*,2010 (4): 20-22
ZHU Deng-feng, TANG Dong-ying, LI Ming-fang. Comparison among three sectioning methods to observe plant xylem [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010, 4: 20-22
- [22] Luo Z, Wu X, Xie Y, et al. Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(2): 456-461
- [23] Yang H, Wu F, Cheng J. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response[J]. *Food chemistry*, 2011, 127(3): 1237-1242
- [24] Yang Q, Rao J, Yi S, et al. Antioxidant enzyme activity and chilling injury during low-temperature storage of Kiwifruit cv. Hongyang exposed to gradual postharvest cooling [J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2012, 53(6): 505-512
- [25] Francko D A, Wilson K G, Li Q Q, et al. A topical spray to enhance plant resistance to cold injury and mortality [J]. *Hort Technology*, 2011, 21(1): 109-118
- [26] 陈京京,金鹏,李会会,等.低温贮藏对桃果实冷害和能量水平的影响[J].*农业工程学报*,2012, 28(4): 275-281
CHEN Jing-jing, JIN Peng, LI Hui-hui. Effects of low temperature storage on chilling injury and energy status in peach fruit [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(4): 275-281
- [27] Dong J, Yu Q, Lu L, et al. Effect of yeast saccharide treatment on nitric oxide accumulation and chilling injury in cucumber fruit during cold storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 68: 1-7
- [28] Bradley M J, Colville M J, Crumley M J, et al. Differential effects of membrane order on membrane permeability[J]. 2013
- [29] 冯悦悦,李喜宏,邵重晓,等.新疆红提葡萄贮藏期冰点研究[J].*食品工业科技*,2012, 33(8): 356-358
FENG Yue-yue, LI Xi-hong, SHAO Chong-xiao. Freezing point of Xinjiang red globe grape during the storage period [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(8): 356-358
- [30] 孟庆瑞,王文凤,梁隐泉,等.杏品种花器官过冷却点及结冰点的研究[J].*中国农业科学*, 2008, 41(4): 1128-1133
MENG Qing-rui, WANG Wen-feng, LIANG Yin-quan. Study on supercooling point and freezing point in floral organs of apricot [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(4): 1128-1133
- [31] 张敏,袁海涛,黄汝国,等.果蔬活组织冰点测试系统设计与实验[J].*农业机械学报*,2014, 45(3): 223-226
ZHANG Min, YUAN Hai-tao, HUANG Ru-guo. Design and test of measurement system for freezing point of living tissue of fruits and vegetables [J]. *Transactions of the CSAM*, 2014, 45(3): 223-226

- [32] 乔勇进,冯双庆,李丽萍,等.冷藏黄瓜果皮超微结构变化的研究[J].保鲜与加工, 2008, 8(1): 25-27
QIAO Yong-jin, FENG Shuang-qing, LI Li-ping. Study on ultrastructure of cucumber peel in cold storage [J]. Storage Process, 2008, 8(1): 25-27
- [33] 邓扬悟,张萍,陈火平,等.果蔬冷藏损伤及其生理机制与对策研究[J].安徽农业科学,2012,40(29): 14473-14477
DENG Wu-yang, ZHANG Ping, CHEN Huo-ping, et al. Physiological mechanisms and countermeasures of chilling injury of fruits and vegetables [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(29): 14473-14477

现代食品科技