

香蕉果实冷害过程中质构特性变化研究

李志刚,陈文冰,郝利平*,石建春

(山西农业大学 食品科学与工程学院,山西 太谷 030801)

摘要:为探究香蕉果实冷害过程中质构特性的变化规律,本试验以绿熟香蕉为试材,应用质构仪监测香蕉冷害过程中果肉和果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性的变化。结果表明,冷害增大了香蕉果肉的硬度、粘附性和咀嚼性,但弹性基本保持不变;冷害使香蕉果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性均有不同程度的降低;轻度冷害的香蕉催熟后其果肉和果皮的质构指标均可按正常后熟规律变化,随着冷害的逐步加深,香蕉果肉和果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性均逐步增大,且冷害程度越严重增大得越明显。香蕉冷害过程中质构指标的变化与冷害程度存在较好的相关性,因此,可以采用质构指标衡量和评价香蕉冷害过程中质地品质的变化。

关键词:香蕉;冷害;质构;质构仪;TPA

中图分类号:TS255;S667.9 文献标识码:A 文章编号:1671-8151(2016)06-0450-07

DOI:10.13842/j.cnki.issn1671-8151.2016.06.014

Changes of textural characteristic of banana fruit during chilling injury

Li Zhigang, Chen Wenbing, Hao Liping*, Shi Jianchun

(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: In order to investigate the changes of textural characteristic of banana fruit during chilling injury, the experiment was carried out with green ripe banana as materials, and the hardness, springiness, springiness and chewiness of banana fruits were determined by using texture analyzer. The results showed that, the hardness, springiness, chewiness of banana flesh were increased, the springiness was essentially unchanged during chilling injury. And the banana peel's hardness, springiness, springiness and chewiness were decreased in different degree, but they still greater than the values of no chilling injury of banana at the end of storage. For the mild chilling injury of banana, the texture indexes of banana flesh and peel can be changed according to the rules of normal ripening after ripening. However, with the gradual deepening of the chilling injury of banana, the hardness, springiness, springiness and chewiness of banana flesh and peel were gradually increased, and the more serious of chilling injury, the more obviously increased of texture index. In addition, there was a good correlation between changes of texture index and degree of chilling injury. Therefore, the change of texture quality of banana in the process of chilling injury can be measured and evaluated by texture index.

Key words: Banana; Chilling injury; Texture; Texture analyzer; TPA

香蕉属于热带、亚热带水果,是典型的冷敏型水果之一^[1],其在秋冬季节北运北销过程中极易受到低温的影响而发生冷害,造成品质劣变,导致食用价值和商品价值降低甚至完全丧失,从而带来较大的经济损失,严重影响香蕉产业的发展^[2~4]。为此,研究香蕉冷害的产生机理及调控技术,有效预防香蕉冷害的发生,延长其贮藏期

和货架期,对于香蕉采后减损降耗,增加蕉农收入,促进该产业的健康发展具有重要意义。目前关于香蕉冷害的研究主要集中在从生理生化角度探讨其冷害发生机理^[5]及其调控措施^[6~9],而从物性学角度研究香蕉冷害的发生机理还未见相关报道。为此本文以香蕉为试材,应用质构仪监测香蕉果实冷害过程中的质构指标,分析和研

收稿日期:2016-03-08

修回日期:2016-03-31

作者简介:李志刚(1979-),男(汉),河北张北人,讲师,硕士,研究方向:农产品采后生理、贮藏及加工

*通讯作者:郝利平,教授,博士生导师。Tel:0354-6289756;E-mail: haoliping756@163.com

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD38B07)

究香蕉果实在冷害过程中果肉和果皮质构特性的变化规律,以求为进一步揭示香蕉果实的冷害机理提供理论基础,为香蕉冷害症状的表征提供新的方法。

1 材料与方 法

1.1 材料及处理

香蕉:巴西 Musa, AAA Group cv. Brazil, 市售。购买后及时运回实验室,去轴落梳,分成单个蕉指,挑选大小均一,果形端正,无病虫害,无机械伤,饱满度为七八成熟的绿熟香蕉为试材。将供试香蕉随机分成两组,分别装入 0.03 mm 厚的聚乙烯保鲜袋,每袋装 3 根蕉指,每个处理装 24 袋,分别置于 6 °C(处理组)和 13 °C(CK)下贮藏,温度波动控制在±0.5 °C。每隔 3 d 随机取出 12 根蕉指,其中 6 根即时进行冷害症状的评定和质构指标测定,6 根常温下用乙烯利催熟 5 d 后进行冷害症状的评定和质构指标测定。

保鲜袋:0.03 mm 厚的 PE 保鲜袋,市售;乙烯利:0.05 g·kg⁻¹ 香蕉,山东营养源食品科技有限公司。

1.2 测定方法

1.2.1 香蕉果实冷害症状的评定方法

香蕉果实冷害症状的评定在王勇等^[1]的方法上稍作修改,具体评定标准见表 1。

表 1 香蕉果实冷害症状评定标准

Table 1 The assessment standards of chilling injury symptoms of banana fruit

冷害程度 Chilling injury	症状 Symptoms	表示符号 Notation
轻度	果皮变暗,光泽减弱,表面有褐色小凹陷斑点,催熟以后果实能正常后熟软化。	+
中度	果皮出现褐变,失去光泽,表面凹陷斑的面积有所扩大,催熟后果皮不能正常转黄。	++
严重	果皮变黑,凹陷斑的面积进一步扩大,出现水渍状,催熟后果皮发灰,果皮果肉均不能正常后熟,果肉出现异味	+++
非常严重	果皮大面积变黑,水渍状面积继续扩大,有的互相连通;催熟后,果实表面有白色霉斑,果实完全不能正常后熟,果肉发粘。	++++

1.2.2 香蕉果肉质构指标的测定

香蕉果肉质构指标采用美国 FTC 公司的 TMS-Pro 型质构仪测定。测定时将单根蕉指用小刀完整均匀地削去其一个果面的果皮,然后将蕉指去皮面向上水平置于质构仪载物台上,径向穿刺测定质构指标,每间隔 2 cm 取一个点,每根蕉指取 5 个点,重复 3 次,求平均值。

测定时在室温下选取直径 6 mm 的圆柱形探头应用 TPA 检测模式测定香蕉果肉的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性;TPA 测试参数具体为起始力 0.5 N, V_{测试} 60 mm·min⁻¹, V_{测后} 200 mm·min⁻¹, 形变量 50%, 两次压缩的停隔时间为 5 s, 测试过程的数据采集率为 2 kHz。

1.2.3 香蕉果皮质构指标的测定

将上述蕉指切下的完整、均匀的香蕉皮,面朝上置于质构仪的载物台上,应用 TPA 检测模式测定其质构指标,测定时每隔 2 cm 选取一个测试点,每个香蕉皮共选取 5 个点,重复 3 次,取平均值。测试时质构仪的探头类型、TPA 参数设置、测定指标同 1.2.2。

1.2.4 数据处理

采用 SPSS Statistics 17.0 和 Excel 2007 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 贮藏过程中香蕉果实冷害程度的变化

由表 2 可以看出,6 °C 下贮藏的香蕉果实在贮藏第 3 天就开始表现出轻微冷害症状,果皮色泽变暗,出现褐色小凹陷斑点,但催熟后能正常后熟;贮藏第 6~12 d 香蕉果实表现出中度冷害症状,香蕉果皮的颜色褐变有所加重,光泽基本失去,凹陷斑点的面积继续扩大,催熟后果实虽然能后熟,但果皮不能均匀转黄;贮藏至 15 d 时香蕉果实冷害症状已达到严重冷害程度,香蕉果皮大面积变黑,凹陷斑进一步扩大,并出现水渍状,香蕉果肉出现硬化现象,果肉味道酸涩,果肉果皮难以分离,催熟后不能正常后熟。而对照组则始终没有出现冷害症状,随着贮藏时间的延长果皮由青绿色逐步转变为黄色,催熟后能正常后熟。

2.2 香蕉果实冷害过程中硬度的变化

硬度可以客观地反映果品与蔬菜的成熟度和品质变化,是果蔬品质评价的重要指标^[10,11]。图 1a 显示,香蕉果实在冷害过程中果肉硬度的变化

表 2 贮藏过程中香蕉果实冷害程度的变化

Table 2 Changes of chilling injury degree of banana fruits during storage

贮藏天数/d Storage time	对照 CK	处理 Treatment
0	—	—
3	—	+
6	—	++
9	—	++
12	—	++
15	—	+++
18	—	+++

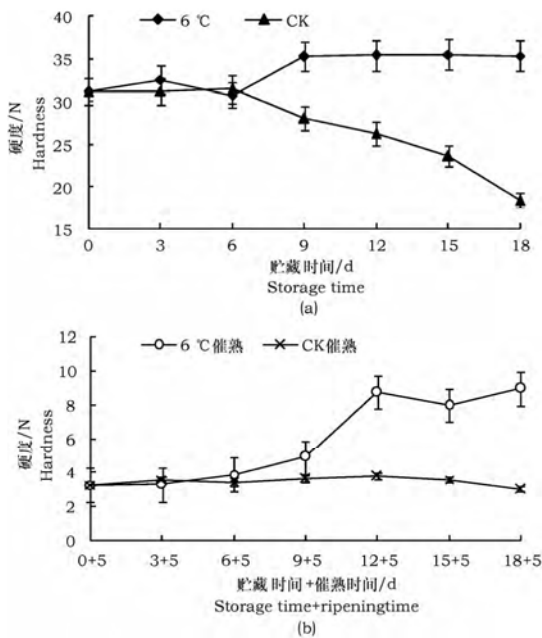


图 1 香蕉冷害过程中果肉硬度的变化

Fig 1 Changes of hardness of banana flesh during chilling injury

不同于对照组。随着贮藏时间的延长及冷害程度的加深,处理组香蕉果肉硬度总体呈上升趋势,而对照组则呈逐步下降趋势。在贮藏前 6 d,处理组和对照组果肉硬度的变化都不大,说明轻度冷害对香蕉果肉硬度影响不大;6 d 后处理组和对照组香蕉果肉硬度的变化完全不同,处理组在贮藏 6~9 d 时有一个快速上升过程,之后基本保持不变,而对照组则呈逐步下降趋势,第 9 d 时两者差异达极显著水平($P < 0.01$)。可见,随着冷害程度的逐步加深,香蕉果肉硬度会增大,且在随后的贮藏过程中一直保持较大的硬度值,不能自然成熟软化。催熟

后(图 1b)处理组香蕉果肉硬度的变化同样呈上升趋势,贮藏前 6 d 催熟后香蕉果肉硬度的变化与对照组基本一致,贮藏 6 d 后催熟香蕉果肉硬度开始上升,冷藏 9 d 常温下催熟 5 d 后处理组已极显著($P < 0.01$)高于对照组,而对照组催熟后果肉硬度一直保持较为平缓的变化过程。由此可见,香蕉果实发生轻度冷害时催熟后仍能正常后熟,硬度值可按香蕉正常后熟规律变化;但随着冷害程度的加深,催熟后香蕉果实不能正常后熟,果肉硬度较大,果实较硬。

由图 2a 可以看出,随着贮藏时间的延长,处理组和对照组香蕉果皮硬度均呈先小幅上升后逐步下降的变化趋势,处理组在整个贮藏过程中变化幅度不大,而对照组下降幅度较大,到贮藏第 6 d 时两者差异达极显著水平($P < 0.01$)。催熟后(图 2b)处理组香蕉果皮硬度总体呈上升趋势,冷藏 6 d 室温下催熟 5 d 后处理组香蕉果皮硬度已显著($P < 0.05$)高于对照组,到贮藏末期处理组香蕉果皮的硬度值几乎接近于催熟前的;而对照组经小幅上升后逐步下降。可见,冷害抑制了香蕉果皮硬度的下降,且随着冷害程度的加深,催熟后香蕉果皮逐渐不能正常后熟和软化,仍保持较大的硬度,且冷害程度越严重这种表现越明显。

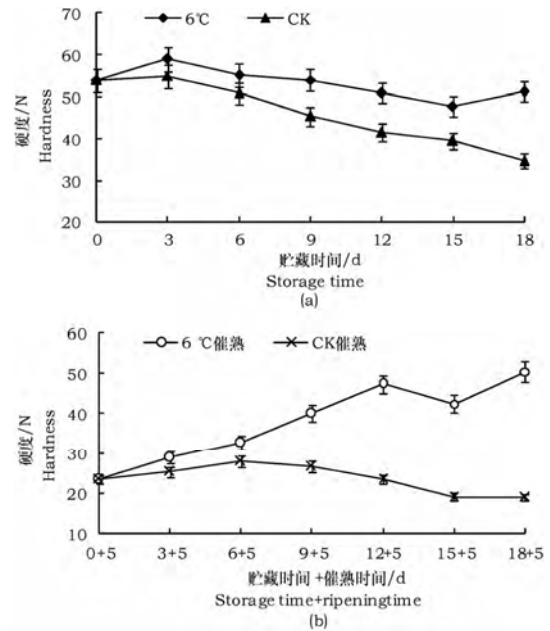


图 2 香蕉冷害过程中果皮硬度的变化

Fig 2 Changes of hardness of banana peel during chilling injury

2.3 香蕉果实冷害过程中弹性的变化

弹性反映的是果蔬受压后迅速恢复形变的能力^[1]。由图 3a 可见,随着贮藏时间的延长及冷害程度的加深,处理组香蕉果肉的弹性总体变化不大,弹性值在 12.16~13.27 mm 之间波动,而对照组则呈先上升后下降的变化趋势,贮藏第 12 d 时两者差异达极显著水平($P<0.01$)。催熟后(图 3b)处理组香蕉果肉的弹性总体呈先上升后小幅下降的变化趋势,而对照组则呈逐步下降的变化趋势,在冷藏 9 d 室温下催熟 5 d 后处理组的弹性明显($P<0.05$)高于对照组。由此可见,冷害抑制了香蕉果肉弹性的下降,且随着冷害程度的加深,催熟后香蕉果肉的弹性逐步增大。

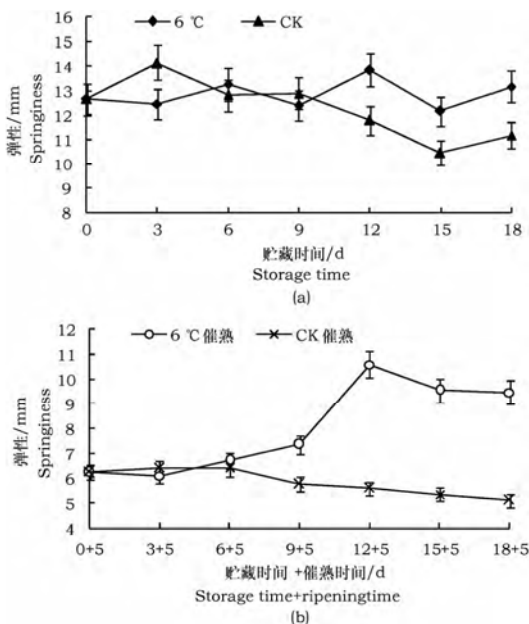


图 3 香蕉冷害过程中果肉弹性的变化

Fig 3 Changes of springiness of banana flesh during chilling injury

图 4a 显示,贮藏过程中处理组香蕉果皮的弹性总体呈先下降后小幅上升的变化趋势,对照组总体呈下降趋势。在贮藏前 6 d 处理组和对照组果皮弹性的变化基本一致;贮藏第 6~12 d 两者弹性变化差别较大,处理组果皮弹性下降较快,而对照组变化较为平缓,到贮藏第 12 d 时两者差异达显著($P<0.05$)水平;12 d 后处理组香蕉果皮弹性有一个小幅上升,而对照组反而下降较快,到贮藏第 18 d 时处理组香蕉果皮弹性显著($P<0.05$)高于对照组。催熟后(图 4b)处理组香蕉果皮的弹性先

逐步上升后又小幅下降,对照组则是先小幅上升随后逐步下降,在贮藏前 6 d 催熟后两者差异不显著($P>0.05$),冷藏 9 d 室温下催熟 5 d 后两者达显著($P<0.05$)差异水平;此外,由图 4a、4b 还可以看出,贮藏 12 d 后处理组催熟前后的弹性值没有明显($P>0.05$)差别。由此可以得出,轻度冷害对香蕉果皮的弹性影响不大,催熟后仍能按香蕉正常后熟规律变化;但随着冷害的逐步加重,处理组香蕉果皮的弹性变化发生异常,最终保持一个相对较大的弹性值,严重冷害后催熟前后香蕉果皮的弹性基本没有发生变化。

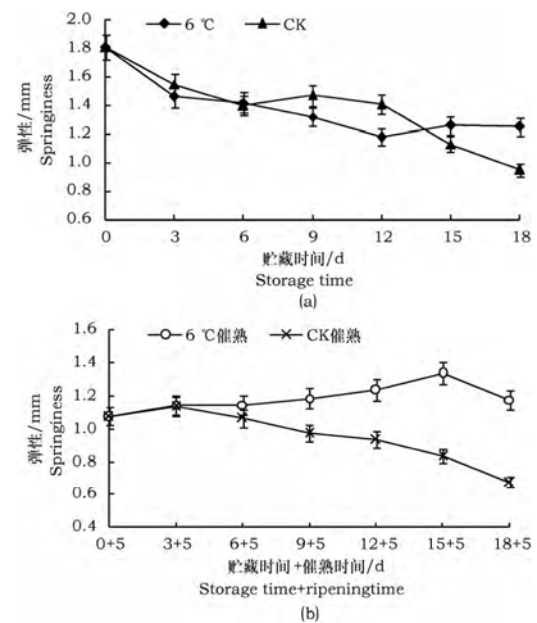


图 4 香蕉冷害过程中果皮弹性的变化

Fig 4 Changes of springiness of banana peel during chilling injury

2.4 香蕉果实冷害过程中粘附性的变化

粘附性反映的是克服食品表面同其他物质表面接触之间的吸引力所需要的能量,以质构仪探头脱离样品表面所做的功表示。由图 5a 可以看出,处理组香蕉果肉的粘附性随着贮藏时间的延长及冷害程度的加深呈逐步上升趋势,对照组总体呈下降趋势,在贮藏前 6 d 处理组与对照组的粘附性没有明显($P>0.05$)差别,到贮藏第 9 d 时两者差异达极显著水平($P<0.01$)。催熟后(图 5b)处理组香蕉果肉的粘附性同样呈逐步上升趋势,而对照组则呈缓慢下降趋势,贮藏 9 d 常温下催熟 5 d 后处理组粘附性显著($P<0.01$)高于对照组。可见,冷

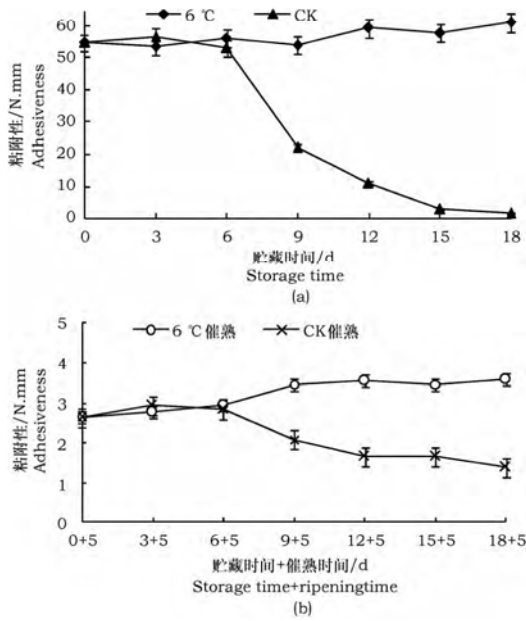


图 5 香蕉冷害过程中果肉粘附性的变化

Fig 5 Changes of adhesiveness of banana flesh during chilling injury

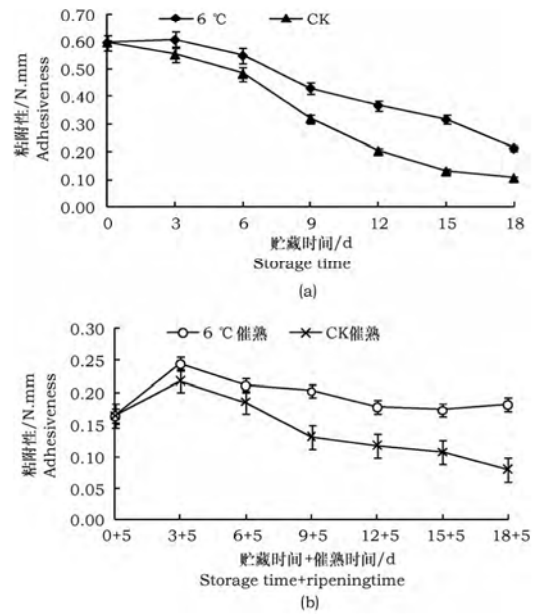


图 6 香蕉冷害过程中果皮粘附性的变化

Fig 6 Changes of adhesiveness of banana peel during chilling injury

害在一定程度上提高了香蕉果肉的粘附性,且冷害程度越严重,香蕉果肉的粘附性越大。

由图 6a 可以看出,在整个贮藏过程中处理组和对照组香蕉果皮的粘附性均呈下降趋势,但处理组下降的速度相对慢于对照组,方差分析表明,从贮藏第 3 d 开始处理组粘附性就显著 ($P < 0.05$) 高于对照组。催熟后(图 6b)处理组和对照组香蕉果皮的粘附性均都在第 3 d 时达到最大,之后开始下降,处理组下降的相对较慢,贮藏 9 d 常温下催熟 5 d 后处理组与对照组达极显著 ($P < 0.01$) 差异。由图 6a、6b 还可以发现,贮藏 18 d 时催熟前后香蕉果皮的粘附性没有明显 ($P > 0.05$) 差别。由此可以得出,冷害在一定程度上抑制了香蕉果皮粘附性的降低。

2.5 香蕉果实冷害过程中咀嚼性的变化

咀嚼性以咀嚼果实时所消耗的能量来表示,其综合反映的是果实对咀嚼的持续抵抗力^[11]。由图 7a 可见,随着贮藏时间的延长及冷害程度的加深,处理组香蕉果肉的咀嚼性总体呈上升趋势,对照组则呈先上升后逐步下降的变化趋势,贮藏第 9 d 时,处理组的咀嚼性显著 ($P < 0.01$) 高于对照组。由图 7b 可以发现,处理组香蕉果肉的咀嚼性在贮藏前 9 d 催熟后与对照组没有明显 ($P > 0.05$) 差别,但随着冷害程度的逐步加深处理组香蕉果肉的

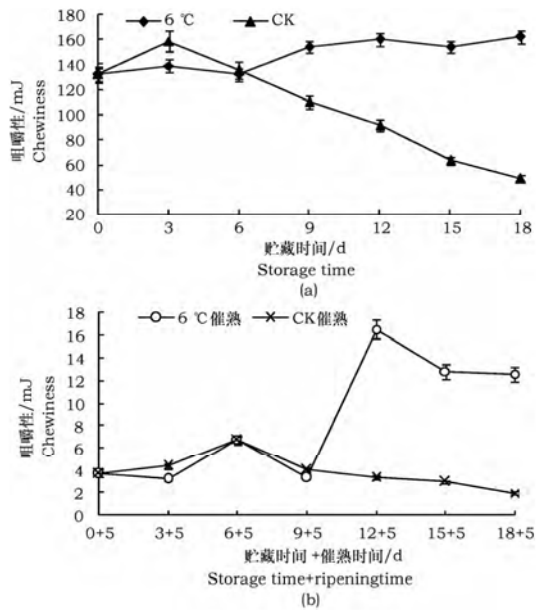


图 7 香蕉冷害过程中果肉咀嚼性的变化

Fig 7 Changes of chewiness of banana flesh during chilling injury

咀嚼性呈增大趋势,贮藏 12 d 常温下催熟 5 d 后处理组极显著 ($P < 0.01$) 高于对照组。由此可以得出,轻度冷害和中度冷害前期对香蕉果肉的咀嚼性没有太大影响,但随着冷害程度的逐步加深,香蕉果肉的咀嚼性逐步增大,催熟后香蕉果肉的咀嚼性不能按照正常后熟规律变化,结果保持较大咀嚼性。

由图 8a 可见,处理组和对照组香蕉果皮的咀嚼性在贮藏前 15 d 变化规律基本一致,但到了贮藏第 18 d 时处理组的咀嚼性极显著($P < 0.01$)高于对照组。催熟后(图 8b)处理组香蕉果皮的咀嚼性变化完全不同于对照组,总体呈上升趋势,贮藏 6 d 常温下催熟 5 d 后就已显著($P < 0.05$)高于对照组,到贮藏末期与催熟前的咀嚼性基本一致。由此可见,轻度冷害对香蕉果皮咀嚼性影响不大,但随着冷害程度的加深,香蕉果皮保持较大的咀嚼性,尤其是催熟后更明显。

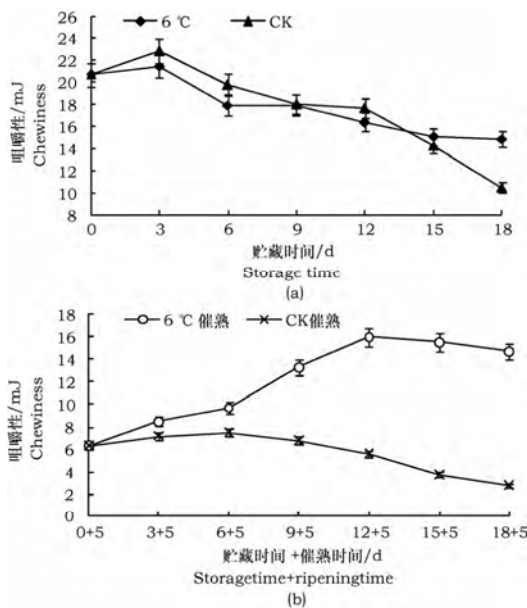


图 8 香蕉冷害过程中果肉咀嚼性的变化

Fig 8 Changes of chewiness of banana peel during chilling injury

3 结论与讨论

试验结果表明,冷害增大了香蕉果肉的硬度、粘附性和咀嚼性,而弹性基本保持不变;催熟后轻度冷害香蕉的果肉硬度、弹性、粘附性、咀嚼性仍按正常后熟规律变化,但随着冷害程度的逐步加深,催熟后香蕉逐渐不能正常后熟,其果肉硬度、弹性、粘附性、咀嚼性也逐步增大。冷害后香蕉果肉质构特性的这种变化可能是由于果肉中的多聚半乳糖醛酸酶的活性在低温下被抑制,致使果肉细胞壁的果胶质不能正常分解,同时积累了大量的低甲氧基

相对分子质量高的果胶质,积聚的果胶质会与自身的钙离子结合形成凝胶状结构^[12,13];以及低温冷害使组织中有较高的 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 等矿物质含量,其中 K^+ 和 Ca^{2+} 可激发转化酶的活性,抑制淀粉酶的活性^[14],影响果实中淀粉的正常代谢,最终造成果实变硬,不能正常后熟软化,从而使其硬度、粘附性、咀嚼性增大并保持较大的弹性,具体原因有待进一步研究。

本试验还发现,冷害过程中香蕉果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性均有不同程度的降低,但最终均保持相对较大的值,显著($P < 0.05$)高于对照组。催熟后轻度冷害阶段香蕉果皮的质构特性变化可按正常后熟规律变化,然而随着冷害的逐步加深,香蕉果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性呈增大趋势,到严重冷害阶段催熟前后的值基本没有太大差别。冷害过程中香蕉果皮硬度、弹性、粘附性、咀嚼性下降的原因可能是由于香蕉果皮的膜脂过氧化程度在低温冷害下被提高,细胞膜透性增加,细胞的组织结构逐步遭到破坏,进而引起新陈代谢失调,最终导致表皮凹陷,组织出现水渍状所致^[15~18]。严重冷害阶段香蕉果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性大于没有发生冷害的香蕉,且催熟前后质构指标值基本一致,这可能是由于严重冷害已导致果皮组织细胞死亡,不能正常代谢^[14],完全丧失后熟能力所致,当然这只是推测,具体原因还有待进一步研究。

此外,从各质构指标与香蕉冷害程度的相关性分析可以看出,香蕉果肉除了弹性之外,其硬度、粘附性、咀嚼性的变化与冷害程度之间存在较好的相关性($R = 0.6835 \sim 0.7299$),催熟后香蕉果肉的各质构指标均与冷害程度存在较好的相关性($R = 0.5648 \sim 0.7778$);香蕉冷害过程中果皮的硬度、弹性、粘附性、咀嚼性与冷害程度存在较好的负相关性($R = -0.6398 \sim -0.9156$),催熟后除了粘附性外其他质构指标与冷害程度同样存在较好的相关性($R = 0.7591 \sim 0.8660$)。由此看来,香蕉冷害过程中质构指标的变化比较客观地反映了其质地的变化,因此,可以采用质构仪对香蕉冷害期间质构特性变化进行检测,以衡量和评价香蕉冷害过程中的质地品质的变化。该方法方便快捷,测定参数具有客观性,是一种值得推广和应用的方法。

参 考 文 献

- [1]王勇,陆旺金,张昭其,等. ABA和腐胺处理减轻香蕉果实贮藏冷害[J]. 植物生理与分子生物学报,2003,29(6):549-554.
- [2]庞学群,潘少丽,王海波,等. 过氧化氢在香蕉果实采后耐冷性诱导中的作用[J]. 园艺学报,2007,34(6):1373-1378.
- [3]赵国建,杨公明. 香蕉的加工现状及发展对策[J]. 食品与机械,2005,21(2):81-82.
- [4]杜瑞雪. 硫氢化钠处理诱导采后香蕉抗冷性机理的研究[D]. 杭州:浙江大学,2015.
- [5]李茂富,李绍鹏,吴凡,等. 香蕉抗寒性的研究进展[J]. 华南热带农业大学学报,2005,11(1):51-54.
- [6]王海波,庞学群,徐兰英,等. 活性氧参与氨基三唑诱导的香蕉果皮耐冷性研究[J]. 华南农业大学学报,2011,32(3):22-26.
- [7]陆旺金,张昭其,季作梁. 热带亚热带果蔬低温贮藏冷害及御冷技术[J]. 植物生理学通讯,1999,35(2):158-163.
- [8]王勇,谢会,张昭其,等. 香蕉果实贮藏冷害与PAL活性及可溶性蛋白的关系[J]. 果树学报,2004,21(2):149-152.
- [9]刘彩霞,顾采琴,朱冬雪. 香蕉果实贮藏冷害与NAD激酶活性变化的关系[J]. 园艺学报,2008,35(10):1425-1430.
- [10]刘亚平,李红波. 物性分析仪及TPA在果蔬质构测试中的应用综述[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2010,30(2):188-192.
- [11]李志刚,袁慧蓉,石建春. 鲜切冬瓜贮藏过程中质构品质变化分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2010,30(3):270-273.
- [12]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(农业与生命科学版),2000,26(2):137-140.
- [13]Manganaris G A, Vasilakakis M, Diamantidis G, et al. Cell wall physicochemical aspects of peach fruit related to internal breakdown symptoms[J]. Postharvest Biology and Technology,2013,39(1):69-74.
- [14]王善广. 果蔬贮藏冷害研究进展[J]. 保鲜与加工,2004,4(4):3-5.
- [15]鹿常胜,潘永贵,何其,等. 甜菜碱结合热处理降低采后香蕉果实冷害的研究[J]. 食品工业科技,2014,35(4):300-305.
- [16]Kang H M, Park K W, Saltveit M E. Elevated growing temperatures during the day improve the postharvest chilling tolerance of greenhouse grown cucumber (*Cucumis sativus*) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology,2002,24(1):49-57.
- [17]赵迎丽,王春生,郝利平. 青椒果实低温贮藏及冷害生理的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2003,23(2):129-132.
- [18]周娴,郁志芳,杜传来,等. 几种林果低温贮藏的冷害及其调控研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(3):105-109.

(编辑:马荣博)