

差压预冷处理对蒜薹质量损失率和硬度的影响

李阳¹, 杨文哲¹, 王美霞¹, 陈爱强¹, 刘斌¹, 阎瑞香²

(1.天津商业大学 天津市制冷技术重点实验室, 天津 300134;

2.天津科技大学 包装与印刷工程学院, 天津 300222)

摘要: **目的** 研究差压预冷处理对蒜薹质量损失率和硬度的影响。**方法** 将蒜薹分别置于风速为 1, 1.5, 2 m/s 的差压预冷库中, 先预冷到 4 ℃, 然后装入 PE 保鲜袋 (0.045 mm) 中在 0 ℃ 条件下冰温贮藏, 以测定蒜薹的质量损失率和硬度值, 并观察细胞显微结构变化, 分析差压处理对蒜薹质量损失率和硬度的影响。**结果** 至冰温贮藏结束, 预冷风速 1, 1.5, 2 m/s 和直接贮藏工况下蒜薹的质量损失率依次为 3.60%, 3.54%, 3.89%, 3.16%; 蒜薹整体硬度值分别占整体硬度初始值的 67.3%, 68.6%, 69.7%, 61.0%; 各工况下蒜薹整体质量损失率与硬度具有很好的负相关性, 蒜薹 X 位置的质量损失率与硬度的最佳相关系数分别为 -0.96, -0.92, -0.92, -0.95; 通过延长预冷时间, 增大了蒜薹的质量损失率, 从而减小了蒜薹的孔隙率, 经差压预冷后, 预冷风速为 1.5 m/s 时蒜薹的整体孔隙率最小, 2 m/s 时蒜薹的整体孔隙率最大。**结论** 在冰温贮藏前, 差压预冷处理使蒜薹的质量损失率增加, 孔隙率减小, 延缓了蒜薹硬度值的下降, 在一定程度上延长了货架期。

关键词: 蒜薹; 质量损失率; 硬度; 差压预冷

中图分类号: S633.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)09-0028-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.09.005

Effects of Forced-air Pre-cooling on Mass Loss and Firmness of Garlic Sprouts

LI Yang¹, YANG Wen-zhe¹, WANG Mei-xia¹, CHEN Ai-qiang¹, LIU Bin¹, YAN Rui-xiang²

(1.Tianjin Key Lab of Refrigeration Technology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2.College of Packaging and Printing Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: The research aims to study the influences of forced-air pre-cooling treatment on mass loss and firmness of garlic sprouts. In the experiments, the pre-cooling wind speeds were set at 1, 1.5, 2 m/s, while the target cold preservation temperature was 4 ℃. After pre-cooling treatment, the samples of garlic sprouts were put into 0.045 mm PE preservation bags for freezing temperature storage under below 0 ℃ to examine mass loss and firmness, observe variations in cell microscopic structure and analyze effects of forced-air treatment on mass loss and firmness. At the end of freezing temperature storage, mass loss of garlic sprouts at pre-cooling wind speeds of 1, 1.5, 2 m/s and direct storage were 3.60%, 3.54%, 3.89%, 3.16% respectively. Their overall firmness values occupied 67.3%, 68.6%, 69.7%, 61.0% of initial values respectively. The overall mass loss had negative correlation with firmness values under each working situations. The best correlation coefficients of mass loss and firmness at X area of garlic sprouts were -0.96, -0.92, -0.92, -0.95 respectively. Extending the pre-cooling time increased the garlic sprouts mass loss rate, thus reduced the garlic sprouts porosity. After

收稿日期: 2019-03-11

基金项目: 天津市教委基金 (2017KJ177); 天津市自然科学基金 (18JCQNJC84600)

作者简介: 李阳 (1993—), 男, 天津商业大学硕士生, 主攻多孔介质传热传质特性机理。

通信作者: 刘斌 (1975—), 男, 博士, 天津商业大学教授, 主要研究方向为食品冷链技术。

forced-air pre-cooling, the overall porosity of the garlic sprouts was the minimum when the pre-cooling wind speed was 1.5 m/s, and the maximum when the pre-cooling wind speed was 2 m/s. Before freezing temperature storage, forced-air pre-cooling treatment increases the weight loss, forces porosity to decline, delays the plunge of firmness values, and extends the shelf life of garlic sprouts to some extent.

KEY WORDS: garlic sprouts; mass loss rate; firmness; forced-air pre-cooling

蒜薹是大蒜的副产品,属于呼吸跃变型蔬菜,具有很高的营养介质,其含水量高达 90%以上,含有多种元素及化合物,维生素含量很高。此外,蒜薹还含有丰富的抗菌物质大蒜素,大蒜素具有氧化和杀菌的作用。蒜薹采后新陈代谢旺盛,菜体表面缺少保护组织,不耐贮藏,容易失水、老化和腐烂^[1-2]。

蒜薹硬度是衡量蒜薹成熟度和贮藏品质的重要指标,在蒜薹贮藏过程中,蒜薹硬度的减小在很大程度上缩短了蒜薹的货架期,降低了蒜薹的贮藏品质^[3-4]。果蔬采后硬度的变化分为 2 种:硬化和软化。张淑杰、胡婷婷等^[4]综述了果蔬采后硬度变化的研究进展,其中果蔬硬化受组织木质化和纤维化因素的影响^[5-6],果蔬软化主要是由细胞失水膨压降低、细胞膜完整性降低、乙烯作用、呼吸作用等因素综合影响所致^[7-10]。差压预冷的冷却速度快,预冷均匀度较好,可以很好地保持果蔬的新鲜度和品质^[11]。近年来,一些学者对差压预冷进行了研究。杨培志等^[12]利用 FLUENT 软件模拟了送风温度对差压预冷的影响;申江等^[13]研究了孔隙率、送风温度、开孔率、风速对差压预冷的影响;王艳红等^[14]研究了不同外部开孔方式对差压预冷的影响。

目前,国内学者从多个角度对蒜薹采后贮藏进行了研究,可大致归结为以下 3 个方面:采后不同处理方式对蒜薹贮藏过程中生命品质的影响^[3,15-19];采后不同处理方式对蒜薹贮藏过程中结构变化的影响^[20];蒜薹冰点温度与生命品质指标之间的相关性^[21]。目前,鲜有人研究预冷方式对蒜薹贮藏过程中硬度的影响^[4]。文中试验以河南中牟杂交薹为实验材料,研究差压预冷处理后,蒜薹整体质量损失率和硬度的变化趋势,通过引入 Pearson 相关系数定量分析两者之间的相关程度,以期对蒜薹贮藏保鲜提供理论支持。

1 实验

1.1 材料

主要材料:杂交蒜薹,产地河南中牟,采后由冷藏车 12 h 内运送至差压预冷库。

1.2 仪器与设备

主要仪器和设备:数据采集器, MX-100 型,日本 YOKOGAWA 电子公司;风速仪, testo 425 型,德

国仪器国际贸易有限公司;电子秤, ACS-计重电子秤,上海华德衡器有限公司;加湿机, SJ-01 型,加湿量为 1.8 kg/h,杭州松井电器有限公司;质构仪, TA-XTPLUS 型,英国 Stable Micro System 公司;光学显微镜, BX51 型,日本奥林巴斯株式会社;差压预冷库,维护结构长度×宽度×高度为 4.0 m×3.0 m×3.0 m,库容为 30 m³,外表面积为 60 m²;冰温实验库,长度×宽度×高度为 5.00 m×2.30 m×2.00 m,温度波动范围为±0.20 ℃,大青工业株式会社。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理

选取薹茎粗细均匀、薹苞以下长度不低于 35 cm、无机械损伤、无病虫害的蒜薹,将每把 1 kg 的蒜薹捆扎。以直接冰温贮藏为对照,设置差压预冷实验组,送风温度为 2 ℃,将蒜薹置于不同预冷风速(1, 1.5, 2 m/s)下差压冷却至 4 ℃,装入 0.045 mm PE(聚乙烯)保鲜袋中,装量规格为 15 kg/袋,扎口进行冰温贮藏。冰温库温度设置为(0±0.2)℃,相对湿度为 85%,贮藏周期为 135 d,每隔 15 d 取样并测定蒜薹的质量损失率和硬度值。

码放规则:依据该差压预冷库的实际制冷能力,一次差压预冷实验需蒜薹的质量为 300 kg,按一定长度和宽度将物料对称摆放在抽风口两侧,且沿隧道长度方向把薹梢内外交叉码放。要求物料侧充实,顶面和后面用遮布盖严,保证侧面进风经过物料,从而实现物料的快速降温^[22]。为确保预冷效率一致,将物料装入带孔塑料箱,并将其码成 2 层 2 列,见图 1。

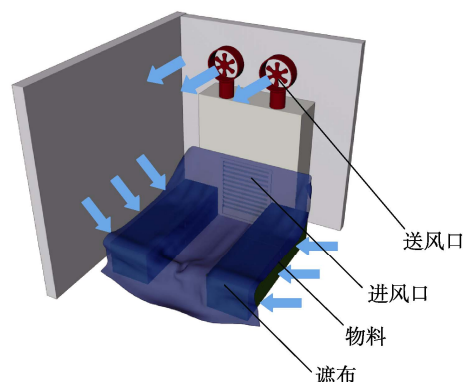


图 1 果蔬差压预冷结构

Fig.1 Forced-air precooling machine of fruits and vegetables

1.3.2 测定项目

1) 质量损失率。每种工况设置 6 个平行实验, 利用电子秤称量, 测量预冷前后和贮藏过程中的质量损失率。为避免蒜薹表面结露, 对测量结果造成误差, 测试应在预冷库或冰温库内进行。

2) 硬度。利用直径为 2 mm 的探头对蒜薹进行穿刺测试, 测前速率为 5 mm/s, 测试速率为 2 mm/s, 穿刺深度为 3 mm, 重复试验 10 次, 并取平均值。每次实验时, 在每根薹条根部向上 10 cm 处(记为位置 X)和薹梢基部往下 10 cm 处取样(记为位置 S)进行测定, 并计算平均值和标准偏差。取样位置见图 2。

3) 孔隙率。每次实验时, 在每根蒜薹薹根沿薹

梢方向(100±2), (200±2), (300±2) mm 位置利用切片机分别取 5 张切片置于载玻片上, 利用显微镜观察并获取沿每张切片半径方向于中心处、1/2 半径处和表皮处的显微图像, 利用 Adobe Photograph 对所得显微图像依次进行描边处理、降噪处理、阈值调整, 然后利用 Matlab 将降噪显微图像二值化, 见图 3。分别测量各工况下蒜薹预冷前孔隙率值以及预冷后(蒜薹整体温度预冷至 4 °C 结束差压预冷时)孔隙率值, 并记录各工况预冷用时。采用面孔隙率计算公式:

$$\varepsilon = \frac{A_1}{A_0} \quad (1)$$

式中: ε 为孔隙率; A_1 为图像中孔隙总面积 (μm^2); A_0 为图像总面积 (μm^2)。

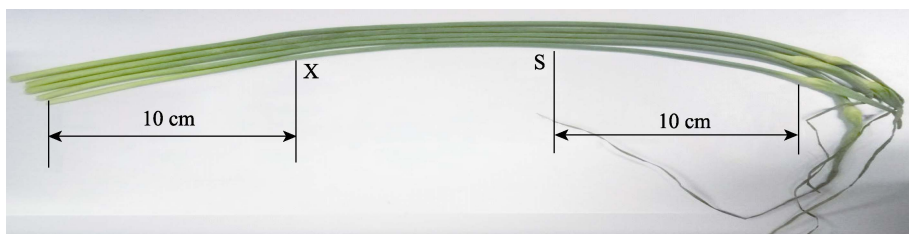


图 2 硬度测量位置示意
Fig.2 Diagram of firmness measurement area

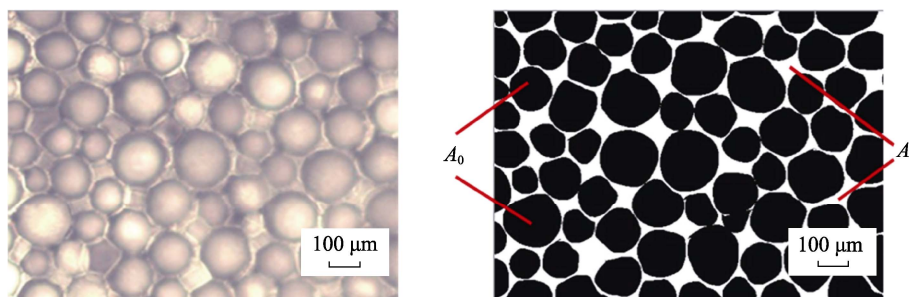


图 3 显微图像二值转换
Fig.3 Binary image conversion from microscopic images

1.4 数据处理与分析

使用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理和方差分析, $P < 0.01$ 表示在 0.01 水平双侧显著相关, $P < 0.05$ 表示在 0.05 水平双侧显著相关。使用 Adobe Photograph 和 Matlab 进行图像处理, 使用 Origin 2017 作图。

2 结果与分析

2.1 差压预冷对蒜薹贮藏期间质量损失率和硬度的影响

随着贮藏时间的延长, 不同差压预冷工况下蒜薹

整体质量损失率逐渐增加。在贮藏前期蒜薹质量损失率增长较大, 贮藏中期蒜薹质量损失率增长较为平缓, 贮藏后期蒜薹质量损失率又逐步增大。至贮藏结束时, 预冷风速在 2 m/s 下质量损失率达到最大(3.89%), 风速为 1, 1.5 m/s 下次之(3.60%, 3.54%), 直接冰温贮藏时质量损失率最小(3.16%), 见图 4。由此说明, 差压预冷处理在贮藏周期(15~135 d)促进了蒜薹质量损失率的增加。这是因为差压预冷处理使贮藏过程中蒜薹的孔隙分布更趋于复杂^[19], 不利于贮藏过程中蒜薹水分的保持。

从整个贮藏周期来看, 不同工况下蒜薹 X 位置的硬度值呈现整体减小的趋势, 至贮藏结束时, 预冷风速为 1, 1.5, 2 m/s 和直接贮藏条件下的硬度分别

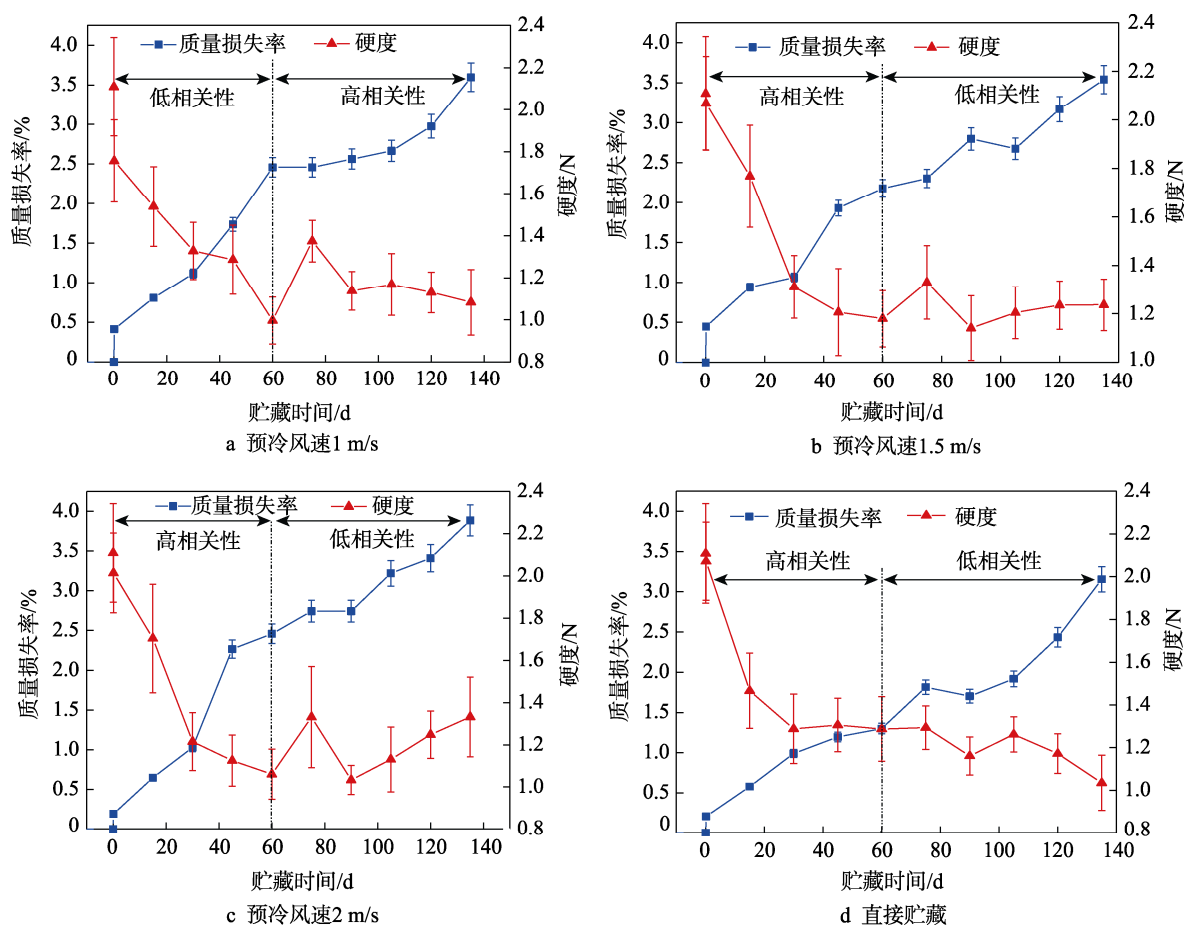


图4 蒜薹X位置不同预冷风速对质量损失率与硬度的影响

Fig.4 Effects of different pre-cooling wind speeds on mass loss and firmness at X area

占初始硬度值的 51.4%, 58.7%, 63.2% 和 49.1%, 由此说明, 差压预冷处理在贮藏周期内 (75~135 d) 延缓了蒜薹硬度值的减小速率。此外, 蒜薹硬度在不同的贮藏时间段, 硬度值并不是一直呈现降低趋势, 其中贮藏前期不同工况下蒜薹硬度值的减小率较大; 贮藏中期 (60~75 d) 蒜薹的硬度值不降反升, 预冷风速为 1, 1.5, 2 m/s 和直接贮藏条件下硬度值的增加量依次是 0.378, 0.15, 0.27, 0.007 N; 在贮藏后期, 不同工况下蒜薹的硬度值变化并不一致, 出现或增或减的情况, 相较于差压预冷工况, 直接贮藏条件下硬度值减小最为明显。由此说明, 差压预冷处理在贮藏中后期 (60~135 d), 延缓了蒜薹硬度值的减小速率。

对比不同工况下蒜薹 X 位置处硬度和质量损失率的变化趋势, 可以发现在贮藏前期 (0~60 d), 不同工况下蒜薹的质量损失率与硬度具有很好的负相关趋势。这是由于在冰温贮藏前期, 蒜薹失水导致细胞膨压降低, 蒜薹出现软化现象, 蒜薹的硬度值降低。在贮藏中期 (60~75 d), 蒜薹的质量损失率与硬度相关性较差, 这可能是贮藏中期蒜薹组织纤维化、木质化等因素导致蒜薹硬度增加。在贮藏后期 (75~135 d), 蒜薹硬度随质量损失率的变化趋势不一致,

可能是受细胞失水、乙烯作用、呼吸作用等因素的综合影响。

由图 5 可以看出, 蒜薹 S 位置硬度随贮藏时间的变化与蒜薹 X 位置基本一致, 至贮藏结束时, 预冷风速为 1, 1.5, 2 m/s 和直接贮藏条件下的硬度分别占初始硬度值的 83.6%, 78.7%, 76.5%, 73.1%。取蒜薹 X, S 位置的硬度平均值作为蒜薹的整体硬度值, 至贮藏结束时, 预冷风速为 1, 1.5, 2 m/s 和直接贮藏条件下的硬度分别占初始硬度值的 67.3%, 68.6%, 69.7%, 61.0%。由此说明, 差压预冷处理在贮藏周期 (75~135 d) 延缓了蒜薹硬度值的减小速率, 并且在贮藏周期 (15~135 d) 不同工况下蒜薹 S 位置处硬度值始终高于蒜薹 X 位置处硬度值。不同工况下蒜薹 S 位置处硬度在不同的贮藏时间段的变化趋势因与蒜薹 X 位置处硬度变化趋势基本一致, 在此不再讨论。

此外, 蒜薹 S 位置与蒜薹 X 位置整体质量损失率和硬度的变化趋势相一致, 在贮藏前期 (0~60 d), 不同工况下蒜薹 S 位置的质量损失率和硬度具有很好的负相关趋势, 至贮藏中后期, 两者再无显著负相关性。

2.2 蒜薹整体质量损失率与硬度的相关性分析

选取贮藏周期 0~45 d 为基准点。蒜薹 X 位置在预冷风速为 1, 1.5, 2 m/s 时, 相关性在 0~60 d 时达到最佳, 相关系数分别为: -0.96 , -0.92 , -0.92 , $P<0.01$ 。直接贮藏时, 相关性在 0~45 d 时最好 (-0.95 , $P<0.05$)。S 位置在预冷风速为 1, 2 m/s 和直接贮藏时, 相关性在 0~60 d 时最好, 相关系数分别为: -0.96

($P<0.01$), -0.85 ($P<0.05$), -0.96 ($P<0.01$), 而蒜薹 S 位置在预冷风速为 1.5 m/s 时, 相关性在 0~45 d 最好, 相关系数为 -0.95 ($P<0.05$), 见图 6。由此说明, 在冰温贮藏前期 (0~60 d), 蒜薹的整体质量损失率和硬度具有很好的负相关性; 受蒜薹组织纤维化、木质化、细胞失水等因素的综合影响, 贮藏中后期 (60~135 d) 蒜薹的整体质量损失率与硬度之间无显著相关性, 这与蒜薹质量损失率与硬度随贮藏时间变化的趋势相一致, 见图 4 和图 5。

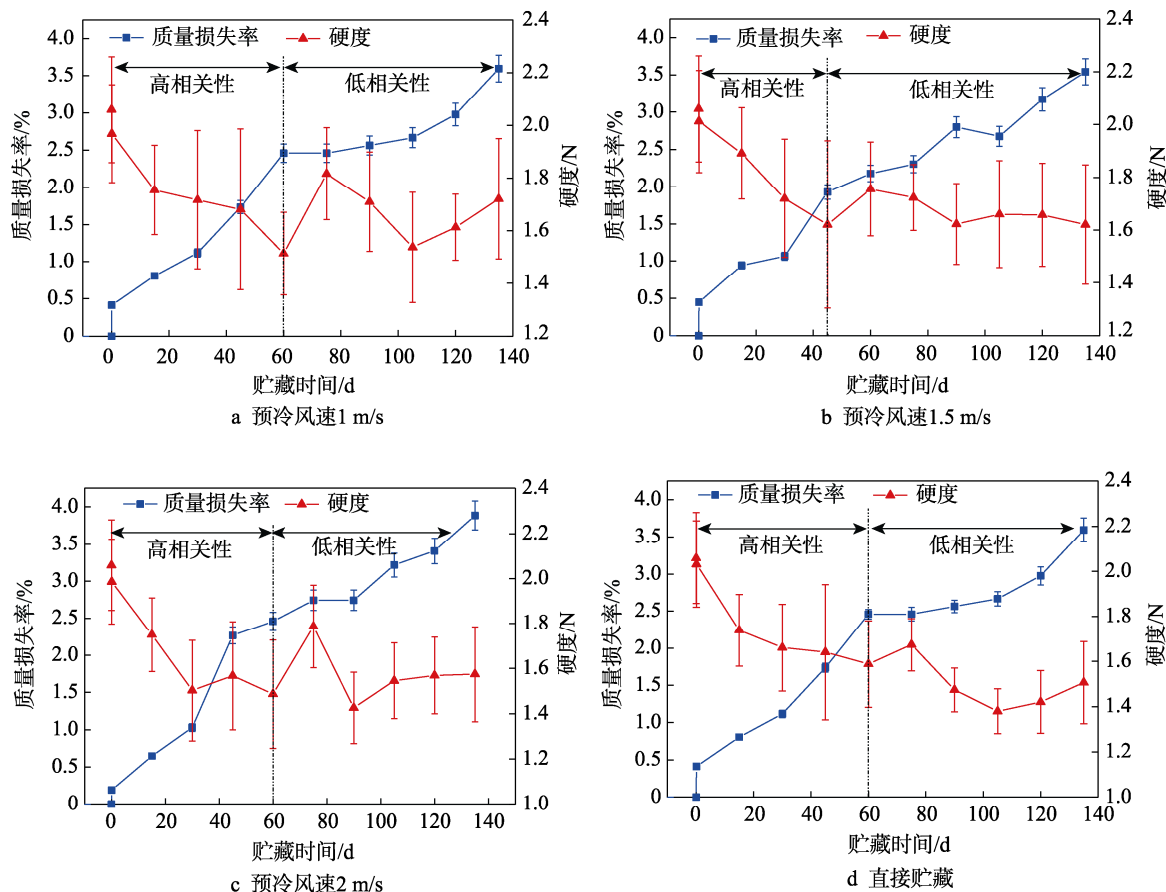


图 5 蒜薹 S 位置不同预冷风速对质量损失率与硬度的影响
Fig.5 Effects of different pre-cooling wind speeds on mass loss and firmness at S area

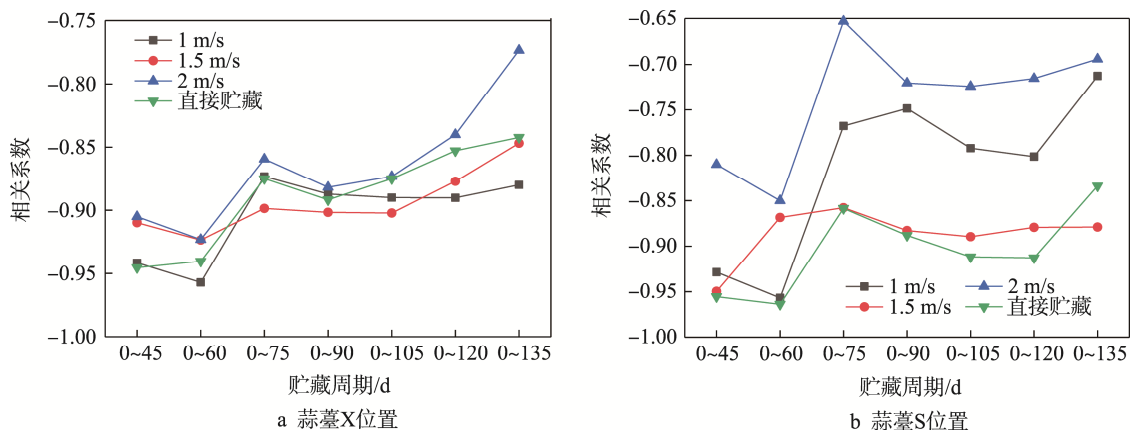


图 6 贮藏周期对质量损失率与硬度相关性的影响
Fig.6 Effect of storage period on correlation coefficients between mass loss and firmness

2.3 差压预冷对蒜薹孔隙率的影响

表 1 列出了差压预冷前后 4 种工况下蒜薹孔隙率的变化,可以看出,不同风速(1, 1.5, 2 m/s)差压预冷用时分别为 0.09, 0.086, 0.066 d, 其中 2 m/s 用时最短。这是因为增大风速强化了预冷过程中对流换热效果,缩短了预冷所用时间。比较预冷前后每一工况下不同位置处蒜薹的孔隙率,发现预冷前后蒜薹孔隙率在中心处取得最大值,表皮处次之,1/2 半径处孔隙率最小,预冷前后每一工况下蒜薹表皮处和 1/2 半径处孔隙率差异并不明显,而在蒜薹中心处预冷前后孔隙率差异较大;比较预冷后每一位置不同工况下的蒜薹孔隙率发现,在表皮处蒜薹预冷后孔隙率在风速 1 m/s 时取得最大值(0.186 23),1/2 半径处在风速 1 m/s 时取得最大值(0.185 96),中心处在预冷风速 2 m/s 时取得最大值(0.222 04);取蒜薹 3 个位置点的孔隙率平均值作为整体孔隙率,得到预冷前蒜薹整体孔隙率为 0.19796,预冷后风速为 1, 1.5, 2 m/s 下和直接贮藏工况下蒜薹整体孔隙率分别为 0.194 02, 0.186 28, 0.197 85, 0.188 87,发现在预冷用时 0~0.1 d 范围内,蒜薹经过预冷/贮藏后,孔隙率呈减小趋

势,从预冷用时这一角度来看,预冷时间短的工况(2 m/s),整体孔隙率相对较大,预冷时间长的工况(1, 1.5 m/s 及直接冰温贮藏)整体孔隙率就相对较小,但比较预冷后不同工况下蒜薹整体孔隙率和预冷用时发现,并不是预冷用时越长,其蒜薹整体孔隙率越小,这说明仅仅以贮藏时间长短来预测蒜薹孔隙率变化是不够准确的。对照 0.1 d 后各工况下蒜薹的质量损失率以及预冷结束时蒜薹整体孔隙率,发现预冷结束时 2 m/s 工况下蒜薹质量损失率最小(整体孔隙率最大),1.5 m/s 工况下蒜薹质量损失率最大(整体孔隙率最小),1 m/s 及直接贮藏工况下质量损失率(整体孔隙率)介于二者之间,这说明蒜薹质量损失率的变化影响了整体孔隙率的变化。这是因为蒜薹组织材料是由相互分离的细胞以及互相连通的孔隙组成,其组织可看作由液体、气体以及固体骨架组成的毛细多孔介质^[23]。Halder 等^[24]列出了果蔬细胞壁、细胞间隙、细胞膜的渗透率值,其值分别为:10⁻²⁴, 10⁻¹⁸, 10⁻²¹ m²,说明细胞间隙的水分比细胞内的水分更容易散失。蒜薹在贮藏过程中,随着贮藏时间的增加,质量损失率逐渐增大(见图 4—5),相较于细胞内,细胞间隙水分流失得更多,导致细胞间隙收缩,孔隙率降低。

表 1 差压预冷对蒜薹孔隙率的影响
Tab.1 Effects of forced-air pre-cooling on garlic sprouts porosity

位置		预冷风速			直接贮藏(对照组)
		1 m/s	1.5 m/s	2 m/s	
表皮处	预冷前			0.186 67	
	预冷后	0.186 23	0.186 21	0.186 19	0.185 96
1/2 半径处	预冷前			0.184 99	
	预冷后	0.185 96	0.185 81	0.18531	0.185 89
中心处	预冷前			0.222 21	
	预冷后	0.209 87	0.186 81	0.222 04	0.194 76
预冷用时/d		0.09	0.086	0.066	0.1

3 结语

文中研究了 3 种差压预冷风速处理后蒜薹在冰温贮藏条件下质量损失率和硬度的变化趋势,及其两者的相关性,并分析了差压预冷对蒜薹孔隙率的影响,得到如下结论。

- 1) 差压预冷处理在贮藏过程中促使蒜薹质量损失率增加,其中预冷风速为 2 m/s 时对蒜薹质量损失率影响最大,1 m/s 次之,1.5 m/s 影响最小。
- 2) 差压预冷处理能够延缓蒜薹的软化趋势,延长了蒜薹的货架期。其中预冷风速为 2 m/s 时对蒜薹硬度的影响最大,1.5 m/s 次之,1 m/s 影响最小。
- 3) 在冰温贮藏前期,不同工况下蒜薹整体质量

损失率与硬度都具有良好的负相关性。冰温贮藏中后期受蒜薹组织纤维化、木质化,以及保鲜袋使用等综合因素影响,无显著负相关性趋势。

4) 在贮藏过程中,随着蒜薹质量损失率的增大,整体孔隙率逐渐减小。蒜薹经预冷后,预冷风速为 1.5 m/s 时蒜薹整体孔隙率最小,2 m/s 时蒜薹整体孔隙率最大。

参考文献:

[1] 王善广. 蒜薹、蒜头及洋葱贮藏保鲜实用技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
WANG Shan-guang. Practical Techniques for Storage,

- Transportation and Preservation of Garlic Sprouts, Garlic Heads and Onions[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004.
- [2] 周晓琳, 牟文良, 王庆国. 切除薹苞处理对蒜薹货架期品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(2): 20—23.
ZHOU Xiao-lin, MU Wen-liang, WANG Qing-guo. Effect of Removing the Garlic Involucre on Quality of Garlic Stem during Shelf-life[J]. Storage & Process, 2012, 12(2): 20—23.
 - [3] 许茹楠, 于晋哲, 刘斌, 等. 不同差压预冷风速对贮藏期蒜薹品质的影响[J]. 制冷学报, 2018, 39(4): 38—41.
XU Ru-nan, YU Jin-zhe, LIU Bin, et al. Effect of Differential Pressure Precooling Wind Speed on the Quality of Garlic Sprouts during Storage[J]. Journal of Refrigeration, 2018, 39(4): 38—41.
 - [4] 张淑杰, 胡婷婷, 刘红开, 等. 果蔬采后硬度变化研究进展[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(4): 141—146.
ZHANG Shu-jie, HU Ting-ting, LIU Hong-kai, et al. Research Progress on Firmness Change of Postharvest Fruits and Vegetables[J]. Storage & Process, 2018, 18(4): 141—146.
 - [5] SCHÄFER J, WAGNER S, TRIERWEILER B, et al. Characterization of Cell Wall Components and Their Modifications during Postharvest Storage of Asparagus officinalis L: Storage-related Changes in Dietary Fiber Composition[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(2): 478—486.
 - [6] KAMDEE C, IMSABAI W, KIRK, R, et al. Regulation of Lignin Biosynthesis in Fruit Pericarp Hardening of Mangosteen (*Garcinia Mangostana* L) after Impact[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 97: 68—76.
 - [7] CHEN M, LIN H, ZHANG S, et al. Effects of Adenosine Triphosphate (ATP) Treatment on Postharvest Physiology, Quality and Storage Behavior of Longan Fruit[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(5): 971—982.
 - [8] DENG Y, WU Y, LI Y. Changes in Firmness, Cell Wall Composition and Cell Wall Hydrolases of Grapes Stored in High Oxygen Atmospheres[J]. Food Research International, 2005, 38(7): 769—776.
 - [9] KOZLOVA L V, AGEeva M V, IBRAGIMOVA N N, et al. Arrangement of Mixed-linkage Glucan and Glucuronoxylan in the Cell Walls of Growing Maize Roots[J]. Annals of Botany, 2014, 114(6): 1135—1145.
 - [10] 解越, 张敏, 朱赛赛. 贮藏温度对茄子果实活性氧代谢及细胞壁降解的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 142—151.
XIE Yue, ZHANG Min, ZHU Sai-sai. Effects of Storage Temperature on Active Oxygen Metabolism and Cell Wall Degradation of Postharvest Eggplant Fruits[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(2): 142—151.
 - [11] 白友强, 许建, 姚军, 等. 预冷方式对哈密瓜货架期品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(4): 56—60.
BAI You-qiang, XU Jian, YAO Jun, et al. Effects of Pre-cooling Types on Quality and Antioxidant Enzymes Activities of Hami Melon during Shelf-life[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(4): 56—60.
 - [12] 杨培志, 胡霞, 廖刚. 送风温度对苹果差压预冷降温效果的影响[J]. 热科学与技术, 2017, 16(5): 381—386.
YANG Pei-zhi, HU Xia, LIAO Gang. Effect of Air Supply Temperature on Cooling Efficiency for Pressure Precooling of Apples[J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2017, 16(5): 381—386.
 - [13] 申江, 吴冬夏, 李帅. 不同因素对白萝卜差压预冷效果的影响[J]. 制冷学报, 2018, 39(4): 49—56.
SHEN Jiang, WU Dong-xia, LI Shuai. Effect of Different Factors on Differential Pressure Pre-cooling of White Radish[J]. Journal of Refrigeration, 2018, 39(4): 49—56.
 - [14] 王艳红, 刘斌, 牛建会. 差压预冷外部遮挡最佳开孔方式的实验研究[J]. 食品科技, 2010, 35(11): 135—140.
WANG Yan-hong, LIU Bin, NIU Jian-hui. Experimental Study for the Optimal Vent-hole Type of External Cover on Differential Pressure Cooling[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(11): 135—140.
 - [15] 张晶琳, 王永江, 杨相政, 等. 不同硅窗面积气调包装对蒜薹贮藏期间品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(18): 195—200.
ZHANG Jing-lin, WANG Yong-jiang, YANG Xiang-zheng, et al. Effect of Modified Atmosphere with Different Silicon-window Area on the Quality of Garlic Bolt during Storage[J]. Food Research And Development, 2018, 39(18): 195—200.
 - [16] 胡云峰, 杜威, 魏增宇. 温度波动对蒜薹贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(16): 185—189.
HU Yun-feng, DU Wei, WEI Zeng-yu. Effect of Temperature Fluctuation on the Storage Quality of Garlic Shoot[J]. Food Research And Development, 2018, 39(16): 185—189.
 - [17] 胡云峰, 杜威, 魏增宇. 运输振动降低蒜薹的贮藏品质[J]. 现代食品科技, 2018, 34(8): 75—80.
HU Yun-feng, DU Wei, WEI Zeng-yu. Transport Vibration Decreases the Storage Quality of Garlic Shoots[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(8): 75—80.
 - [18] 李素清, 陈真华, 丁捷, 等. 鲜切蒜薹复合保鲜剂的配方优化及其保鲜作用[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 326—331.
LI Su-qing, CHEN Zhen-hua, DING Jie, et al. Formula Optimization of Fresh-cut Garlic Bolts Composite Preservative and Its Preservative Effect[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(24): 326—

- 331.
- [19] 王超, 刘斌, 黄国锋, 等. 蒜薹冰温贮藏期的细胞分形结构变化分析[J]. 冷藏技术, 2018, 41(3): 15—20.
WANG Chao, LIU Bin, HUANG Guo-feng, et al. Analysis of Cellular Fractal Structure Changes of Garlic during Ice Storage[J]. Journal of Refrigeration Technology, 2018, 41(3): 15—20.
- [20] 阎瑞香, 贾凝, 宋茂树, 等. 蒜薹冰点温度、可溶性固形物含量与含水量相关性研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 554—557.
YAN Rui-xiang, JIA Ning, SONG Mao-shu, et al. Study on Correlationship among Freezing Point and Contents of both Soluble Solids and Water[J]. Journal of Food Science, 2007, 28(10): 554—557.
- [21] 季丽丽, 梁芸志, 陈存坤, 等. 不同温度差压预冷及其对西葫芦冷藏效果的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 287—293.
JI Li-li, LIANG Yun-zhi, CHEN Cun-kun, et al. Forced-air Pre-cooling of Different Temperatures and Its Effects on Cold Storage of Cucurbita Pepo[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2018, 34(1): 287—293.
- [22] DEFRAEYE T, VERBOVEN P. Convective Drying of Fruit: Role and Impact of Moisture Transport Properties in Modelling[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 193: 95—107.
- [23] HALDER, A, DATTA A K, SPANSWICK R M. Water Transport in Cellular Tissues during Thermal Processing[J]. AIChE Journal, 2010, 57(9): 2574—2588.