

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.06.007

微冻贮藏对蒜薹品质变化的影响

李海燕¹,李蝶¹,钟士宏²,边海燕¹,张海伟¹,张强¹,李梅青^{1*}

(1. 安徽农业大学茶与食品科技学院,农业农村部江淮农产品精深加工与资源利用重点实验室,安徽省特色农产品高值化利用工程研究中心,安徽合肥230036;2. 安徽迈涛食品有限公司,安徽芜湖241000)

摘要: 蒜薹在贮藏过程中,因环境和微生物等各种因素影响导致其品质劣变,货架期变短,近年来,微冻技术因其成本低、耗能少被广泛运用。该文探究蒜薹在-3℃微冻条件下贮藏35d的品质变化,并与4℃和-4℃贮藏进行对比。结果表明:对比4℃和-4℃贮藏,-3℃贮藏有效延缓蒜薹贮藏期间质构、叶绿素含量和感官评分的下降,抑制蒜薹色差值、失重率、微生物数量、多酚氧化酶(polyphenol oxidase,PPO)活性上升以及细胞结构的变化,维持蒜薹品质。因此,将蒜薹置于-3℃微冻贮藏更具延缓品质劣变的优势。

关键词: 蒜薹;微冻;贮藏;保鲜;品质变化

Effect of Superchilling Storage on Quality Changes of Garlic Shoots

LI Haiyan¹, LI Die¹, ZHONG Shihong², BIAN Haiyan¹, ZHANG Haiwei¹, ZHANG Qiang¹, LI Meiqing^{1*}

(1. School of Tea and Food Science & Technology, Anhui Agricultural University, Key Laboratory of Jianghuai Agricultural Product Fine Processing and Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Anhui Engineering Research Center for High Value Utilization of Characteristic Agricultural Products, Hefei 230036, Anhui, China; 2. Anhui Mettle Trading Co., Ltd., Wuhu 241000, Anhui, China)

Abstract: During storage, garlic shoots can deteriorate in quality due to various factors such as environmental conditions and microorganisms, leading to a shorter shelf life. In recent years, superchilling technology has been widely used due to its low cost and low energy consumption. This study investigated the quality changes of garlic shoots stored under superchilling conditions at -3℃ for 35 days, and compared them with storage at 4℃ and -4℃. The results showed that compared to storage at 4℃ and -4℃, storage at -3℃ effectively delays the decline in texture, chlorophyll content, and sensory evaluation of garlic shoots. It also inhibited increases in color aberration, weight loss, microbial quantity, polyphenol oxidase (PPO) activity, and changes in cellular structure, thereby maintaining the quality of garlic shoots. Therefore, storing garlic shoots at -3℃ under superchilling conditions offers a better advantage in delaying quality deterioration.

Key words: garlic shoots; superchilling; storage; fresh-keeping; quality change

引文格式:

李海燕,李蝶,钟士宏,等.微冻贮藏对蒜薹品质变化的影响[J].食品研究与开发,2025,46(6):49-56.

LI Haiyan, LI Die, ZHONG Shihong, et al. Effect of Superchilling Storage on Quality Changes of Garlic Shoots[J]. Food Research and Development, 2025, 46(6): 49-56.

蒜薹(*Allium sativum* L.)又称为蒜苔、蒜苗或蒜毫,葱属,是大蒜生长过程中形成的花茎^[1]。在贮藏过程中,由于蒜薹采后代谢旺盛,表面缺少保护组织极易造成品质劣变^[2],货架期变短。因此延长蒜薹的贮藏期,维

持蒜薹品质,满足消费者对新鲜度的要求具有现实意义。

目前,蒜薹的贮藏技术研究集中在冷藏^[3]、气调^[4]以及辐射^[5]等,这些贮藏技术都在一定程度上维持了蒜薹的品质,并延长蒜薹的贮藏期。根据已有研究,在

基金项目:安徽高校协同创新项目(GXXT-2019-011);安徽省重点研究与开发计划项目(202104f06020038)

作者简介:李海燕(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:农产品加工与贮藏。

*通信作者:李梅青(1965—),女(汉),教授,硕士,研究方向:农产品加工与贮藏。

果蔬贮藏过程中,温度对其品质影响显著^[6],因此选择合适的温度可以延长果蔬贮藏期。微冻是一种将食品保持在食品冰点(冻结点)以下1~2℃进行贮藏以达到保鲜目的的方法^[7-8]。微冻条件下微生物和酶活性均降低^[9-10],与普通冷藏相比,微冻可以延长食品的保质期^[11-12]。微冻相比于冷藏,在一定程度上能够更好地维持食品本身的品质、颜色、风味,还可以降低食品质量的减少,维持水分含量^[13]。微冻技术应用在水产品中的研究居多,Sørensen等^[14]将大西洋鳕鱼鱼片进行气调包装(40% CO₂和60% N₂)后在-1.7℃下微冻,保质期超过32 d。庄文静等^[15]比较大菱鲆在微冻、冰藏、微冻+冰藏贮藏条件下组织结构的变化,发现微冻贮藏能更好保持大菱鲆肌肉品质,延长其货架期6~9 d。陈思名等^[16]研究发现微冻保鲜可以通过延缓虾肌肉的腐败进而提高品质。近年来,微冻技术也不断应用于肉制品和蔬菜贮藏研究中,付倩等^[17]发现相比于冷藏(0~4℃),微冻(-3~-5℃)贮藏可以更好保持鸡胸肉新鲜度,且能维持鸡胸肉货架期15 d以上。丁大茗^[18]通过比较猪肉冷藏、微冻贮藏、冻藏期间各指标变化,发现相比于冷藏,微冻贮藏可以延长猪肉货架期,保持品质,并且更适合短期贮藏,与冻藏相比,微冻贮藏能较好保持肌肉组织结构。邹琼^[19]探究鲜切紫甘蓝微冻品质变化并对紫甘蓝微冻预处理工艺进行优化,得出微冻贮藏维持紫甘蓝品质有较好的效果。李余霞^[20]研究发现,藕带经过保鲜液浸泡包装后于微冻(-1℃)条件下贮藏可以很好维持藕带本身品质,且贮藏时间为60 d,是较理想的贮藏方式。因此,微冻贮藏技术在今后的农产品贮藏保鲜中有巨大发展潜力。

由于大部分的蔬菜含水量较高,采用速冻贮藏虽然能防止腐烂变质,但冻结后形成的冰晶容易对蔬菜组织结构造成不可逆的损伤,冷藏只能在短期维持蔬菜的品质,而微冻贮藏既可维持蔬菜组织结构,延缓变质,又能延长贮藏期,同时考虑冷链物流运输成本等因素,开展蔬菜微冻贮藏研究具有重大意义。目前微冻技术在蒜薹贮藏中的应用研究鲜见,因此,本文在确定蒜薹微冻温度为-3℃的基础上,以4℃和-4℃贮藏为对比,探究蒜薹贮藏期间的品质和理化指标的变化,以期蒜薹微冻贮藏提供理论依据及可行性方案。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蒜薹:市售;乳酸钙(食品级):迁味食品科技有限公司;褪黑素(食品级):颐美客生物科技有限公司;微酸电解水:合肥市必洁美生物技术有限公司;平板技术琼脂、结晶性紫中性红胆盐琼脂:杭州百思生物技术有限公司;Baird-Parker培养基:北京陆乔技术股份有限公司;丙酮、邻苯二酚、冰醋酸、Triton X-100、无水醋酸

(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

TA-XT Plus型食品物性测试仪:英国SMS公司;CR-400型色差计:日本可尼尔美能达公司;BC/BD-200HER型卧式冷藏冷冻转换柜:青岛海尔特种电冰柜有限公司;KQ3200DE型数控超声波清洗器:昆山市超声仪器有限公司;TU-1950型紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;LX51倒置显微镜:日本OLYMPUS公司。

1.2 试验方法

1.2.1 原料处理

选取粗细均匀、无病害、无机械损伤的蒜薹原料,切成6~8 cm蒜薹段。根据预试验结果,对原料采用超声波(200 W,40 kHz,25℃)联合乳酸钙(1.5%)和褪黑素(100 μmol/L)处理10 min进行护色保脆,后用微酸电解水(有效氯浓度30 mg/L)联合超声波(120 W,40 kHz,25℃)减菌5 min。自然沥干后用聚乙烯自封袋(8 cm×12 cm)进行装袋密封,每袋(200±5)g,分别放在(4±0.5)、(-3±0.5)℃和(-4±0.5)℃条件下贮藏35 d,每隔7 d取样一次,测定贮藏期间3组蒜薹的质构、色差值、失重率、叶绿素含量、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性、感官评分、组织结构和微生物含量的变化,考察其随时间变化趋势,研究蒜薹微冻贮藏期间的品质变化。

1.2.2 质构的测定

采用食品物性测试仪进行质构测定,参考李阳等^[2]的方法,将蒜薹段平放在食品物性测试仪台面中心位置,选用P/0.5探头进行穿刺,设置返回距离50 mm,操作模式为压力测定,设置为50%。两个测定均为返回速度10 mm/s,接触力5 g,测前和测后速度均为5 mm/s,测试速度为2 mm/s,穿刺深度3 mm,重复测试15次,结果取平均值。硬度和咀嚼性单位为g。

1.2.3 失重率的测定

参考王娟紫等^[6]的称重法进行测定,蒜薹初始质量记为 m_1 (g),贮藏后质量记为 m_2 (g),进行3次重复试验,按公式(1)计算失重率(X ,%)。

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.2.4 色差值的测定

采用色差计测量样品表面 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值,并计算 ΔE 。随机选取20根样品平铺,排列整齐无缝隙后进行测定,平行测定15次,结果取平均值。 L_0^* 值、 a_0^* 值、 b_0^* 值表示每个样品初始色差值; L^* 值、 a^* 值、 b^* 值表示每个样品测定色差值, ΔE 按公式(2)计算。

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

1.2.5 叶绿素含量测定

参考曹建康等^[21]叶绿素含量测定的方法测定样品

中叶绿素的含量,按公式(3)、(4)、(5)计算叶绿素含量(Y,mg/g)。

$$C_a = 12.72A_{663} - 2.59A_{645} \quad (3)$$

$$C_b = 22.88A_{645} - 4.67A_{663} \quad (4)$$

$$Y = \frac{(C_a + C_b) \times V}{m \times 1000} \quad (5)$$

式中: C_a 和 C_b 分别为叶绿素 a 和叶绿素 b 含量,mg/L; A_{663} 和 A_{645} 分别为叶绿素 a 和叶绿素 b 在 663 nm 和 645 nm 波长处的吸光度; V 为样品提取液总体积,mL; m 为样品质量,g。

1.2.6 多酚氧化酶(PPO)活性的测定

参考曹建康等^[21]PPO 活性的测定方法,以每克样品(鲜重)每分钟吸光度增加 1 为 1 个 PPO 活性单位(U)。

1.2.7 组织细胞结构观察

参考李余霞^[20]的方法并稍作修改,取适量超纯水倒入培养皿,切取蒜薹表面的横切组织切片,厚度为 0.5 mm,用镊子将切片移入培养皿中备用,选取完整切片放在载玻片上,用滴管滴 1~2 滴清水后盖上盖玻片,在显微镜下观察细胞结构并拍照记录。

1.2.8 微生物检测

菌落总数、大肠菌群和金黄色葡萄球菌分别参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》^[22]、GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》^[23]、GB 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》^[24]进行测定。

1.2.9 感官评价

蒜薹感官评价参考张晶琳等^[25]方法并稍作修改。感官评价在安徽农业大学茶与食品科技学院感官分析实验室进行,参与感官评价的成员由经过专业培训的 10 名评价员组成。样品采用随机 3 位数字编码,评价标准如表 1 所示。

表 1 蒜薹感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for garlic shoots

指标	评价标准	分值	评分方法
组织状态	外表饱满,完整度好	7~10	观察样品表面
(10%)	轻微皱缩、脱皮、糠化	4~<7	组织状态
(10%)	拉丝,组织软烂、萎缩,脱皮、糠化严重	0~<4	
气味	特有蒜味清新,无异味	7~10	端起样品,凑近
(10%)	蒜味适中,无明显异味	4~<7	鼻前,仔细嗅闻
(10%)	蒜味不明显,有明显异味	0~<4	样品的味道
色泽	整体颜色鲜绿	7~10	直接观察样品
(30%)	颜色淡绿,有少许白黄色、褐色斑点分布	4~<7	表面色泽变化
	颜色暗沉呈黄褐色,黄褐色斑点大量分布,褐变严重	0~<4	情况
硬度	质地脆嫩,易折断较清脆	7~10	折断蒜薹,感受
(30%)	样品轻微软化,不易折断	4~<7	样品硬度
	样品软化严重,难折断	0~<4	
滋味	蒜薹特有甜辣滋味	7~10	样品放入口中
(20%)	辛辣味淡	4~<7	咀嚼,感受样品
	严重异味,无法食用	0~<4	滋味

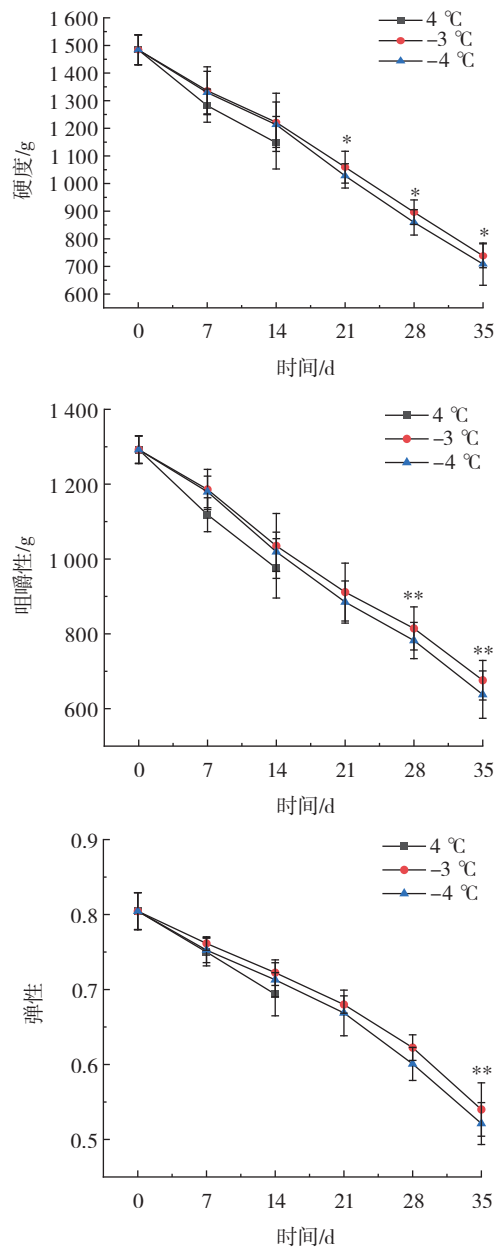
1.3 数据处理与分析

所有试验结果均表示为平均值±标准差,采用 Excel 进行数据整理统计,利用 SPSS17.0 进行方差分析,并用 Duncan's 进行多重比较检验,利用 Origin 2018 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 蒜薹质构在微冻贮藏期间的变化

蒜薹微冻贮藏期间硬度、咀嚼性、弹性的变化见图 1。



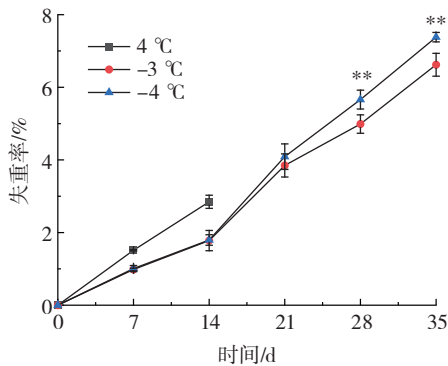
4 °C组样品贮藏至 14 d 后已失去食用性和商品性,之后不再测定指标变化。同一贮藏时间下,*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$)。

图 1 蒜薹微冻贮藏期间硬度、咀嚼性、弹性的变化
Fig.1 Changes in hardness, chewiness and elasticity of garlic shoots during superchilling storage

质构特性是影响消费者对蔬菜接受程度的重要品质属性^[26],如图1所示,随着贮藏时间的延长各组蒜薹硬度、咀嚼性和弹性均呈下降趋势,主要是贮藏过程中果胶的降解导致细胞壁松动分解^[27],从而使细胞结构松散,组织软化,同时蒜薹在切分时也产生了一定程度的机械损伤,加快蒜薹组织软化。贮藏14d时4℃组的硬度、弹性、咀嚼性均低于其他组;贮藏21d至贮藏结束,-3℃组的硬度显著高于-4℃组($P<0.05$);贮藏35d时,-3℃组的咀嚼性和弹性均极显著高于-4℃组($P<0.01$)。综上所述,相比于4℃和-4℃条件下贮藏,-3℃贮藏可以减缓蒜薹质构品质下降,维持较好的质构特性。

2.2 蒜薹失重率在微冻贮藏期间的变化

蒜薹微冻贮藏期间失重率的变化见图2。



4℃组样品贮藏至14d后已失去食用性和商品性,之后不再测定指标变化。同一贮藏时间下,**表示差异极显著($P<0.01$)。

图2 蒜薹微冻贮藏期间失重率的变化

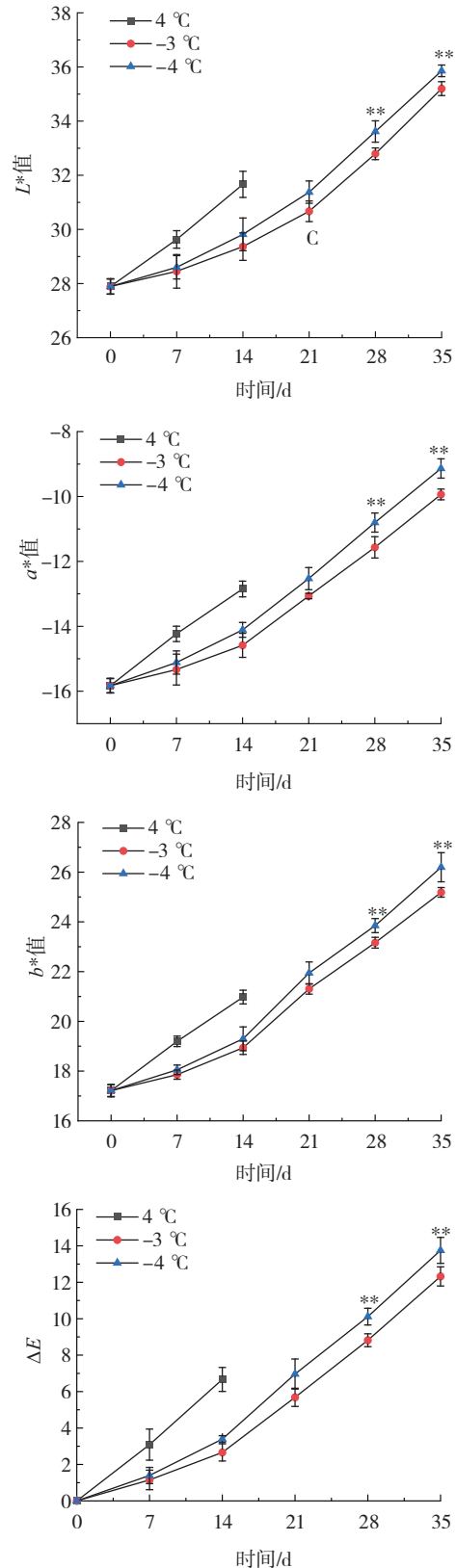
Fig.2 Changes in weight loss rate of garlic shoots during superchilling storage

失重率是评估蔬菜收获后货架期的重要指标。从图2可以看出,各组失重率在整个微冻贮藏过程中均不断上升,失重率的上升主要是因为果蔬的蒸腾作用、呼吸代谢和各种生理变化引起水分流失和干物质流失^[28-29]。4℃组失重率在贮藏14d过程中从0%上升到2.85%,高于其他两组,-3℃和-4℃组的失重率在贮藏35d过程中失重率分别从0%上升至6.62%和7.38%;贮藏28~35d-3℃组失重率低于-4℃组,可能是因为-4℃条件下蒜薹冻结程度更高,冰晶破坏了细胞组织完整性导致细胞失水更严重。所以-3℃在长期贮藏过程中更有利于延缓蒜薹失重率的上升。

2.3 蒜薹色差值在微冻贮藏期间的变化

蒜薹微冻贮藏期间 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 的变化见图3。

蔬菜的外观颜色是影响消费者选择和购买的重要品质质量指标之一^[30],由图3可知,各组蒜薹的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值和 ΔE 在整个微冻贮藏过程中均呈上升趋势,主要是因为贮藏期间叶绿素降解导致蒜薹黄化,使



4℃组样品贮藏至14d后已失去食用性和商品性,之后不再测定指标变化。同一贮藏时间下,**表示差异极显著($P<0.01$)。

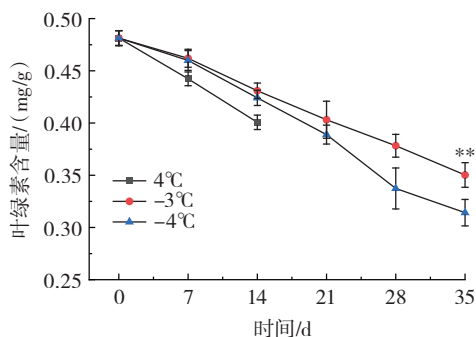
图3 蒜薹微冻贮藏期间 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 的变化

Fig.3 Changes in L^* value, a^* value, b^* value, and ΔE of garlic shoots during superchilling storage

L^* 值、 a^* 值、 b^* 值升高以及与贮藏初期相比蒜薹色泽变化使 ΔE 值升高。贮藏 7 d 开始 4 °C 组的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值和 ΔE 高于其他处理组,说明 4 °C 条件下蒜薹黄化褐变的速度更快。在贮藏 14 d 后 -3 °C 组和 -4 °C 组的 L^* 值和 a^* 值上升趋势加快;贮藏至 28 d 时 -3 °C 组 L^* 值和 a^* 值极显著低于 -4 °C 组 ($P < 0.01$)。-3 °C 组的 b^* 值和 ΔE 低于 -4 °C 组,说明 -4 °C 组蒜薹黄化褐变的程度更高,颜色变化差距更大。以上结果表明 -3 °C 微冻贮藏条件可以更有效抑制蒜薹黄化速度,维持蒜薹本身的色泽。

2.4 蒜薹叶绿素含量在微冻贮藏期间的变化

叶绿素损失导致蔬菜黄化是绿色蔬菜在贮藏过程中的一个常见问题,叶绿素通常是反映蔬菜衰老的标志性有机物质^[31]。蒜薹微冻贮藏期间叶绿素含量变化如图 4 所示。



4 °C 组样品贮藏至 14 d 后已失去食用性和商品性,之后不再测定指标变化。同一贮藏时间下,**表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

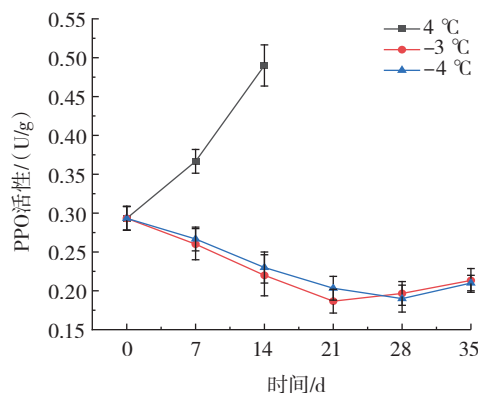
图 4 蒜薹微冻贮藏期间叶绿素含量的变化
Fig.4 Changes in chlorophyll content of garlic shoots during superchilling storage

由图 4 可知,各组蒜薹的叶绿素含量在贮藏期内均呈下降趋势,主要是由于低温贮藏导致合成叶绿素的酶活降低和缺少光照抑制了叶绿素的合成^[32]。贮藏 7 d 后,-3 °C 组和 -4 °C 组叶绿素含量下降速度逐渐加快。4 °C 组在贮藏 14 d 过程中的叶绿素含量低于其他组。贮藏 14 d 时,4 °C 组、-3 °C 组和 -4 °C 组的叶绿素含量相比于贮藏 0 d 时分别下降了 19.38%、10.47% 和 11.88%。贮藏至结束时,-3 °C 组和 -4 °C 组的叶绿素含量分别为 0.35 mg/g 和 0.31 mg/g,两组的叶绿素含量存在极显著差异 ($P < 0.01$)。因此,-3 °C 微冻条件在蒜薹的长期贮藏过程中更具有保持其叶绿素含量的优势。

2.5 蒜薹多酚氧化酶(PPO)活性在微冻贮藏期间的变化

PPO 是引起果蔬发生褐变的关键酶^[33],果蔬的新鲜程度与 PPO 活性密切相关。各组蒜薹的 PPO 活性在贮藏期间的变化如图 5 所示。

由图 5 可知,在整个贮藏期,-3 °C 组和 -4 °C 组的 PPO 活性均呈先下降后上升的趋势,这与闫安^[13]的研



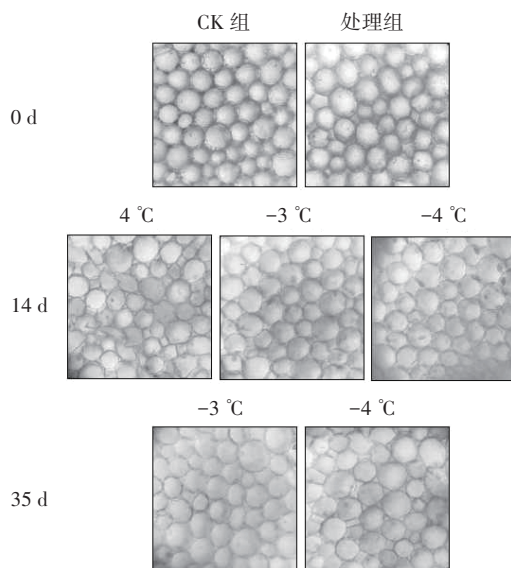
4 °C 组样品贮藏至 14 d 后已失去食用性和商品性,之后不再测定指标变化。

图 5 蒜薹微冻贮藏期间 PPO 活性的变化
Fig.5 Changes in PPO activity of garlic shoots during superchilling storage

究结果一致。4 °C 组的 PPO 活性在贮藏 14 d 过程中呈逐步上升趋势,且高于其他组,说明相比于 4 °C 贮藏条件,-3 °C 和 -4 °C 贮藏更具抑制蒜薹 PPO 活性上升的优势。贮藏至 21 d 时,-3 °C 组的 PPO 活性下降到最低,并且低于 -4 °C 组,21 d 后开始上升且略高于 -4 °C 组,但无显著差异 ($P > 0.05$)。-3 °C 组和 -4 °C 组分别在贮藏 21 d 和 28 d 后 PPO 活性开始上升,说明蒜薹老化褐变的速度加快。因此,根据整个贮藏期 PPO 活性的变化来看,-3 °C 微冻贮藏在抑制蒜薹 PPO 活性方面效果更好。

2.6 蒜薹细胞组织结构在微冻贮藏期间的变化

蒜薹在贮藏过程中细胞结构变化如图 6 所示。



CK 组表示蒜薹未经预处理;处理组表示蒜薹进行护绿保脆和减菌工艺处理。

图 6 蒜薹微冻贮藏期间的细胞结构变化 ($\times 400$)
Fig.6 Changes in cell structure of garlic shoots during superchilling storage ($\times 400$)

由图6可知,贮藏0 d时CK组与处理组蒜薹细胞结构完整,细胞排列紧密,细胞形状近圆形,细胞壁完整平滑,细胞间隙较小,两组差异不明显。贮藏至14 d时,4℃组的大部分细胞破损皱缩,细胞间隙变大,-3℃组和-4℃组的细胞无明显变化,主要是由于蒜薹在4℃环境下细胞更易发生失水皱缩、组织软化的现象。贮藏至35 d时,-3℃与-4℃对比,-3℃组细胞间隙较

小,细胞排列较为紧密,细胞形状接近圆形,少许细胞呈不规则形状,冰晶对细胞结构破坏程度小,可能是由于-4℃贮藏冰晶量较多对细胞结构产生了不利影响。由此可见-3℃微冻贮藏可以更好维持蒜薹细胞结构完整性。

2.7 蒜薹微生物数量在微冻贮藏期间的变化

蒜薹微冻贮藏期间微生物数量的变化见表2。

表2 蒜薹微冻贮藏期间微生物数量的变化

Table 2 Changes in microbial quantity of garlic shoots during superchilling storage

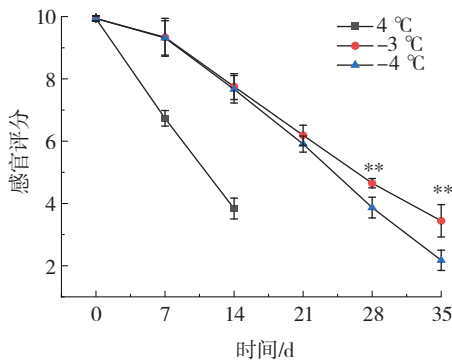
贮藏时间/d	菌落总数/[lg(CFU/g)]			大肠菌群/(MPN/g)			金黄色葡萄球菌/(CFU/g)		
	4℃	-3℃	-4℃	4℃	-3℃	-4℃	4℃	-3℃	-4℃
0	2.67±0.03 ^a	2.67±0.03 ^a	2.67±0.03 ^a	<3.0	<3.0	<3.0	<10	<10	<10
7	3.27±0.06 ^a	2.73±0.05 ^b	2.73±0.04 ^b	<3.0	<3.0	<3.0	<10	<10	<10
14	3.80±0.02 ^a	2.88±0.03 ^b	2.87±0.03 ^b	<3.0	<3.0	<3.0	<10	<10	<10
21	-	3.37±0.09 ^a	3.42±0.06 ^a	-	<3.0	<3.0	-	<10	<10
28	-	3.93±0.03 ^b	4.13±0.10 ^a	-	<3.0	<3.0	-	<10	<10
35	-	4.45±0.08 ^b	4.71±0.04 ^a	-	<3.0	<3.0	-	<10	<10

注:同行不同小写字母表示同一贮藏时间不同组之间差异显著($P<0.05$);-表示未测定。

从表2可以看出,各组蒜薹菌落总数在贮藏过程中均呈不断上升的趋势,主要是由于切分后的果蔬通常会有一定程度的机械损伤,造成细胞结构受损,汁液流失,极易受到微生物污染^[34];4℃组在贮藏14 d过程中菌落总数显著高于其他组($P<0.05$);贮藏14 d后,-4℃组的菌落总数高于-3℃组,可能是由于-4℃条件下细胞产生的冰晶量较多导致细胞结构破损程度更大,引起更多的营养成分流失,为微生物繁殖提供环境;贮藏28 d开始-3℃组和-4℃组的菌落总数出现显著差异($P<0.05$)。大肠菌群和金黄色葡萄球菌在贮藏过程中均未检出。因此,-3℃微冻贮藏更有利于抑制微生物生长,提高蒜薹的食用安全性。

2.8 蒜薹感官评分在微冻贮藏期间的变化

图7和图8为蒜薹在微冻贮藏35 d过程中的感官评分和外观变化。



4℃组样品贮藏至14 d后已失去食用性和商品性,之后不再测定指标变化。同一贮藏时间下,**表示差异极显著($P<0.01$)。

图7 蒜薹微冻贮藏期间感官评分的变化

Fig.7 Changes in sensory evaluation scores of garlic shoots during superchilling storage

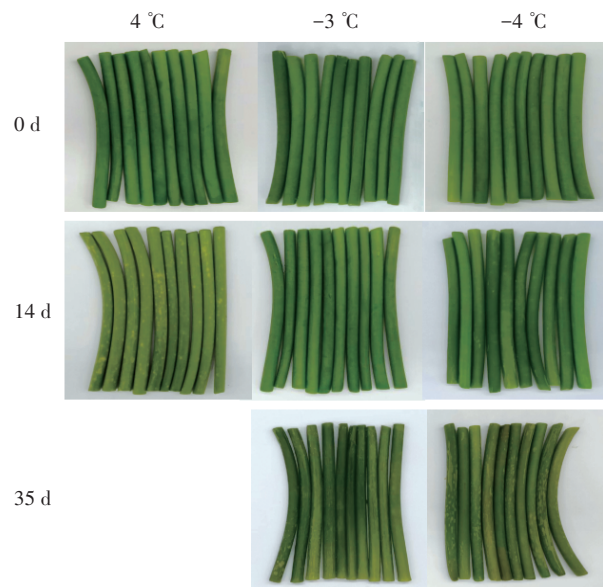


图8 蒜薹微冻贮藏期间外观变化

Fig.8 Changes in appearance of garlic shoots during superchilling storage

从图7、图8可知,各组的感官评分在整个贮藏过程中呈下降趋势,主要是因为蒜薹在贮藏过程中整体品质下降。4℃组在贮藏至14 d时感官评分为3.83,蒜薹产生异味,蒜薹已出现黄化现象,失去食用和商用价值(图8)。 $-3℃$ 组的感官评分在贮藏过程中高于其他组;贮藏28 d时, $-3℃$ 组和 $-4℃$ 组感官评分开始出现极显著差异($P<0.01$),感官评分分别为4.65和3.86;贮藏至35 d时, $-3℃$ 组和 $-4℃$ 组感官评分分别为3.44和2.17,两组蒜薹均出现黄化、脱皮、组织软化和异味,已无食用价值和商品价值。因此,蒜薹在 $-3℃$ 条件下长期贮藏可以保持较高的感官品质。

3 结论

本试验探究蒜薹在 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 微冻条件下贮藏期间的品质变化,并与 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件贮藏进行对比。由研究结果可知, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏至14 d蒜薹已经失去商品价值,而微冻贮藏可将贮藏期延长至35 d, $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 微冻贮藏可以更好维持蒜薹的质构特性、叶绿素含量和感官品质,抑制色差的变化、失重率和PPO活性的上升、微生物的繁殖以及细胞结构的变化。综上所述, $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 微冻贮藏能够有效延缓蒜薹品质劣变,维持蒜薹贮藏品质,研究结果可为蒜薹微冻贮藏应用提供一定的理论参考。由于本研究只选择 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏温度进行对比分析,因此,在后续研究中,可探究蒜薹冰点附近其他温度对蒜薹贮藏品质的影响以得到蒜薹最佳微冻温度,还可进一步对蒜薹微冻贮藏机制进行研究,并且将微冻贮藏与其他保鲜技术相结合应用到蒜薹,在降低成本的基础上达到保鲜效果并延长贮藏期。

参考文献:

- [1] 员丽苹. O_2/CO_2 主动自发气调对蒜薹保鲜效果的影响[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
YUN Liping. Effect of O_2/CO_2 active spontaneous modified atmosphere on fresh-keeping of garlic bolts[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2019.
- [2] 李阳, 杨文哲, 王美霞, 等. 差压预冷处理对蒜薹质量损失率和硬度的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(9): 28-35.
LI Yang, YANG Wenzhe, WANG Meixia, et al. Effects of forced-air pre-cooling on mass loss and firmness of garlic sprouts[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(9): 28-35.
- [3] ZOBIA Naheed. 蒜薹简易气调冷藏贮藏期间品质变化及其调控技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
ZOBIA Naheed. Study on quality change and regulation technology of garlic bolt during simple controlled atmosphere cold storage[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017.
- [4] 员丽苹, 张玉笑, 郭衍银, 等. 主动自发气调对蒜薹保鲜效果的多变量分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 51-58.
YUN Liping, ZHANG Yuxiao, GUO Yanyin, et al. Multivariate analysis of active modified atmospheres on storage quality of garlic bolts[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 51-58.
- [5] PÉREZ M B, AVELDAÑO M I, CROCI C A. Growth inhibition by gamma rays affects lipids and fatty acids in garlic sprouts during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(2): 122-130.
- [6] 王娟紫, 王春芳, 乔勇进, 等. 近冰温贮藏对鲜糯玉米采后品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(14): 336-345.
WANG Juanzi, WANG Chunfang, QIAO Yongjin, et al. Effect of near-freezing temperature storage on the quality of postharvest fresh waxy corn[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(14): 336-345.
- [7] CHEN X, DONG P C, LI K, et al. Effect of the combination of superchilling and super-chilled storage on shelf-life and bacterial community dynamics of beef during long-term storage[J]. Meat Science, 2022, 192: 108910.
- [8] BANERJEE R, MAHESWARAPPA N B. Superchilling of muscle foods: Potential alternative for chilling and freezing[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(8): 1256-1263.
- [9] 王鹏, 郭丽, 于文婷, 等. 透明质酸-大豆 β -伴球蛋白复合膜对鲢鱼片微冻贮藏品质影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 67-76.
WANG Peng, GUO Li, YU Wenting, et al. Effect of hyaluronic acid- β -conglycinin composite film on quality of silver carp fillet during preservation by partial freezing[J]. Food Research and Development, 2023, 44(7): 67-76.
- [10] 李苑, 王丽平, 余海霞, 等. 电场对三疣梭子蟹微冻贮藏过程中品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 192-197.
LI Yuan, WANG Liping, YU Haixia, et al. Effect of electric field on the quality of *Portunus trituberculatus* during superchilling[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 192-197.
- [11] TAVARES J, MARTINS A, FIDALGO L G, et al. Fresh fish degradation and advances in preservation using physical emerging technologies[J]. Foods, 2021, 10(4): 780.
- [12] ERIKSON U, MISIMI E, GALLART-JORNET L. Superchilling of rested Atlantic salmon: Different chilling strategies and effects on fish and fillet quality[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1427-1437.
- [13] 闫安. 不同条件对薇菜和蕨菜贮藏期间品质变化的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
YAN An. Effects of different conditions on quality changes of *Osmunda japonica* and *Pteridium aquilinum* during storage[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.
- [14] SØRENSEN J S, BØKNÆS N, MEJLHOLM O, et al. Superchilling in combination with modified atmosphere packaging resulted in long shelf-life and limited microbial growth in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) from capture-based-aquaculture in Greenland[J]. Food Microbiology, 2020, 88: 103405.
- [15] 庄文静, 包建强, 郑稳, 等. 微冻和冰藏期间大菱鲆鲜度及组织结构的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(10): 220-229.
ZHUANG Wenjing, BAO Jianqiang, ZHENG Wen, et al. Changes law of freshness and microstructure of turbot during superchilling and ice storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(10): 220-229.
- [16] 陈思名, 郜佳雁, 李宏吉, 等. 微冻保鲜对南美白对虾品质的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(3): 100-103.
CHEN Siming, GAO Jiayan, LI Hongji, et al. Effect of superchilling storage on the quality of shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Food Research and Development, 2014, 35(3): 100-103.
- [17] 付倩, 孙颖, 王新新, 等. 微冻对鸡胸肉贮藏品质及肌原纤维蛋白特性的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(6): 1019-1026.
FU Qian, SUN Ying, WANG Xinxin, et al. Effects of partial freezing on storage quality of chicken breast meat and characteristics of myofibrillar protein[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2021, 48(6): 1019-1026.
- [18] 丁大茗. 微冻贮藏对猪肉货架期和品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
DING Daming. Effect of slightly frozen storage on shelf life and quality of pork[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [19] 邹琼. 紫甘蓝微冻贮藏特性及工艺的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
ZOU Qiong. Study on characteristics and technology of slightly frozen storage of purple cabbage[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [20] 李余霞. 藕带的低温贮藏保鲜研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
LI Yuxia. Study on low temperature storage and preservation of lotus root[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [21] 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.
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Guidance on posthar-

- vest physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [22] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Microbiological examination of food Aerobic plate count: GB 4789.2—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [23] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Microbiological examination of food Enumeration of coliforms: GB 4789.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [24] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验: GB 4789.10—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Microbiological examination of food *Staphylococcus aureus* test: GB 4789.10—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [25] 张晶琳, 班兆军, 杨相政, 等. 不同间隔时间预冷对蒜薹贮藏期品质的影响[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2018, 37(5): 46-50, 55.
- ZHANG Jinglin, BAN Zhaojun, YANG Xiangzheng, et al. Effect of postharvest precooling at different interval on the quality of garlic bolt during storage[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2018, 37(5): 46-50, 55.
- [26] KAMAL-ELDIN A, GEORGE N, SOBTI B, et al. Dietary fiber components, microstructure, and texture of date fruits (*Phoenix dactylifera* L.)[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 21767.
- [27] 张琼琼, 魏佳, 张健, 等. 硫化氢熏蒸对无核白葡萄采后细胞壁及病害的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 277-283.
- ZHANG Qionqiong, WEI Jia, ZHANG Jian, et al. Effect of hydrogen sulfide fumigation on cell wall and disease of postharvest Thompson seedless grape[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(13): 277-283.
- [28] WANG F C, MI S, CHITRAKAR B, et al. Effect of cold shock pretreatment combined with perforation-mediated passive modified atmosphere packaging on storage quality of cucumbers[J]. Foods, 2022, 11(9): 1267.
- [29] WEI W W, LV P, XIA Q P, et al. Fresh-keeping effects of three types of modified atmosphere packaging of pine - mushrooms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132: 62-70.
- [30] ZHAO X X, XIA M, WEI X P, et al. Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 109: 207-215.
- [31] WANG N, FANG H X, YANG Q X, et al. Exogenous melatonin alleviated leaf yellowing via inhibiting respiration and ethylene biosynthesis during shelf life in pakchoi[J]. Plants, 2022, 11(16): 2102.
- [32] WANG T Y, LIU S J, TIAN S N, et al. Light regulates chlorophyll biosynthesis via ELIP1 during the storage of Chinese cabbage[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 11098.
- [33] 王海丹, 普红梅, 杨芳, 等. 不同贮藏温度下油麦菜品质变化及其货架期预测[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(15): 38-47.
- WANG Haidan, PU Hongmei, YANG Fang, et al. Quality changes and predictive modeling of shelf life of *Lactuca sativa* stored at different temperatures[J]. Food Research and Development, 2022, 43(15): 38-47.
- [34] 相启森, 张嵘, 范刘敏, 等. 大气压冷等离子体在鲜切果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 368-372.
- XIANG Qisen, ZHANG Rong, FAN Liumin, et al. Research progress of atmospheric cold plasma in fresh-cut fruits and vegetables preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 368-372.

责任编辑: 冯娜
收稿日期: 2024-01-15