

近冰温贮藏对真空包装鲜切莲藕色泽与 气味物质的影响

张宇娟^{1#}, 张周末^{1#}, 杨玉平^{2*}, 何建军¹, 范传会¹, 陈学玲^{1*}

(1. 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所 武汉 430064;
2. 武汉药品医疗器械检验所, 武汉 430075)

摘 要: **目的** 分析近冰温(0℃)贮藏对真空包装鲜切莲藕的色泽和气味物质的影响。**方法** 真空包装鲜切莲藕分别贮藏于 0、4、8℃, 在 0、2、4、6、8 d 测定其褐变度、色度、多酚氧化酶活性、总酚含量、气味物质等指标。**结果** 在贮藏期间, 鲜切莲藕的褐变度、色差、多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性、总酚含量与贮藏温度呈正相关。相同贮藏时间下, 0℃贮藏鲜切莲藕的褐变度、色差值、多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性、总酚含量最小。鲜切莲藕的挥发性气味物质有 68 种, 主要是醇类、烯类等。随着贮藏时间和温度增加, 醇类含量随之增多。**结论** 近冰温贮藏可以有效延缓鲜切莲藕的褐变, 保持色泽, 抑制酶活性, 降低异味物质产生, 能够较好地保持鲜切莲藕的品质。

关键词: 鲜切莲藕; 真空包装; 近冰温; 色泽; 气味物质

Effects of near freezing point storage on color and volatile substances of fresh-cut lotus root in vacuum packing

ZHANG Yu-Juan^{1#}, ZHANG Zhou-Wei^{1#}, YANG Yu-Ping^{2*}, HE Jian-Jun¹,
FAN Chuan-Hui¹, CHEN Xue-Ling^{1*}

(1. Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute for Farm Products Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. Wuhan Institute for Drug and Medical Device Control, Wuhan 430075, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the effects of near freezing point temperature (0℃) on color and odor of fresh-cut lotus root in vacuum packing during storage. **Methods** The fresh-cut lotus root in vacuum packaging was stored at 0, 4 and 8℃, respectively, and its browning degree, chroma, polyphenol oxidase activity, total phenol content and odor substances and others were measured at 0, 2, 4, 6 and 8 d. **Results** During storage, the browning

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0401301)、湖北省农业科学院青年基金项目(2020NKYJJ15)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0401301), and the Hubei Academy of Agricultural Sciences Youth Fund Project (2020NKYJJ15)

#张宇娟、张周末为共同第一作者

ZHANG Yu-Juan and ZHANG Zhou-Wei are Co-first Authors

*通信作者: 杨玉平, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: 280731104@qq.com

陈学玲, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬加工与贮藏。E-mail: 920025354@qq.com

*Corresponding author: YANG Yu-Ping, Master, Engineer, Wuhan Institute for Drug and Medical Device Control, No.666, Gaoxin Avenue, Hongshan District, Wuhan 430075, China. E-mail: 280731104@qq.com

CHEN Xue-Ling, Master, Associate Professor, Institute for Farm Products Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, No.5, Nanhu Avenue, Hongshan District, Wuhan 430064, China. E-mail: 920025354@qq.com

degree, color difference, polyphenol oxidase activity, peroxidase activity and total phenol content of fresh-cut lotus root were positively correlated with storage temperature. At the same storage time, the browning degree, color difference value, polyphenol oxidase activity, peroxidase activity and total phenol content of fresh-cut lotus root stored at 0°C were the smallest. There were 68 kinds of volatile substances in fresh-cut lotus root, mainly alcohols, alkenes, etc.. As the storage time and temperature increased, the alcohol compounds content increased. **Conclusion** The near freezing point temperature can effectively delay the browning of fresh-cut lotus root, maintain the color, inhibit enzyme activity, reduce the production of odor substances, and can maintain the quality of fresh-cut lotus root.

KEY WORDS: fresh-cut lotus root; vacuum packing; near freezing point; color; volatile substances

0 引言

鲜切莲藕具有新鲜、便捷、卫生等优点,近年来在餐饮、电商平台等领域畅销。但是,由于生长环境、机械加工、生产条件、生理等因素影响,鲜切莲藕在贮藏期间易褐变、腐败、产生异味等,商品性下降快,货架期缩短。因此,有关鲜切莲藕的护色、微生物控制等保鲜技术研究逐渐受到重视。抗坏血酸^[1]、1-甲基环丙烯^[2]、谷胱甘肽^[3]、混合保鲜剂^[4-5]、乙醇^[6]、单宁^[7]等已用于鲜切莲藕中,有助于抑制多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(peroxidase, POD)的活性,延缓鲜切莲藕的酶促褐变。动态酸性氧化电位水^[8]、ClO₂^[9]、海藻酸钠基涂层结合 L-半胱氨酸和柠檬酸^[10]等能有效杀灭鲜切莲藕中的微生物,在低温条件下能延长鲜切莲藕的贮藏期。使用草酸^[11]、乙烯^[12]、24-表油菜素内酯^[13]、发酵液^[14]等处理鲜切莲藕,可以提升产品品质。上述研究主要从化学角度控制鲜切莲藕褐变、杀灭或抑制微生物生长,提高鲜切莲藕的品质。化学保鲜技术因存在安全隐患、影响鲜切莲藕的风味,部分消费者难以接受。低温^[15]、气调包装^[16]、超声波^[17]、脉冲电场^[18]、超高压^[19]、联合物理技术^[20]等物理技术保鲜鲜切莲藕的研究逐渐展开。其中低温技术因安全、方便、操作简单等优点已广泛应用于鲜切莲藕的加工和贮运过程。

温度是影响鲜切果蔬品质的主要因素,低温可以降低代谢速率、抑制酶活、抑制微生物生长,有利于鲜切果蔬品质保持^[21-22],获得消费者普遍认可。近冰温技术是低温技术的拓展,在一些果蔬中表现出良好的保鲜效果^[23]。鲜切山药在-1.7°C下贮藏,延缓褐变,抑制 PPO 活性,维持低微生物水平,较好地保持鲜切山药的品质^[24]。-0.5°C贮藏抑制生菜的呼吸速率,减缓可溶性糖、总叶绿素含量的降低,抑制生菜自身代谢,提高其贮藏品质^[25]。鲜切西兰花在近冰温贮藏(-0.5°C±0.2°C),保持了质地,延缓了营养物质的损失、黄化以及乙烯释放,减少丙二醛的积累,提高鲜切西兰花的品质,延长了货架期^[26]。张鹏等^[27]在冰温条件下贮藏鲜切莲藕,发现冰温抑制鲜切莲藕的呼吸、乙烯生成、丙二醛积累,维持鲜切莲藕品质。目前,鲜切

莲藕近冰温贮藏技术的研究刚起步。

本研究以真空包装鲜切莲藕为研究对象,分析其在近冰温(0°C)条件下色泽和气味物质的变化规律,拟为鲜切莲藕货架期预测、护色保鲜技术研发等提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

莲藕:采于武汉市江夏区金水祺良有限公司莲藕种植基地,选择表面损伤小、无腐烂的新鲜莲藕。

30% H₂O₂、邻苯二酚、乙酸、乙酸钠、愈创木酚、聚乙二醇 6000、聚乙烯吡咯烷酮、甲氧基聚乙二醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);二氧化氯(食品级,北京华龙星宇科技发展有限公司)。

1.2 仪器与设备

7890A 气相色谱-质谱联用仪、DB-5 毛细管色谱柱(30 m×0.2 mm, 0.5 μm)(美国 Agilent 公司); DZD-600/2SE 真空包装机(燕诚神州食品机械北京有限公司); C5-580B 分光测色仪(杭州彩谱科技有限公司); 722N 紫外分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司); SQP 电子天平(精度 0.1 mg, 赛多利斯科学仪器北京有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 鲜切莲藕制备

将莲藕洗净后去皮,在 75 mg/L 的 ClO₂ 溶液中浸泡 10 min,沥干切片,厚约 5 mm。真空包装,每袋约 100 g。分别贮藏于 0、4、8°C 环境中。

1.3.2 褐变度

称取莲藕 5.0 g 于研钵中,加 20 mL 蒸馏水,冰浴研磨,匀浆,在 4°C 下 5000 r/min 离心 20 min,取上清液,在 25°C 水浴保温 5 min,在 410 nm 处测其吸光值。褐变度(browning index, BI)用 A₄₁₀×10 表示。重复 3 次。

1.3.3 色度

采用测色仪测定藕片表面亮度值(L*)、红度值(a*)和黄度值(b*),计算色差值(ΔE)[如公式(1)]。每组取 3 袋,每袋测定 6 片,每片测 6 个点。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

1.3.4 PPO 活性与 POD 活性

根据文献[28], 采用邻苯二酚法测 PPO 活性, 采用愈创木酚法测 POD 活性。

1.3.5 固相微萃取-气相色谱-质谱法测定气味物质

样品前处理: 取 3 g 莲藕样品置于 20 mL 顶空瓶中, 密封后置于 40℃水浴中平衡 30 min; 将萃取头插入顶空瓶中, 并将萃取头中的纤维伸出, 吸附萃取 40 min; 萃取完成后, 将萃取头中的纤维缩回并拔出, 再将萃取头插入气相色谱仪进样口, 解析 5 min, 并老化萃取头 20 min。

气相色谱条件: DB-5 毛细管色谱柱(30 m×0.2 mm, 0.5 μm); 载气为 He; 柱流速 1.0 mL/min; 不分流进样; 进样口温度 250℃; 升温程序为初始温度 35℃, 保持 5 min, 7℃/min 升温至 150℃, 5℃/min 升温至 230℃, 保持 5 min。

质谱条件: 离子源温度 250℃; 接口温度 230℃; 电离方式为 EI; 电子能量为 70 eV; 质量范围 35~350 amu。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2021 进行计算和绘图, 数据采用 3 次平行实验的平均值±标准偏差表示。使用 SPSS 26.0 对数据进行显著性分析, $P<0.05$ 表示显著性差异。

2 结果与分析

2.1 鲜切莲藕褐变度的变化

褐变度是果蔬中酚类物质被氧化成褐色物质的表现体现^[29], 其大小能够反映鲜切莲藕在贮藏过程中的褐变程度。由图 1 可知, 随着贮藏天数增加, 鲜切莲藕的褐变度逐渐增大, 且褐变度与贮藏温度呈正相关。在贮藏期间, 近冰温组(0℃)的褐变度最低, 4℃组的其次, 8℃组的最高。在鲜切山药^[24]、鲜切莲藕^[27]的贮藏温度研究中, 也得到相似的变化规律。贮藏 6~8 d, 3 组鲜切莲藕的褐变度上升趋势

势明显高于 0~6 d 期间的褐变度。莲藕在鲜切加工和贮藏过程中, 因酚类物质与氧气接触, 容易发生酶促褐变。近冰温不仅抑制酶促反应, 而且抑制果肉的冷害作用, 更有利于延缓鲜切莲藕褐变。

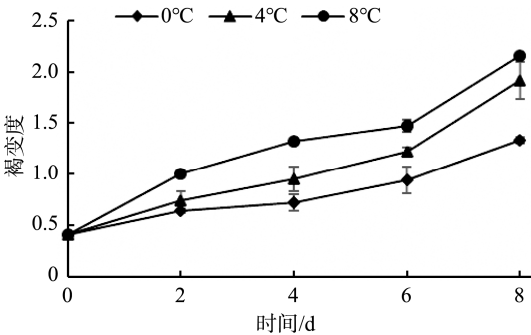


图 1 贮藏期间鲜切莲藕的褐变度
Fig.1 Browning degree of fresh-cut lotus root during storage

2.2 鲜切莲藕色度的变化

L^* 、 a^* 、 b^* 可以共同反映鲜切莲藕的表现色泽。色度的变化程度由 ΔE 来定量。不同温度贮藏鲜切莲藕的色度变化见表 1。由表 1 可知, 在贮藏期间, 3 组鲜切莲藕 L^* 整体上呈下降趋势, 且 L^* 与贮藏温度呈负相关。 ΔE 与贮藏温度呈正相关。随着贮藏时间增加, 鲜切莲藕 ΔE 呈升高趋势。与第 2 d 相比, 第 8 d 冰温组(0℃)的色差增加 138%, 4℃组增加 217%, 8℃组增加 247%。 a^* 和 b^* 的大小在贮藏期间有波动, a^* 整体呈下降趋势。同样地在冰温贮藏带皮节藕的研究中发现, -1℃贮藏的莲藕的 L^* 显著高于 4℃贮藏^[30]。可见, 近冰温贮藏有利于延缓鲜切莲藕的色泽劣变。

表 1 贮藏期间鲜切莲藕的色度
Table 1 Color of fresh-cut lotus root during storage

时间/d		温度/℃				
		0	2	4	6	8
L^*	0	55.20±0.50 ^b	61.40±0.29 ^a	51.66±1.93 ^c	43.09±0.45 ^d	40.38±0.55 ^e
	4	55.20±0.50 ^b	56.55±0.61 ^a	47.29±0.30 ^c	40.15±1.03 ^d	36.69±0.67 ^e
	8	55.20±0.50 ^b	55.48±0.80 ^a	45.55±1.30 ^b	36.22±1.96 ^c	33.94±0.96 ^d
a^*	0	0.63±0.80 ^b	0.33±0.15 ^b	1.95±1.41 ^a	0.24±0.15 ^b	0.97±0.59 ^{ab}
	4	0.63±0.08 ^{bc}	0.11±0.14 ^c	0.86±0.31 ^b	0.54±0.19 ^{bc}	2.93±0.57 ^a
	8	0.63±0.08 ^b	-0.14±0.10 ^c	0.51±0.27 ^b	0.34±0.19 ^b	1.49±0.45 ^a
b^*	0	5.12±0.92 ^{a^b}	5.60±0.86 ^{ab}	6.89±1.73 ^a	4.36±0.31 ^b	3.76±0.48 ^b
	4	5.12±0.92 ^b	3.72±0.43 ^{b^c}	5.27±0.48 ^b	2.05±1.81 ^c	10.43±2.02 ^a
	8	5.12±0.91 ^{ab}	5.31±0.88 ^{ab}	3.15±0.33 ^b	3.60±0.97 ^b	6.88±1.84 ^a
ΔE	0	0	6.27±0.56 ^c	3.98±2.01 ^d	12.19±0.75 ^b	14.94±0.97 ^a
	4	0	6.14±0.48 ^d	7.94±0.61 ^c	15.38±1.34 ^b	19.46±1.34 ^a
	8	0	6.15±0.49 ^c	9.67±1.36 ^b	20.06±1.01 ^a	21.37±0.59 ^a

注: 不同小写字母表示每一行不同列具有显著性差异($P<0.05$)。

2.3 鲜切莲藕 PPO 活性的变化

果蔬中 PPO 可将酚类物质氧化成醌, 醌聚合后形成有色物质, 引起果蔬褐变。果蔬的褐变随着 PPO 活性增加而增加^[30]。由图 2 可知, 贮藏 0~8 d, 鲜切莲藕的 PPO 活性呈先上升后降低的趋势, 且温度越高 PPO 活性越大。鲜切莲藕的 PPO 活性在第 4 d 达到峰值, 可能是因为切分导致莲藕大量组织细胞与氧气接触, 导致 PPO 活性在短时间内迅速增长。鲜切莲藕的褐变以酶促褐变为主, 其中 PPO 是莲藕酶促褐变的关键性酶之一。PPO 活性上升时, 莲藕褐变加快。在贮藏期间, 近冰温贮藏的鲜切莲藕的 PPO 活性一直低于其他 2 组, 更有效地抑制酶促褐变。

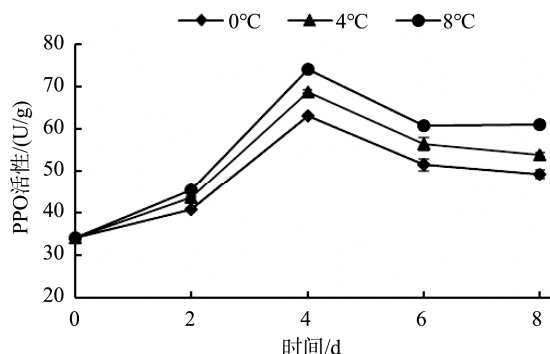


图 2 贮藏期间鲜切莲藕的 PPO 活性
Fig.2 PPO activity of fresh-cut lotus root during storage

2.4 鲜切莲藕 POD 活性的变化

果蔬中 POD 先与其中 H_2O_2 发生反应, H_2O_2 释放的 O_2 氧化酚类物质形成醌, 进一步聚合形成黑褐色物质导致果蔬褐变^[2]。因此, 鲜切莲藕的 POD 活性影响其褐变反应。由图 3 可知, 随着贮藏天数的增加, 鲜切莲藕 POD 活性逐渐增大。贮藏温度越高, 鲜切莲藕 POD 活性越大。贮藏 8 d 时, 近冰温组、4°C 组、8°C 组的 POD 活性分别提高 64.8%、79.7%、172.2%。POD 参与酚类物质的氧化, 在果蔬褐变中发挥重要作用。当贮藏温度高于冰点, 温度越低, POD 活性也越低。由此可见, 近冰温明显抑制 POD 活性, 有利于减缓鲜切莲藕褐变。

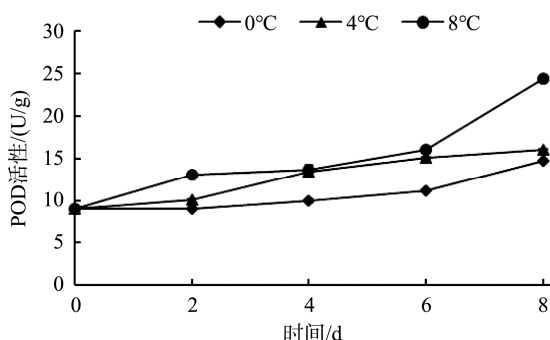


图 3 贮藏期间鲜切莲藕的 POD 活性
Fig.3 POD activity of fresh-cut lotus root during storage

2.5 鲜切莲藕总酚含量的变化

酚类是果蔬酶促褐变的底物, 影响鲜切果蔬的色泽, 还会导致果蔬的口感、风味等发生变化^[30]。贮藏期间鲜切莲藕总酚含量的变化见图 4。由图 4 可知, 随着贮藏时间增加, 3 组鲜切莲藕的总酚含量均增加。总酚含量与贮藏温度呈正相关。近冰温组的总酚含量低于其他 2 组。与第 0 d 相比, 贮藏 6 d 时近冰温组的总酚含量增加 68.6%, 而 4°C 组的增加 198.9%, 8°C 组的增加 274.9%。在贮藏期间, 作为酶促褐变的底物, 鲜切莲藕总酚的含量逐渐增加, 不利于抑制酶促褐变反应。但是, 近冰温贮藏的鲜切莲藕酚类物质含量显著低于其他 2 组, 能缓解鲜切莲藕总酚的氧化进程。且近冰温抑制 PPO 和 POD 活性, 使得其褐变度、色差增加的幅度最小。

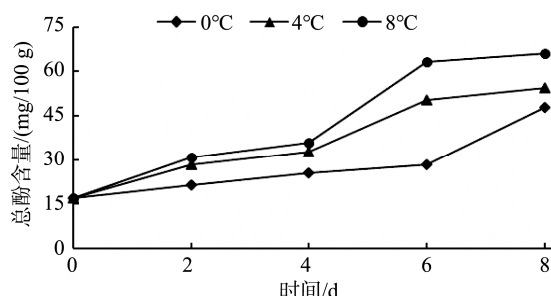


图 4 贮藏期间鲜切莲藕总酚含量
Fig.4 Total phenolic content of fresh-cut lotus root during storage

2.6 鲜切莲藕挥发性物质的变化

通过鲜切莲藕的挥发性物质可判断其气味品质。经气相色谱-质谱仪分析得到近冰点贮藏鲜切莲藕的挥发性物质成分, 见表 2。已鉴定出 68 种挥发性物质成分, 主要包括醇类 18 种、烯类 11 种、酮类 8 种、醚类 5 种、醛类 7 种、烷烃类 7 种及其他类 12 种。在贮藏期间, 近冰点贮藏鲜切莲藕中其挥发性物质变化比较明显。由表 3 可知, 各组挥发性物质中醇类物质的种类最多且相对含量最高。醇类物质的含量与温度、时间呈正相关。可能是因为鲜切莲藕在真空包装中, 因缺氧发生酵解, 引起醇类物质含量上升。醇类物质的种类和含量达到一定范围, 会产生不受欢迎的气味, 引起鲜切莲藕品质下降。鲜切莲藕的挥发性成分复杂, 不同温度、不同时间的相对含量差异较大。

3 结 论

由于微生物污染、酶促褐变、异味产生和色泽劣变等因素, 导致鲜切果蔬的品质下降、货架期缩短^[31-32]。其中酶促褐变是影响鲜切莲藕品质和货架期的关键因素^[11]。研究发现, 在抑制 PPO 和 POD 活性、降低褐变度和控制色差等方面, $0^{\circ}\text{C} > 4^{\circ}\text{C} > 8^{\circ}\text{C}$; 不同的低温对鲜切莲藕的色泽影响较大, 以近冰温对鲜切莲藕的护色效果最好。气味是鲜切

表 2 0℃贮藏鲜切莲藕的挥发性物质
Table 2 Volatile substances in fresh-cut lotus root at 0℃

种类	序号	挥发性化合物名称	保留时间 /min	峰面积				
				0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
醇类	1	乙醇	9.586	61.7882	44.795	44.061	59.2356	48.7856
	2	环丁醇	3.990	0.3735	-	-	-	-
	3	正己醇	19.833	0.8695	0.6216	0.9436	0.3630	0.7034
	4	正丙醇	12.432	1.5222	2.0709	1.5081	0.9551	0.9883
	6	异丁醇	13.975	1.2572	0.8314	1.0610	1.2811	0.8168
	7	1-丁醇	15.528	10.5499	7.3880	6.4861	2.3619	1.5690
	8	桉叶油醇	16.546	0.0818	-	-	-	-
	9	戊醇	16.845	1.0852	-	-	-	-
	10	3-甲基-1-丁醇	16.899	6.0804	3.8197	5.9844	4.0965	5.1534
	11	1,3,3-三甲基双环[2,2,1]庚-2-醇	24.436	0.3130	0.1397	0.2636	0.1758	0.0338
	12	α -松油醇	26.621	0.2450	0.0506	0.1228	-	-
	13	二甲基苜蓿基原醇	27.275	0.1470	0.0205	-	0.0358	-
	14	苯甲醇	30.109	0.9538	0.0659	0.1008	-	-
	15	3,6,9,12-四氧十四烷-1-醇	41.776	-	-	0.0377	0.0115	0.2858
	16	正戊醇	17.633	-	0.5190	0.5863	-	0.7541
	17	仲丁醇	11.994	-	-	0.2120	-	-
	18	庚醇	21.816	-	-	-	0.07	-
烯类	1	蒎烯	11.793	0.7688	-	-	2.8157	1.2538
	2	蒎烯	12.965	0.1466	-	0.0701	0.2265	0.1016
	3	罗汉柏烯	23.036	0.0599	0.1080	0.1608	0.0340	-
	4	长叶烯	24.496	1.1330	2.3430	3.4201	-	-
	5	柠檬烯	15.921	0.0759	-	0.0650	0.0698	-
	6	环辛四烯	17.588	0.0486	-	-	-	-
	7	(+)- α -长叶蒎烯	22.287	0.0318	0.0805	0.1980	-	-
	8	双戊烯	16.204	-	0.0199	-	-	-
	9	1-石竹烯	25.035	-	0.2420	0.0855	-	-
	10	左旋- α -蒎烯	11.817	-	-	0.6687	-	-
	11	3-十二碳烯(Z)	24.092	-	-	-	0.0201	-
酮类	1	1,3,3-三甲基-二环[2,2,1]庚-2-酮	24.436	0.2953	0.0681	0.1615	0.1038	-
	2	2-丁酮	8.511	0.1410	-	-	-	-
	3	4-羟基-2-丁酮	8.220	-	0.0469	-	0.4947	-
	4	甲基庚烯酮	19.508	-	0.0309	-	0.0366	-
	5	2-庚酮	15.975	-	-	-	0.0963	0.0716
	6	3-羟基-2-丁酮	18.610	-	-	-	-	7.1126
	7	2-蒎酮	23.509	-	0.1169	-	-	-
	8	4,6,6-三甲基二环[3,1,1]庚-3-烯-2-酮	24.292	-	-	0.0484	-	-
醚类	1	15-冠醚-5	37.660	-	0.0104	0.4955	0.3973	0.3950
	2	六甘醇单十二醚	42.102	-	0.0015	-	-	-
	3	三乙二醇单乙醚	36.991	-	-	-	-	0.0346
	4	12-冠醚-4	34.984	-	-	0.084	0.0533	-
	5	八(乙二醇)-(十二烷基)醚		-	-	-	0.0354	-

表 2(续)								
种类	序号	挥发性化合物名称	保留时间 /min	峰面积				
				0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
醛类	1	异丁醛	6.588	0.0182	-	-	-	-
	2	苯甲醛	23.436	0.1674	0.0159	0.0308	-	0.0117
	3	3-甲基丁醛	8.972	-	0.0208	-	0.0976	-
	4	乙醛	5.165	-	-	0.8443	0.9132	1.4372
	5	己醛	13.412	-	-	-	-	0.1397
	6	壬醛	20.663	-	-	-	-	0.0565
	7	2-甲基丁醛	8.872	-	-	-	-	0.5450
烷烃类	1	2-氨基丁烷	4.360	-	-	0.6972	1.6394	-
	2	2,2-二甲基己烷	4.934	-	15.0502	-	-	-
	3	异辛烷	5.338	-	1.5635	-	-	-
	4	1,4,7,10,13,16-六氧杂环十八烷	35.245	-	0.0030	0.044	0.5318	0.3949
	5	2-氨基丁烷	4.085	0.1953	-	-	-	-
	6	正戊烷	4.358	-	-	-	3.3461	-
	7	三氯甲烷	11.745	-	0.0291	-	-	-
其他	1	樟脑	23.507	0.0182	-	0.2035	0.0929	0.0363
	2	萘	27.197	0.1674	-	-	-	-
	3	5-异丙基-2-甲基苯酚	35.536	0.1953	-	-	-	-
	4	二甲基硫	5.676	-	-	-	0.6313	1.0471
	5	3-羟基四氢呋喃	8.890	-	0.0046	-	-	-
	6	二甲基硫醚	5.673	-	1.7320	2.0208	-	-
	7	乙酸乙酯	8.220	-	0.2007	18.3646	-	2.9647
	8	二甲基亚砷	24.768	-	0.0092	-	-	-
	9	4-溴-3-氯苯胺	22.573	-	0.0037	-	-	-
	10	3-乙基邻二甲苯	18.008	-	-	0.0864	-	-
	11	1-(苯基磺酰基)吡咯	25.647	-	-	0.0625	-	-
	12	氨基甲酸苄酯	30.123	-	-	-	0.0410	-

注: -表示未检出, 下同。

表 3 鲜切莲藕的挥发性物质相对含量(%)								
Table 3 Relative content of volatile substances in fresh-cut lotus root (%)								
时间/d	温度/℃	醇类	烯类	酮类	醚类	醛类	烷烃类	其他类
0	0	53.1784	2.2646	0.4363	-	0.1856	0.1953	1.7186
	4	53.1784	2.2646	0.4363	-	0.1856	0.1953	1.7186
	8	53.1784	2.2646	0.4363	-	0.1856	0.1953	1.7186
2	0	60.3223	2.7934	0.2628	0.2747	0.0367	16.6458	3.9004
	4	63.6588	1.0807	0.284	1.5263	0.1856	0.7432	2.6549
	8	70.6551	4.2390	0.1055	0.4200	3.4498	-	3.2039
4	0	61.3674	4.6682	0.1615	0.6279	0.8751	3.1886	20.7378
	4	66.0776	4.1900	0.1373	0.1699	1.2734	3.4426	9.7087
	8	71.9075	3.7914	3.6233	34.3128	-	-	0.5803
6	0	68.5163	0.0201	1.2552	0.4860	1.0108	5.5173	0.7652
	4	68.6931	-	16.0806	1.0525	1.3707	0.2510	10.4519
	8	72.0514	2.3572	4.9484	0.3886	0.2856	0.2829	4.7550
8	0	69.0902	1.3554	7.1842	7.6138	1.9939	0.5911	4.0481
	4	70.9098	1.2391	0.1055	0.5007	0.8994	0.5590	3.4720
	8	75.3456	1.4387	1.4502	0.2079	0.6313	0.1890	2.4313

莲藕的重要感官品质,挥发性物质的种类和含量均受贮藏温度的影响;真空包装袋内的微环境缺氧,导致鲜切莲藕产生令人不愉快的气味物质,这种物质以醇类为主;醇类物质在近冰温贮藏真空包装鲜切莲藕中的含量是最低的。因此,与 4、8℃相比,近冰温更适于鲜切莲藕的保鲜,可进一步提高其色泽和气味品质,延长货架期。

但是,近冰温技术在鲜切莲藕应用和研究仍较缺乏。本研究只探究了莲藕的切片,不同切割方式对鲜切莲藕品质影响较大^[33],鲜切的莲藕丝、莲藕丁等加工品近冰温研究还未开展。莲藕中酚类物质包括酚酸、黄酮、花青素和黄烷醇等^[34],它们在近冰温贮藏的鲜切莲藕中分布情况以及对褐变的影响,尚需深入研究。近冰温贮藏真空包装或常压包装鲜切莲藕的硬度、脆性等质构特性,营养成分和特征性气味物质,微生物污染、新鲜度指示和货架期预测等方面的研究,还有待进一步探讨。

参考文献

- [1] 焦小华,王艳颖,金峰,等.抗坏血酸对鲜切莲藕品质的影响[J].现代园艺,2020,43(19):34–35,37.
JIAO XH, WANG YY, JIN F, *et al.* Effect of ascorbic acid on the quality of fresh-cut lotus root [J]. *Contemp Horticult*, 2020, 43(19): 34–35, 37.
- [2] CHEN JH, XU YH, YI Y, *et al.* Regulations and mechanisms of 1-methylcyclopropene treatment on browning and quality of fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices [Z]. 2022.
- [3] ALI S, KHAN AS, NAWAZ A, *et al.* Glutathione application delays surface browning of fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices during low temperature storage [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2023, 200: 112311.
- [4] 范传会,陈学玲,何建军,等.混合保鲜剂浸泡对新鲜莲藕冷藏保鲜过程中色泽和气味的影响[J].现代食品科技,2019,35(12):47–53.
FAN CH, CHEN XL, HE JJ, *et al.* Effects of different preservatives on color and smell of fresh Lotus rhizome during cold storage [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2019, 35(12): 47–53.
- [5] 魏舒楠,韩延超,刘瑞玲,等.鲜切莲藕复合保鲜剂的优化及保鲜效果研究[J].核农学报,2022,36(5):978–987.
WEI SN, HAN YC, LIU RL, *et al.* Study on the optimization of compound preservative for fresh-cut lotus root and its fresh-keeping effect [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2022, 36(5): 978–987.
- [6] XU YH, BAO YQ, CHEN JH, *et al.* Mechanisms of ethanol treatment on controlling browning in fresh-cut lotus roots [J]. *Sci Hortic*, 2023, 310: 111708.
- [7] LIU XL, CHEN T, WANG Q, *et al.* Structure analysis and study of biological activities of condensed tannins from *Bruguiera gymnorhiza* (L.) lam and their effect on fresh-cut lotus roots [J]. *Molecules*, 2021, 26: 1369.
- [8] 张华,董月强,袁博,等.酸性氧化电位水对鲜切莲藕品质的影响[J].食品研究与开发,2015,36(9):84–87.
ZHANG H, DONG YQ, YUAN B, *et al.* Effect of acidic oxidizing potential water on the quality of fresh-cut lotus root [J]. *Food Res Dev*, 2015, 36(9): 84–87.
- [9] 张艳明,张开晨.二氧化氯对鲜切莲藕杀菌护色作用的研究[J].农产品加工,2016,8:19–20.
- [10] ZHANG YM, ZHANG KC. Study on the color of the lotus root sterilization of fresh cut chlorine dioxide [J]. *Farm Prod Process*, 2016, 8: 19–20.
- [10] GOUDA MHB, ZHANG CJ, PENG SJ, *et al.* Combination of sodium alginate-based coating with L-cysteine and citric acid extends the shelf-life of fresh-cut lotus root slices by inhibiting browning and microbial growth [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2021, 175: 111502.
- [11] ALI S, KHAN AS, ANJUM MA, *et al.* Effect of postharvest oxalic acid application on enzymatic browning and quality of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices [J]. *Food Chem*, 2020, 312: 126051.
- [12] WANG HY, CHEN JH, YI Y, *et al.* Regulation and mechanism of ethylene treatment on storage quality of fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices [J]. *Sci Hortic*, 2023, 313: 111900.
- [13] GAO H, CHAI HK, CHENG N, *et al.* Effects of 24-epibrassinolide on enzymatic browning and antioxidant activity of fresh-cut lotus root slices [J]. *Food Chem*, 2017, 217: 45–51.
- [14] ZHANG L, YU XJ, YAGOUR AEA, *et al.* Effect of vacuum impregnation assisted probiotics fermentation suspension on shelf life quality of freshly cut lotus root [J]. *Food Chem*, 2022, 381: 132281.
- [15] 周白雪,谢君,包垠秋,等.低温贮藏对莲藕酚类物质组成的影响[J].江苏农业科学,2019,47(1):189–191.
ZHOU BX, XIE J, BAO YQ, *et al.* Effect of low temperature on phenolic composition of lotus root during storage [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2019, 47(1): 189–191.
- [16] 李栋,占智豪,周心悦,等.高浓度二氧化碳气调抑制鲜切莲藕酶促褐变的机制[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(1):101–110.
LI D, ZHAN ZH, ZHOU XY, *et al.* Mechanism of the inhibition of elevated CO₂ atmosphere on enzymatic browning of fresh-cut lotus roots [J]. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci Ed)*, 2020, 46(1): 101–110.
- [17] 刘晓燕,秦文,唐廷廷,等.超声波和臭氧对鲜切莲藕褐变的影响及褐变模型的建立[J].分子植物育种,2019,17(22):7513–7520.
LIU XY, QIN W, TANG TT, *et al.* Effects of ultrasonic and ozone on the browning of fresh-cut lotus and the establishment of browning model [J]. *Mol Plant Breed*, 2019, 17(22): 7513–7520.
- [18] 李家珩.脉冲电场预处理对鲜切莲藕片加工特性影响的研究[D].镇江:江苏大学,2021.
LI JH. Effects of pulsed electric field pretreatment on processing characteristics of fresh-cut lotus root slices [D]. *Zhenjiang: Jiangsu University*, 2021.
- [19] 侯会绒,孙兆远,孔令伟,等.超高压对鲜切莲藕中多酚氧化酶特性的影响[J].食品工业,2017,38(12):77–81.
HOU HR, SUN ZY, KONG LW, *et al.* Effects of ultra-high pressure processing on polyphenol oxidase of fresh-cut lotus [J]. *Food Ind*, 2017, 38(12): 77–81.
- [20] 罗丽,王顺民,徐为雯,等.超声-热处理鲜切莲藕贮藏期间品质变化的研究[J].食品与发酵工业,2022,48(24):203–210.
LUO L, WANG SM, XU WW, *et al.* Study on the quality change of fresh-cut lotus root during storage with ultrasound-heat treatment [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(24): 203–210.
- [21] 高佳,唐月明,罗芳耀,等.几种常见货架温度下鲜切山药品质变化规律[J].食品与发酵工业,2022,48(6):98–102.
GAO J, TANG YM, LUO FY, *et al.* Quality changes of fresh-cut yams

- under different shelf-life temperatures [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(6): 98–102.
- [22] 王杰, 索慧敏, 韩育梅. 温度对鲜切马铃薯品质影响及货架期预测模型的建立[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(8): 94–100.
- WANG J, SUO HM, HAN YM. Influence of temperature on quality of fresh-cut potatoes and the establishment of shelf-life prediction model [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2022, 37(8): 94–100.
- [23] LIU BD, JIAO WX, WANG BG, *et al.* Near freezing point storage compared with conventional low temperature storage on apricot fruit flavor quality (volatile, sugar, organic acid) promotion during storage and related shelf life [J]. Sci Hortic, 2019, 249: 100–109.
- [24] 马卓云, 于潇潇, 杨舒乔, 等. 冰温贮藏对鲜切山药品质的影响及货架期的预测[J]. 农产品加工, 2021, 1: 4–9.
- MA ZY, YU XX, YANG SQ, *et al.* Effect of ice temperature storage technology on quality of fresh-cut yam and shelf life prediction [J]. Farm Prod Process, 2021, 1: 4–9.
- [25] 唐坚. 生菜的冰温保鲜及微生物预测模型的初步建立[D]. 上海: 上海师范大学, 2015.
- TANG J. Freezing-point storage of lettuce and the preliminary establishment of prediction model of microorganisms [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2015.
- [26] 高雪, 杨绍兰, 王然, 等. 近冰温贮藏对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 140–146.
- GAO X, YANG SL, WANG R, *et al.* Effect of near freezing point on preservation of fresh-cut broccoli [J]. J Chin Ins Food Sci Technol, 2013, 13(8): 140–146.
- [27] 张鹏, 颜碧, 贾晓昱, 等. 精准温度处理对鲜切莲藕褐变、生理和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 347–354.
- ZHANG P, YAN B, JIA XY, *et al.* Effects of precise temperature treatment on Browning, physiology and quality of fresh-cut lotus root [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(16): 347–354.
- [28] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.
- CAO JK, JIANG WB. Guidance of physiological and biochemical experiment of fruits and vegetables after harvest [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2017.
- [29] 景艳艳. 杨桃过氧化物酶及其活性变化的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- JING YY. Study on averrhoa carambola peroxidase and its activity change [D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [30] 陈锦辉, 漆欣, 易阳, 等. 冰温贮藏延缓莲藕的品质劣变[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 136–144.
- CHEN JH, QI X, YI Y, *et al.* Delaying the quality deterioration of lotus roots by freezing storage [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(6): 136–144.
- [31] 刘晓燕. 鲜切莲藕保鲜技术及货架期预测模型的建立[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- LIU XY. Fresh-keeping technology of fresh-cut lotus root and establishment of shelf life prediction model [D]. Yaan: Sichuan Agric University, 2018.
- [32] LARA, G, YAKOUBI, S, VILLACORTA CM, *et al.* Spray technology applications of xanthan gum-based edible coatings for fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera*) [J]. Food Res, 2020, 137: 109723.
- [33] 毛林莉, 闵婷, 胡铭文, 等. 4 种不同切割方式对鲜切莲藕品质和抗氧化性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 8118–8127.
- MAO LL, MIN T, HU MW, *et al.* Effects of 4 kinds of different cutting methods on the quality and antioxidant activity of fresh-cut *Nelumbo nucifera* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(24): 8118–8127.
- [34] 鲁亚君, 黄文, 王益, 等. 莲不同部位的多酚纯化鉴定及生物活性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 520–528.
- LU YJ, HUANG W, WANG Y, *et al.* Research progress on purification and identification and biological activity of polyphenol in different parts of the *Nelumbo nucifera* Gaertn [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(2): 520–528.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



张宇娟, 实习研究员, 主要研究方向为果蔬加工与贮藏。
E-mail: 1971631666@qq.com



张周末, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为果蔬加工与贮藏。
E-mail: 656830325@qq.com



杨玉平, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: 280731104@qq.com



陈学玲, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬加工与贮藏。
E-mail: 17810686@qq.com