

3种不同保鲜方法对香椿贮藏期间挥发性风味成分的影响

林少华¹, 崔梦娇², 陈存坤³, 张慧杰⁴, 贾红亮¹, 罗红霞^{1*}, 邓毛程^{2*}, 许文涛⁵

(1. 北京农业职业学院食品与生物工程系, 北京 102442; 2. 广东轻工职业技术学院食品与生物技术学院, 广东高校特色调味品工程技术开发中心, 广州 510300; 3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 4. 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 食品营养与安全省部共建教育部重点实验室, 天津 300457; 5. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 食品营养与人类健康高精尖创新中心, 北京 100083)

摘要: 香椿风味独特、营养丰富, 但季节性强、含水量高, 容易腐烂变质, 利用紫外照射(ZW)、1-甲基环丙烯(1-MCP)和乙烯吸收剂(EA)并分别结合聚氯乙烯膜(PVC)对香椿进行保鲜处理。结果表明, 3种不同保鲜处理的香椿的噻吩类相对含量最高, 为46.41%~77.05%。随着贮藏时间的增加, 酸类和醛类物质的相对含量增加较快。PVC+ZW处理组的顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩和反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量比其他处理组高, 而且下降速度较慢。因此, 紫外照射能够提升香椿特征风味的相对含量, 并延缓其降低。

关键词: 香椿; 保鲜; 品质; 挥发性风味成分

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)06-1062-07

Effects of three different preservation methods on volatile flavor components of *Toona sinensis* during storage

LIN Shaohua¹, CUI Mengjiao², CHEN Cunkun³, ZHANG Huijie⁴,
JIA Hongliang¹, LUO Hongxia¹, DENG Maocheng², XU Wentao⁵

(1. Department of Food and Biological Engineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442; 2. The Center of Guangdong Higher Education for Engineering and Technological Development of Specialty Condiments, College of Food Engineering and Biotechnology, Guangdong Industry Polytechnic, Guangzhou 510300; 3. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384; 4. State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457; 5. Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: *Toona sinensis* has unique flavor and rich nutrition, but it has strong seasonality, high water content and is easy to rot and deteriorate, therefore, we tried to use ultraviolet irradiation (ZW), 1-methylcyclopropylene (1-MCP) and ethylene absorbent (EA) to preserve *Toona sinensis* with polyvinyl chloride (PVC) film, respectively. The results showed that the relative content of thiophene in *Toona sinensis* treated with three different preservation treatments was the highest, ranging from 46.41% to 77.05%. With the increase of storage time, the relative contents of acids and aldehydes increased rapidly. The relative contents of *cis*-2-Mercapto-3,4-dimethyl-2, 3-dihydrothiophene and *trans*-2-Mercapto-3, 4-dimethyl-2, 3-dihydrothiophene in PVC + ZW treatment group were higher than those in other treatment groups and decreased slower. In conclusion, ultraviolet irradiation can increase the relative content of characteristic flavor in *Toona sinensis* and delay its reduction.

Key words: *Toona sinensis*; preservation; quality; volatile flavor components

新鲜的果蔬都能呈现特有的怡人芳香, 消费者对新鲜果蔬的风味也非常敏感, 任何风味的变化都

收稿日期: 2019-03-07

基金项目: 2018年北京市支农资金农业科技示范推广项目(20180287), 2018年万人计划教学名师特殊支持项目和天津市林果产业技术体系(ITTFPRS2018009)共同资助。

共同第一作者简介: 林少华, 讲师。E-mail: lsh_hp@sina.com; 崔梦娇, 助教。E-mail: 2015002068@gdip.edu.cn

* 通信作者: 罗红霞, 博士, 教授。E-mail: hongxiajun@163.com; 邓毛程, 博士, 教授。E-mail: 2003102018@gdip.edu.cn

会与不新鲜或者腐烂变质联系起来^[1]。果蔬的风味与挥发性化合物的组成呈正相关关系, 挥发性风味成分的变化也是评价新鲜果蔬贮藏品质的一个非常重要的指标^[2]。因此, 分析和研究贮藏期间挥发性风味成分的变化十分必要。挥发性风味成分的萃取方法有蒸馏法、蒸馏-萃取法、超临界 CO₂ 流体萃取法和顶空固相微萃取法 (HS-SPME)。其中, 顶空固相微萃取法因重现性好和效率高, 已广泛用于果蔬挥发性风味成分的萃取^[3-4]。

香椿 (*Toona sinensis*) 又名椿芽, 作为一种中国特有的木本蔬菜, 具有独特的风味及营养保健功效, 深受广大消费者的青睐, 是一种名副其实的绿色蔬菜^[5]。然而, 香椿季节性强, 嫩芽水分含量高, 采后呼吸旺盛, 容易发生萎蔫、脱叶和腐烂等现象, 在常温下放置 2~3 d 已基本失去商品价值, 贮藏和运输的难度较大, 严重制约了香椿产业的发展^[6]。近年来, 研究者们采用了气调保鲜包装^[7]、生物保鲜剂^[8]以及减压技术^[9]等不同的保鲜处理方式进行香椿保鲜试验, 但这些研究多集中在失重率、理化指标和酶活性的分析, 对这些处理下香椿风味变化的分析较少, 李聚英等研究发现香椿特征香气在贮藏期间的变化与温度成反比, 即温度越高, 特征香气下降越快^[10]。但是缺少其他不同保鲜方法处理下的香椿在贮藏期间的风味变化。

近年来, 紫外照射^[11]、1-甲基环丙烯^[12]和乙烯吸收剂^[13]等保鲜方法对延缓果蔬采后腐烂变质方面具有明显的效果。本课题组在研究聚氯乙烯 (PVC) 保鲜膜及其与紫外 (ZW) 照射结合、与 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 结合、与乙烯吸附剂 (EA) 结合的保鲜处理对香椿贮藏品质影响 (另文发表) 及微生物多样性变化 (另文发表) 时发现, PVC+ZW 处理的香椿能够有效地改善香椿贮藏的品质, 降低微生物的数量和多样性, 从而延长香椿的贮藏期, 但是这 3 种处理对香椿在贮藏期间的挥发性成分的变化仍不清楚。因此, 作者以香椿为原料, 采用顶空固相微萃取法, 利用气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用技术对 3 种不同保鲜方法贮藏的香椿的挥发性成分进行对比分析, 以期延长香椿的货架期、保证其贮藏品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

香椿, 北京市门头沟区雁翅镇苇子水村; 1-MCP, 陕西咸阳西秦生物公司, 每袋净含量 0.3 g; 乙烯吸收剂 (EA), 山西省农业科学院, 每袋净含

量 8 g, 有效成分为高锰酸钾 (质量分数 $\geq 10\%$); PVC 膜, 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 厚度 0.01 mm, 伸长率 365.525%, 抗张强度 13.005 MPa, 透气性 $6.066\ 35 \times 10^{-3}\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1}$, 透湿率 $61.82\ \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪 (Trace DSQ), 美国 Finnigan 公司; INERTCAP PURE-WAX 色谱柱 (0.25 mm \times 0.25 μm \times 30 m), 岛津企业管理 (中国) 有限公司; CAR/DVB/PDMS 萃取头和固相微萃取手柄, 美国 Supleco 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 挑选新鲜、无病虫害、成熟度和大小基本一致的香椿随机分为 5 组, 每组重量为 400 g, 分别进行以下处理: ①CK 组 (对照组), 不做任何保鲜处理; ②PVC 组, 选用 0.01 mm 厚度的 PVC 膜包裹; ③PVC+ZW 组, 在 PVC 膜包裹的条件下, 每隔 10 d 紫外照射 1 次, 灯管功率为 40 W, 强度为 $375\ \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$, 时间为 10 min; ④PVC+1-MCP 组, 在 PVC 膜包裹的条件下, 加入 1 包 1-MCP, 质量比为 3/4 000 (W/W); ⑤PVC+EA 组, 在 PVC 膜包裹的条件下, 加入 1 包 EA, 质量比为 1/50 (W/W)。所有处理组均置于温度为 $(1 \pm 0.5)\ ^\circ\text{C}$, 湿度为 $(90 \pm 5)\ %$ 的冷库中贮藏, 设置 3 次重复, 取样时间分别为 0、10、20 和 30 d。

1.3.2 挥发性成分的测定 参考 Liu 等^[14]的方法, 采用 HS-SPME 和 GC-MS 联用法进行测定。将每次取的样品匀浆破碎后以 $8\ 000 \times g$ 的速度离心 15 min, 然后过滤。将 8 mL 上清液转移到顶空瓶中, 并加入 2.5 g 氯化钠, 在转速为 $600\ \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的磁力加热搅拌器中充分混匀, 然后将固相微萃取头插入顶空瓶中, 萃取头离液面的距离约 1 cm 的顶空部分, 30 min 后拔出吸附了挥发性风味成分的萃取头, 立即插入 GC-MS 不分流进样口, $250\ ^\circ\text{C}$ 解吸 5 min。

设定的气相色谱条件为, 程序升温: $50\ ^\circ\text{C}$ 保持 1 min, 然后以 $5\ ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 $140\ ^\circ\text{C}$, 再以 $10\ ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 $250\ ^\circ\text{C}$, 保持 10 min。传输线温度为 $250\ ^\circ\text{C}$ 。载气为氦气, 流速为 $1\ \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 不分流。质谱条件: 连接杆温度为 $280\ ^\circ\text{C}$, 电离方式为 EI, 离子源温度为 $200\ ^\circ\text{C}$, 扫描范围 35~600 amu。

1.4 数据处理

检测结果与 NIST/WILEY 标准谱库进行比对, 并用峰面积归一法测算各挥发性物质的相对含量。数据采用 Excel 2013 软件处理, 采用 SPSS 20.0 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 3种不同保鲜处理对香椿挥发性成分的影响

采用 HS-SPME 和 GC-MS 分析 3 种不同保鲜方

法处理的香椿在不同贮藏时间下的挥发性成分相对含量的变化, 结果如表 1 所示。3 种不同保鲜方法一共检测出 63 种挥发性成分, 主要包括 12 大类, 分别为硫醚类、硫醇类、呋喃类、烯类、酯类、酮

表 1 3种不同保鲜处理的香椿在贮藏期间挥发性成分鉴定结果

Table 1 Identification of volatile compounds in <i>Toona sinensis</i> treated with three different preservations during storage for different time		0 d				
序号 No.	化合物名称 Compound name	CK	PVC	PVC+ZW	PVC+1-MCP	PVC+EA
1	4,4'-二异硫氰酸二苯乙烯-2,2'-二磺酸		1.89			
2	L-半胱氨酸亚磺酸	0.54			1.05	
3	2-(乙基亚磺酰基)-1-乙醇	0.21	1.53	0.72		
4	1,3-二硫代-S-异丙酯-乙酰乙酸			2.54		
5	硫化丙烯					2.55
6	牛磺酸	0.28	2.58			
7	烯丙硫醇					0.58
8	反式-3,5-二乙基-1,2,4-三硫杂环戊烷	0.58	1.26			
9	(S)-1,3-丁二醇	1.31		2.87		
10	2-溴戊烷		0.14		0.35	
11	2-己烯醛			0.98		
12	2-氯-2-硝基丙烷	1.42		1.33		
13	2,4-二甲基噻吩	9.88	4.84	9.76	6.64	8.89
14	六氢-1,3-苯并二氧基-2-酮				1.10	1.85
15	3-己烯-1-醇	2.03	0.44	0.26		
16	(Z)-2-己烯-1-醇		1.15	1.46		
17	1-丙烯基-1-丙炔基硫化物				5.64	5.88
18	2-环丙基羰基十二烷	8.76	5.88	3.63	5.31	6.44
19	5-硫代环氧基[4.1.0.0(4)]庚烷	0.32				
20	甲氧基苯肼		1.86			
21	N-(3-(1-羟基-1-苯基))-乙酸					
22	(E)-1-烯丙基-3-(丙基-1-烯-1-基)三硫烷	4.96				1.56
23	1-乙炔基-1-甲基-1,4-双(1-甲基乙基)-环己烷	7.24	6.49			
24	1-甲基-2-(1-(丙硫基)丙基)二硫醚		0.68	0.77		
25	4a,8-二甲基-2-(丙基-1-烯-2-基)-1,2,3,4,4A,5-,6-,7-八氢萘					
26	十氢-4-甲基-1-亚甲基-7-(1-甲基乙基)[4a-(4a)7,8A-萘				7.36	1.24
27	愈创木烯	1.07	2.23			
28	2-亚甲基-5-(1-甲基乙炔基)-8-甲基-双环[5.3.0]癸烷			5.88		
29	顺式-2-巯基-3,4-二甲基-2,3-二氢噻吩	20.68	17.31	22.74	17.65	16.61
30	1,2,3,4-四氢-4,4,8-三[3,2-b]呋喃-7,11-二酮菲		0.5			
31	2-正丙基硫烷		1.29			
32	顺式-六氢-2H-环戊[b]噻吩	1.60	3.22	3.36	1.65	2.77
33	(E)-丙基-1-烯丙基-1-丙二硫代甲酸酯					
34	反式-2-巯基-3,4-二甲基-2,3-二氢噻吩	18.31	14.89	15.11	14.78	15.97
35	3,4-二甲基噻吩-2-硫醇	0.94				2.26
36	1,2-二((E)-丙基-1-烯基-1-基)二硫烷	1.14		0.46		
37	1-(1-propenylthio)丙基丙二硫				2.67	1.76
38	4H-1,2,3-三硫	0.64				
39	癸醛	2.8	1.23	2.98		
40	(E)-1-烯丙基-2-(丙基-1-烯-1-基)二硫烷			0.54		
41	1-丙基咪唑-2-硫酮			0.87		
42	乙基正辛基硫醚	1.36		2.82		
43	5,5-二甲基-1,3-二硫-2-酮	2.02				

续表 1 Continued table 1

15.67	25.24	18.79	24.47	26.79	37.11	27.14	30.26	28.48	4.79	30.16	30.85	18.42
0.12	0.17					1.07						
		1.23	4.42	7.56		14.99			0.1			1.90
0.23					1.06	0.21				0.06	1.06	0.06
1.52					2.77				0.43	0.44	1.78	
												4.36
0.45	0.09					0.70			0.19			
0.11	0.13				2.18					0.18	1.18	
5.74									1.02			
	4.09				2.18				0.09	0.18	1.18	0.59
									0.23			
						4.78	0.24	1.36				
					2.22					0.22	1.22	
0.83	1.20					0.20		38.22				
					2.12	0.07	1.16	2.47		0.12	1.12	
0.79					2.09				0.23	0.09	1.09	
0.15						0.09	0.17					1.00
0.48					2.23				0.14	0.23	1.23	
	0.73		0.31	0.37			0.31	0.49				0.47
0.38					2.08	0.31				0.08	1.08	0.76
			1.15	0.74		0.46	0.20	0.44				
	1.04		0.18		2.06	0.38	0.08	0.16		0.06	1.06	0.18
0.68					0.75	0.19				0.14	1.41	
1.64				0.94	2.32	0.23	0.17		0.22	0.32	1.32	
								0.47	0.11			1.25
	1.14		0.47	1.03								0.94
1.28					0.4				0.28	0.06	1.16	
0.89						1.04	0.45	0.76				

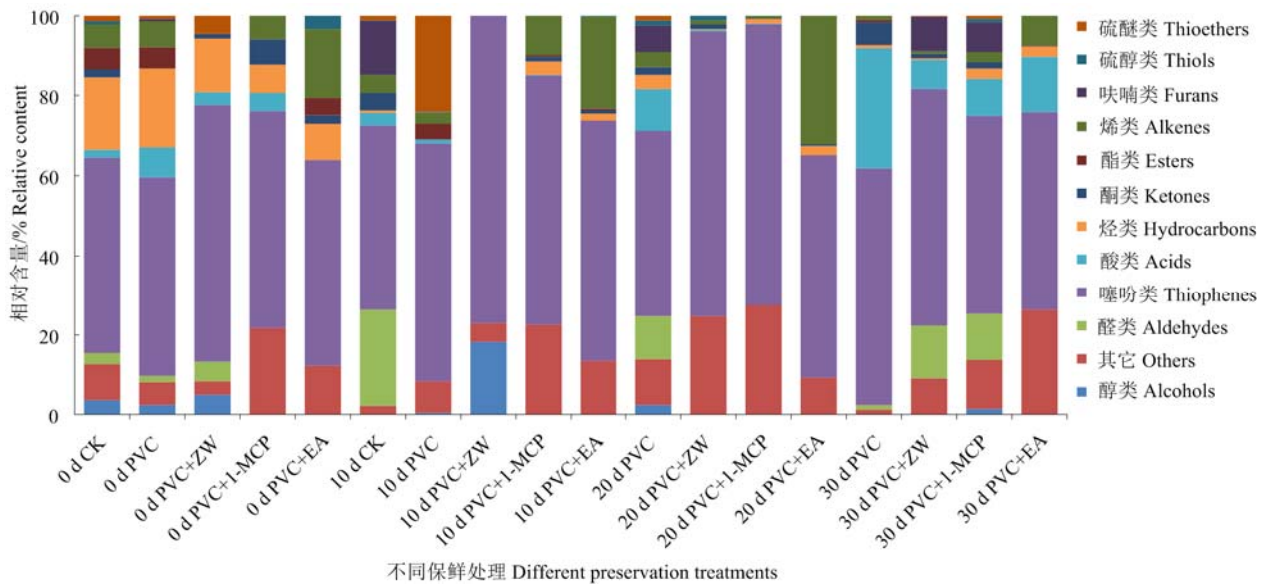


图 1 3种不同保鲜处理的香椿在贮藏期间挥发性成分相对含量

Figure 1 Relative contents of volatile component in *Toona sinensis* treated with three different preservations during storage

类、烃类、酸类、噻吩类、醛类、醇类和其他类。从图 1 可以看出，在所有处理中，噻吩类的相对含量都是最主要的，范围为 46.41%~77.05%。该研究结果与杨慧等^[15]的研究结果类似，她们发现噻吩类对风味的贡献率最大。然而，不同产地和品种的香

椿的挥发性风味成分的含量不一样，刘常金等^[4]研究发现，山东西牟红香椿挥发性成分主要为噻吩类化合物 (61.613%)，但河南焦作的主要成分为萜烯类化合物 (52.137%)，安徽太和黑油椿也主要为萜烯类化合物 (74.880%)。史冠莹等^[16]也有类似的发

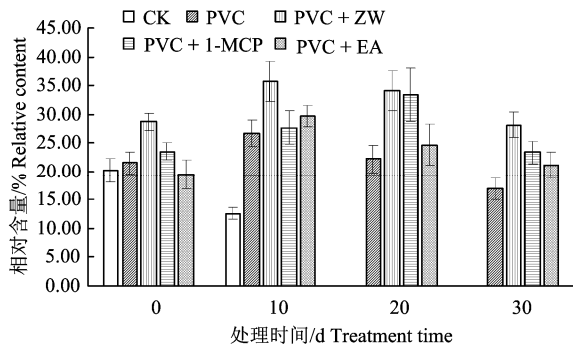


图 2 3 种不同保鲜处理对顺式-2-巯基-3,4-二甲基-2,3-二氢噻吩相对含量的影响

Figure 2 Effects of three different preservations on the relative contents of *cis*-2-Mercapto-3, 4-dimethyl-2, 3-dihydrothiophene in *Toona sinensis*

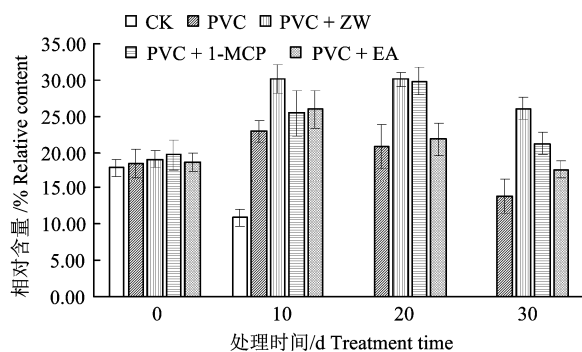


图 3 3 种不同保鲜处理对反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩相对含量的影响

Figure 3 Effects of three different preservations on the relative contents of *trans*-2-Mercapto-3, 4-dimethyl-2, 3-dihydrothiophene of *Toona sinensis*

现, 她们比较了河南新乡及桐柏、山西永济、山东淄博、陕西安康及湖北十堰的香椿嫩芽, 挥发性风味成分的相对含量最高的为萜烯类、醛类和含硫类物质。但王晓敏等^[17]研究了河南 4 个不同产地的香椿发现, 挥发性风味物质含量最高的均为萜烯类。此外, 不同的保鲜处理在不同的贮藏时间, 香椿的挥发性风味成分也会有不同的变化。PVC + ZW、PVC + 1-MCP 和 PVC + EA 处理组的噻吩类含量较 CK 和 PVC 组高, 其中, 经过 PVC + ZW 处理的香椿, 其噻吩类相对含量在相同的取样时间点较其他处理组高, 并且在第 10 天达到最高, 为 77.05%, 然后开始缓慢下降到 59.36%。PVC + 1-MCP 处理的香椿, 其噻吩类相对含量缓慢增加, 到第 20 天达到最大值为 70.44%, 然后快速下降。PVC + EA 处理的香椿, 其噻吩类相对含量与紫外处理组类似, 在第 10 天达到最大, 但相对含量比紫外处理组约低 17 个百分点。在所有的处理中, 醛类和酸类的相对

含量在贮藏后期有所增加, 而烃类的相对含量随着贮藏时间的延长而下降。

2.2 3 种不同保鲜处理对香椿特征风味的影响

Liu 等^[14]通过气相色谱-嗅觉测量法 (GC-Olfactometry) 发现, 顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩和反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩是香椿的特征风味, 且风味强度最高。从图 2 可以看出, PVC + ZW 处理的香椿的顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩在每个时间点上的相对含量均最高, 且在第 10 天达到最大相对含量, 并与其他组差异极显著 ($P < 0.01$), 然后开始缓慢下降。PVC + 1-MCP 处理组的顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量在第 20 天达到最高峰, 而且与 PVC + ZW 处理组差异不显著 ($P > 0.05$), 但与 PVC + EA 处理组差异极显著 ($P < 0.01$)。PVC + EA 处理组的顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量在第 10 天达到最高峰, 而且与 PVC + ZW 处理组差异极显著 ($P < 0.01$), 但与 PVC + EA 处理组差异不显著 ($P > 0.05$)。以上结果表明, 紫外照射及其产生的臭氧能够刺激顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的产生, 这与 Lin 等^[18]研究结果类似。他们发现臭氧处理的香椿, 顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量更高。可能是由于紫外照射和臭氧在处理香椿时, 对香椿具有一定的“灼烧”, 从而刺激了这种特征风味的产生, 而 Liu 等^[14]通过嗅辨仪测得的顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的香味类似于蒸煮过的、带橡胶味的香椿风味, 从而印证了这种假设成立的可能性, 然而, 关于紫外照射及臭氧刺激香椿特征风味产生的机理还有待进一步研究。但 PVC + ZW 处理组的反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量与 PVC + 1-MCP 和 PVC + EA 处理组的相对含量在 0 d 和第 10 天差异不显著 ($P > 0.05$), 与 PVC 和 CK 组差异极显著 ($P < 0.01$), 在第 20 天时与 PVC + 1-MCP 差异不显著 ($P > 0.05$) 但与 PVC + EA 处理组差异极显著 ($P < 0.01$), 到了第 30 天时所有处理组的反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量均下降, 但 PVC + ZW 处理组下降的速度较其他组慢, 且相对含量与其他组差异极显著 ($P < 0.01$)。Liu 等^[14]发现反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的香味是新鲜的香椿风味。以上结果说明了紫外照射可以有效地保持香椿的特征风味, 也意味着能够有效地延缓香椿衰老, 保持品质和质量。

3 结论

本研究采用HS-SPME和GC-MS分析和比较了PVC+ZW、PVC+1-MCP和PVC+EA 3种不同保鲜处理对贮藏期间的香椿挥发性风味成分及特征风味成分相对含量变化的影响。结果表明, 噻吩类的相对含量最高, 为46.41%~77.05%。在贮藏的后期, 酸类和醛类物质的相对含量有所增加。PVC+ZW处理组的顺式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩和反式-2-巯基-3, 4-二甲基-2, 3-二氢噻吩的相对含量比其他处理组高, 而且下降幅度较慢。因此, 紫外照射能够提升香椿的特征风味, 并延缓其降低, 有效地延长了香椿的贮藏时间, 并保持了香椿的贮藏品质。

参考文献:

- [1] MILLER F A, SILVA C L M, BRANDÃO T R S. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation[J]. Food Eng Rev, 2013, 5(2): 77-106.
- [2] GLOWACZ M, COLGAN R, REES D. The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce[J]. J Sci Food Agric, 2015, 95(4): 662-671.
- [3] MU R M, WANG X R, LIU S X, et al. Rapid determination of volatile compounds in *Toona sinensis* (A. juss.) roem by MAE-HS-SPME followed by GC-MS[J]. Chroma, 2007, 65(7/8): 463-467.
- [4] 刘常金, 张杰, 周争艳, 等. GC-MS 分析比较 3 个特产香椿品种的挥发性成分[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 261-267.
- [5] YANG Y, WANG J, XING Z E, et al. Identification of phenolics in Chinese toon and analysis of their content changes during storage[J]. Food Chem, 2011, 128(4): 831-838.
- [6] 唐晓珍, 李大鹏, 孙淑静, 等. 香椿的贮藏与加工技术[J]. 食品工业科技, 2002, 23(11): 94-95.
- [7] 杨慧, 毛维林, 赵守涣, 等. 冰温结合开孔调湿包装对香椿嫩芽的保鲜效应[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 121-125, 140.
- [8] 刁春英, 高秀瑞. 茶多酚与壳聚糖复配溶液对香椿芽保鲜效果的研究[J]. 广西植物, 2016, 36(4): 492-496.
- [9] 王赵改, 杨慧, 朱广成, 等. 减压处理对香椿贮藏品质的影响研究[J]. 华北农学报, 2013, 28(6): 181-185.
- [10] 李聚英, 王军, 戴蕴青, 等. 香椿特征香气组成及其在贮藏中变化的研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(3): 127-131
- [11] 徐点, 张慧鑫, 从心黎, 等. 不同剂量的紫外照射结合热处理对龙眼保鲜效果的研究[J]. 热带农业科学, 2017, 37(10): 61-67.
- [12] 阎根柱, 王春生, 王华瑞, 等. 1-MCP 与乙烯吸收剂对猕猴桃果实采后生理及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(22): 52-58.
- [13] 吕俊梅, 王石华, 兰玉倩, 等. 乙烯吸收剂与包装对丽江蜜桃低温贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2017(6): 144-147.
- [14] LIU C J, ZHANG J, ZHOU Z K, et al. Analysis of volatile compounds and identification of characteristic aroma components of *Toona Sinensis* (A. juss.) roem. using GC-MS and GC-O[J]. FNS, 2013, 4(3): 305-314.
- [15] 杨慧, 王赵改, 史冠莹, 等. 烫漂时间对香椿嫩芽颜色及挥发性风味成分的影响研究[J]. 核农学报, 2017, 31(7): 1339-1348.
- [16] 史冠莹, 王晓敏, 赵守涣, 等. 不同产地香椿嫩芽主要营养成分、活性物质及挥发性成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 207-215; 223.
- [17] 王晓敏, 史冠莹, 杨慧, 等. 河南不同产地香椿基本成分及风味物质分析[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 144-149.
- [18] LIN S H, CHEN C K, LUO H X, et al. The combined effect of ozone treatment and polyethylene packaging on postharvest quality and biodiversity of *Toona sinensis* (A.Juss.) M.Roem[J]. Postharvest Biol Tec, 2019, 154(8): 1-10.