

紫胶涂膜常温贮藏对苹果挥发性成分的影响

郑华, 甘瑾, 张弘*, 马李一, 张雯雯, 赵虹

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南昆明 650224)

摘要: 研究漂白紫胶涂膜处理对水果常温保鲜贮藏过程中香气成分的影响。用动态顶空密闭循环式吸附捕集法分别采集水晶红富士苹果完整果实的挥发物(从涂膜后 15~60d), 并进行热脱附-气相色谱/质谱(TCT-GC/MS)分析。结果表明: 其完整果实挥发物中的主要特征香气组分均为酯类化合物, 可保持占挥发物总量 64%~80% 的相对含量; 完整果实挥发物中的 -金合欢烯(-法呢烯)通常保持约 5%~10% 的相对含量, 且未发生明显氧化或引起果实衰老病害; 常温贮藏过程中, 1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、1,2-戊二醇等醇类化合物逐渐趋于更易检出, 并有利于维持果实香气中酯类等主要物质的组成。

关键词: 水晶红富士苹果; 紫胶; 涂膜保鲜; 挥发物; 热脱附-气相色谱/质谱

Effect of Bleached Shellac Coating on Volatile Components of Apple during Storage at Room Temperature

ZHENG Hua, GAN Jin, ZHANG Hong*, MA Li-yi, ZHANG Wen-wen, ZHAO Hong

(Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Resource Insects, State Forestry Administration, Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China)

Abstract: In order to investigate the effects of bleached shellac coating treatment on aromatic components in fruits during storage at room temperature, the volatile components in Shuijing Red Fuji apple during 15 to 60 days of storage were isolated by dynamic head-space adsorption method and analyzed by thermal cryo-trapping-gas chromatography/mass spectroscopy (TCT-GC/MS). Results indicated that esters were the predominant compounds among all volatile components and the relative content of esters was account for 64% - 80% of the total volatile components. Meanwhile, approximately 5% - 10% -farnesene was observed in intact fruits, which did not result in oxidation, senescence or damage of fruits. During the storage period at room temperature, 1-butanol, 2-methyl-1-butanol, 1,2-pentadiol and other alcohols were easily detected, which are helpful to maintain ester and other major substances as the aromatic components of fruits.

Key words: Shuijing red Fuji apple; lac; coating preservation; volatile; thermal-desorption cryo-trapping-gas chromatography/mass spectroscopy (TCT-GC/MS)

中图分类号: TS255.2; S379.2; S661.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)20-0485-05

果品香气是其重要的感官和理化指标, 对决定风味质量具有特殊意义。苹果作为世界四大果品之一和我国第一大果品^[1], 其保鲜贮藏和加工利用技术研究非常广泛, 其中有关香气的报道也较多。我国已成为全球最大的苹果生产国和苹果浓缩汁出口国^[2], 在苹果香气研究方面也取得一定进展。但我国在 20 世纪的相关研究“囿于传统测试条件”^[3], 对挥发性化合物样品的捕集和鉴定技术经历了逐步完善的过程。早期研究着重于选

择吸附法还是萃取法的探讨^[4], 近年来逐渐认识到萃取/溶剂洗脱法不能准确反映挥发物的组成, 采用吸附/脱吸附技术逐渐成为主流^[5-6], 而成分分析也由 GC^[4-5]提升至气相色谱/质谱联用(gas chromatography/mass spectrometry, GC/MS)技术^[6]。在吸附-脱吸附法相关报道中, 国内多数研究均采用固相微萃取(solid phase micro-extraction, SPME)捕集香气并用 GC/MS 检测^[5-9], 与国外研究采用的技术基本一致^[10], 但对完整果实(简称

收稿日期: 2010-06-28

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(riricaf200903Z); 国家林业科技成果推广项目([2010]11); 科技部农业科技成果转化资金项目(2010GB24320619)

作者简介: 郑华(1971—), 男, 副研究员, 博士后, 主要从事天然生物资源化学加工及可持续综合开发利用研究。

E-mail: hua-zheng@sohu.com

* 通信作者: 张弘(1963—), 男, 研究员, 学士, 主要从事林业生物资源化学与利用研究。E-mail: kmzhong@163.com

整果)香气则鲜有类似国外的研究^[11-12],目前仍缺乏对苹果整果香气的非破坏性取样及分析检测报道。

近年来,漂白紫胶涂膜保鲜技术逐渐发展应用于多种水果的常温贮藏中,取得较好效果,前期研究已在漂白紫胶涂膜保鲜剂配方及其处理前后的水果硬度、失水率、腐烂率、VC含量等理化指标方面进行较系统探讨^[13-18]。本研究对漂白紫胶涂膜处理的水晶红富士苹果果实进行动态顶空热脱附(thermal cryo-trapping, TCT)-气相色谱/质谱联用(TCT-GC/MS)分析,了解其常温贮藏过程中的香气成分变化情况,以为漂白紫胶涂膜保鲜技术的优化提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

水晶红富士苹果产自陕西,购于昆明水果批发市场,分为4组,一组作为对照(无漂白紫胶涂膜处理),其余3组分别用质量分数4%、8%、12%的漂白紫胶涂膜剂进行处理^[18],每组选择4个成熟度、大小一致的完整果实,以备多次挥发物采集。

吸附剂:Tenax-GR,进口分装,填充于美国Varian公司6mm×160mm玻璃热脱附管中;采集袋(406mm×444mm微波专用袋)美国Reynolds公司。

1.2 仪器与设备

QC-1型大气采样仪(配有便携式充电器和手提箱)北京市劳动保护科学研究所;HT6890型热解吸仪活化定标器山东鲁南瑞虹化工有限公司;Trace™ 2000 GC/Voyager MS气相色谱/质谱联用仪:配有Chrompack CP-4010 PTI/TCT热脱附冷阱(TCT)及Xcalibur1.4数据处理系统和标准谱库NIST02美国Varian公司,其中气相色谱为美国CE Instruments公司产品,质谱为美国Thermo-Quest集团Finnigan公司产品,色谱柱为CP-Sil8 Low Bleed/MS毛细柱(60m×0.25mm,0.25μm)。

1.3 方法

1.3.1 挥发物捕集

采用动态顶空密闭循环式吸附捕集法^[19-26],分别捕集4组待测整果常温贮藏15、30、45、60d后的挥发物样品,每样品采集时间1h,并控制各采集袋内密闭气体体积、气体流量、热脱附管内吸附剂填充量等条件相一致。每次采集前均将已填充吸附剂的待用热脱附管在热解吸仪活化定标器上以100mL/min流量氮气、270℃处理3h。

1.3.2 热脱附进样

载气压力:20kPa;进样口温度:250℃;冷阱温度:-120℃;热脱附温度:250℃,保持10min;进样时冷阱温度260℃,保持1min;柱流速:2mL/min。

1.3.3 色谱分离条件

升温程序:40℃保持3min,以6℃/min升至250℃,保持3min;载气压力:20kPa;无分流方式。

1.3.4 质谱检测条件

电子轰击(EI)离子源;电子能量70eV;GC/MS接口温度250℃;离子源温度200℃;灯丝电流150μA;溶剂延迟时间1min;扫描速度0.4s/s;质量扫描范围m/z 29~350。

1.3.5 谱图检索及成分鉴定

由TCT-GC/MS操作得到各样品质谱相对丰度图及总离子流(TIC)图。将TIC图中各峰代表的化学信息利用专用软件Xcalibur(版本1.4)和标准谱库NIST02,结合经典气相色谱保留时间数据和相关化学经验,进行苹果不同涂膜处理及其在常温贮藏过程中挥发性成分的鉴定。

2 结果与分析

2.1 挥发性成分检测结果

在相同检测条件下,易挥发组分通常相对于难挥发组分先出峰(保留时间短),而根据其在谱图中主要特征离子碎片的质荷比,结合保留时间数据并参照标准谱库,可依次确定主要峰对应的化合物。

不同涂膜处理水晶红富士苹果在贮藏过程中的挥发性成分检测结果列于表1,表中仅列出正反匹配度(最大值分别为1000)均大于800的化合物。挥发物TCT-GC/MS检测的TIC示意图见图1(以16张谱图中的一张为例)。

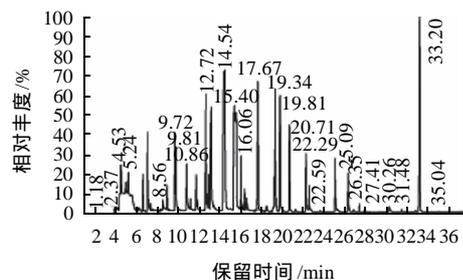


图1 苹果整果挥发物的总离子流图示意

Fig.1 Total ion current chromatogram of volatile components of intact apple fruits

由表1可见,水晶红富士苹果整果挥发性成分主要为酯类化合物,萜烯类成分-金合欢烯(-法呢烯)也有较高含量,此外还有少量烷烃、醇、醛、酮、羧酸及杂环类化合物。

2.2 水晶红富士苹果(整果)挥发物中的酯类香气成分及其在涂膜保鲜后贮藏过程中的变化

根据表1数据,在严格按照1.3.1节控制挥发物捕集条件一致的前提下,将各样品挥发物中总酯相对百分含量(归一化含量)进行对比,如图2所示。

表1 不同涂膜处理苹果果实在贮藏过程中挥发性成分的相对含量比较

Table 1 Effect of different coating treatments on relative content of volatile components in apple during storage

%

序号	挥发性成分	常温贮藏 15d				常温贮藏 30d				常温贮藏 45d			常温贮藏 60d				
		对照	4%	8%	12%	对照	4%	8%	12%	对照	4%	8%	12%	对照	4%	8%	12%
1	乙酸乙酯	6.09	-	-	-	-	-	-	-	-	4.89	0.94	-	-	0.84	-	-
2	2-甲基己烷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.51	1.49	-	-	0.38	-	-
3	3-甲基己烷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.78	-	-	-	0.33	-	-
4	3,4-二甲基戊醇	4.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2,5-二甲基四氢呋喃	9.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3,4-二甲基四氢呋喃	2.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	二氢-2-氢-吡喃-3(4-氢)-酮	2.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	乙酸正丙酯	3.88	-	3.05	-	-	-	-	1.93	-	-	-	-	-	-	-	-
9	乙酸	-	-	5.47	-	-	-	-	-	-	-	2.93	-	-	-	-	-
10	1-丁醇	-	-	-	-	-	2.44	-	-	-	2.57	5.39	-	4.83	2.41	1.70	0.51
11	1-甲氧基-2-甲基丁烷	-	-	-	-	-	0.91	2.91	2.97	3.24	1.25	3.54	1.47	2.58	1.88	2.26	1.44
12	正庚烷	-	-	-	-	-	1.33	0.08	-	-	0.32	-	0.38	-	-	-	0.59
13	丙酸乙酯	-	-	-	-	-	-	4.14	-	3.62	0.25	7.32	0.11	5.90	2.17	-	-
14	2-甲基-1-丁醇	0.33	5.73	-	0.23	-	-	1.45	-	1.96	4.93	6.99	6.47	8.89	8.35	6.29	2.61
15	异丁酸乙酯	-	3.32	0.02	-	-	5.65	0.21	0.31	-	2.24	2.55	0.74	1.74	3.00	1.32	1.08
16	乙酸异丁酯	0.39	4.82	1.10	-	-	5.64	4.07	4.50	0.83	4.35	2.50	4.75	3.87	3.79	4.49	4.65
17	2-甲基丁酸甲酯	-	-	-	-	0.16	1.07	0.02	-	0.07	1.37	0.70	-	1.31	1.94	0.68	-
18	丁酸乙酯	0.06	4.35	3.95	1.93	7.20	4.57	7.66	5.73	11.60	3.72	3.70	4.16	3.16	3.17	3.11	3.51
19	乙酸正丁酯	-	-	-	6.82	-	-	-	-	-	-	1.77	-	-	1.08	1.03	1.30
20	己醛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.10	0.53	-	1.47
21	丙酸丙酯	0.94	2.48	-	-	5.20	4.90	0.53	0.38	3.07	5.93	4.00	4.61	6.10	5.39	4.42	7.08
22	1,2-戊二醇	5.66	9.15	17.33	-	8.43	10.68	14.05	11.56	6.81	7.97	6.93	9.86	6.39	4.54	6.05	7.10
23	2-甲基丁酸乙酯	0.12	1.24	1.83	5.33	2.01	1.92	1.88	2.10	1.52	1.14	1.19	2.11	2.47	2.74	3.06	2.61
24	巴豆酸-1-丁烯-4-酯	17.92	10.82	20.98	35.82	14.29	12.42	18.03	7.83	18.60	9.85	8.55	11.73	8.47	7.87	11.98	10.01
25	2-甲基-2-丙烯酸-3-丁烯酯	2.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	丁酸丙酯	0.88	4.39	1.11	0.10	1.94	2.88	2.67	3.27	2.14	1.52	1.54	4.45	1.83	1.62	4.34	4.39
27	丙酸丁酯	1.20	1.86	1.88	0.19	2.05	1.24	1.44	1.85	1.22	1.44	1.49	1.19	3.58	2.15	4.03	1.64
28	4-羟基-2-丁酮	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	乙酸异戊酯	-	3.81	2.03	0.62	3.45	3.53	1.19	4.76	1.24	3.15	3.49	4.37	2.78	3.21	3.03	4.43
30	2-甲基丁酸正丙酯	1.77	2.00	3.31	0.20	1.63	1.81	1.95	2.17	2.07	2.22	0.98	0.73	2.95	3.01	2.13	3.30
31	异丁酸丁酯	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	0.14	-	-	-	-	-
32	异丁酸异丁酯	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	0.09	0.07	-	0.16	0.18	0.10
33	丙酸戊酯	0.33	0.65	0.22	0.06	1.95	0.61	0.20	0.29	0.23	1.05	0.54	1.13	1.22	0.88	1.12	1.23
34	6-甲基-5-庚烯-2-酮	-	0.49	0.18	-	1.28	0.62	0.44	-	0.16	4.77	-	1.79	0.72	0.71	-	1.79
35	丁酸丁酯	2.02	1.86	2.48	0.38	3.64	0.91	0.86	-	2.39	-	-	-	4.11	2.04	2.41	1.93
36	己酸乙酯	2.89	8.09	0.81	0.20	6.24	6.67	6.93	9.00	5.63	-	5.72	10.06	4.74	4.93	6.12	7.33
37	丙烯酸-2-甲基丁酯	-	10.99	-	-	5.74	9.31	7.93	3.62	3.29	8.80	5.13	2.93	2.59	6.26	7.33	4.73
38	乙酸正己酯	-	-	-	9.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	2-甲基丁酸丁酯	1.19	0.91	1.41	1.89	1.26	0.92	1.56	1.24	1.18	-	0.49	0.82	0.58	0.51	1.13	0.68
40	2-甲基丁酸异丁酯	0.90	-	-	-	-	-	-	0.14	0.02	-	0.91	-	0.50	1.01	0.94	0.53
41	丁酸-2-甲基丁酯	-	0.33	0.11	-	0.89	0.30	0.05	0.20	0.23	0.32	0.35	0.49	0.65	0.52	0.38	0.32
42	己酸丙酯	0.96	1.87	0.82	0.09	1.38	3.68	1.84	1.38	1.49	1.18	1.18	1.68	3.01	1.49	2.96	1.25
43	2-甲基丁酸-2-甲基丁酯	0.30	1.35	0.64	0.19	4.32	2.15	1.57	6.80	2.02	3.28	2.21	3.73	1.56	2.72	1.53	1.96
44	2-甲基丁酸戊酯	0.03	0.05	0.03	0.02	0.16	0.07	0.02	0.10	0.05	0.07	0.05	0.22	0.12	0.18	0.13	0.22
45	异丁酸己酯	-	-	-	0.03	-	-	-	0.08	-	-	0.04	0.09	-	-	-	0.10
46	己酸异丁酯	-	-	-	-	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.11	-	0.09	0.10	0.10
47	己酸丁酯	12.84	6.97	12.26	1.88	10.30	2.81	4.22	6.72	9.79	4.08	6.41	2.40	4.56	4.56	3.82	6.50
48	辛酸乙酯	-	0.75	-	-	-	1.18	-	5.60	-	1.06	0.31	3.07	0.11	1.09	0.31	2.11
49	2-甲基丁酸己酯	4.00	2.65	5.26	2.06	1.68	1.38	1.32	2.09	5.37	3.94	1.91	1.74	0.75	3.02	2.41	1.52
50	己酸异戊酯	0.29	0.29	0.16	-	1.43	0.28	0.11	1.53	0.39	0.42	0.25	1.73	0.39	0.58	0.29	0.57
51	己酸正戊酯	0.05	-	-	-	0.12	0.04	-	-	0.02	0.05	0.02	-	0.10	0.10	-	-
52	己酸正己酯	2.23	0.88	1.34	0.73	2.13	0.37	0.29	3.12	0.36	0.64	0.66	3.60	0.55	0.81	0.42	2.22
53	辛酸异戊酯	0.06	0.05	0.04	0.05	0.18	-	-	0.39	-	-	-	-	0.07	0.16	0.09	0.25
54	二氢假紫罗酮	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	-	0.14
55	-金合欢烯(-法呢烯)	9.09	7.40	10.33	31.48	7.74	7.30	9.42	7.76	9.22	5.68	5.47	6.19	4.75	5.03	7.42	5.26

注: 4%、8%、12% 分别表示用 4%、8%、12% 的漂白紫胶涂膜剂进行处理, 对照为无漂白紫胶涂膜处理, 图 2 同。“-”表示未检出。

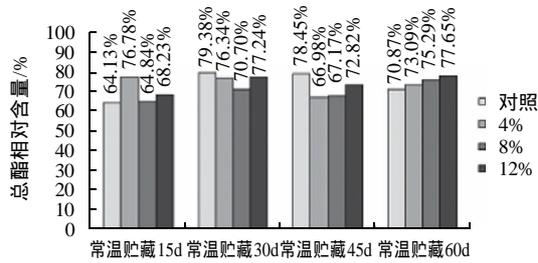


图2 不同涂膜处理苹果挥发物在贮藏过程中总酯相对含量的比较
Fig.2 Effect of different coating treatments on relative content of total esters in apple during storage

如图2显示,经漂白紫胶涂膜保鲜处理后,水晶红富士苹果整果挥发物中的总酯均保持较高的相对含量,且在15~60d常温贮藏期内占挥发物总检出量的64%~80%,即较好地保留了苹果原料中的固有香气(一类香气,在原料中占78%~92%)^[27-28],表明漂白紫胶涂膜处理未改变水晶红富士苹果的特征香气组分(有报道认为酯类是红富士苹果香气中的主要化合物^[29-30])。其原因可能是整果在适宜的温度和密闭的环境中呼吸作用加强,脂肪酸代谢合成酯类物质的速度相应加快^[2],因此酯类香气物质在果实呼吸跃变开始之后大量产生^[31]。涂膜处理整果与对照在常温贮藏期内酯类物质总体变化不大,但高沸点酯类化合物随贮藏期延长而所占的比重加大,表明紫胶膜能够抑制挥发性物质的逸出。

2.3 水晶红富士苹果(整果)挥发物中 - 金合欢烯(- 法呢烯)在涂膜保鲜后贮藏过程中的变化

表1显示,经漂白紫胶涂膜保鲜处理后15~60d常温贮藏期间,水晶红富士苹果整果挥发物中的 - 金合欢烯(- 法呢烯)多保持约5%~10%的相对含量,甚至有高达30%以上者。国内有报道认为该成分在果皮中含量较高,如史清龙等^[1]采用溶剂萃取法,可测得其在红富士苹果中相对含量高达17.38%,表明漂白紫胶涂膜处理未使水晶红富士苹果果皮发生明显的金合欢烯(法呢烯)氧化,涂膜剂既有良好的保鲜效果,又可在一定程度上抑制果实发生虎皮病等衰老生理病害;但国外研究有不同结果,如Dixon等^[32]将未去皮的富士苹果榨汁后分别检测其顶空及果汁内的成分,均未提及 - 金合欢烯(- 法呢烯)。因此,对于该成分还需深入研究。

2.4 水晶红富士苹果(整果)挥发物中的醇类香气成分及其在涂膜保鲜后贮藏过程中的变化

在水晶红富士苹果(整果)挥发物中,醇类化合物共检出1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、1,2-戊二醇等3种,仅分别在部分样品中检出,但从总体上看是随着贮藏天数的增加而更易检出。由于苹果果实中醇类物质的出现有可能关联到酯类物质的生成^[31],因此漂白紫胶涂膜保鲜处理后15~60d常温贮藏总体上有利于保持水晶红富士苹

果的特殊香气物质组成。

3 结 论

3.1 水晶红富士苹果完整果实经漂白紫胶涂膜保鲜处理后15~60d常温贮藏,其挥发物中的主要特征香气组分均为酯类化合物,可保持占挥发物总量64%~80%的相对百分含量。

3.2 完整果实挥发物中的 - 金合欢烯(- 法呢烯)在上述贮藏处理中通常保持约5%~10%的相对含量,且未发生明显氧化或引起果实衰老病害。

3.3 漂白紫胶涂膜保鲜处理后15~60d常温贮藏过程中,1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、1,2-戊二醇等醇类化合物逐渐趋于更易检出,并有利于维持果实香气中酯类等主要物质的组成。

参 考 文 献 :

- [1] 史清龙,樊明涛,闫梅梅,等.陕西主栽苹果品种间香气成分的气相色谱/质谱分析[J].酿酒,2005,32(5):66-69.
- [2] 张晓华,张东星,李阳,等.不同榨汁苹果的香气研究[J].饮料工业,2007,10(7):15-18.
- [3] 赵胜亭,齐伟,徐顺利.烟台富士苹果香气成分的气相色谱-质谱测定[J].安徽农业科学,2005,33(4):632-633.
- [4] 叶怀义,邵延文,叶敬昊.苹果香气成份GC分析样品制备方法的研究[J].黑龙江商学院学报:自然科学版,1997,13(3):1-4.
- [5] 吴继红,张美莉,陈计彦,等.固相微萃取法快速测定苹果汁中的香气成分的研究[J].中国食品学报,2003,3(增刊1):223-226.
- [6] 吴继红,胡小松,周珊,等.固相微萃取和气-质联用技术在快速测定苹果中挥发性成分中的应用[J].饮料工业,2003,6(3):39-41,47.
- [7] 魏玉梅,周围,毕阳.顶空固相微萃取气相色谱质谱法分析花牛苹果中的香气成分[J].甘肃农业大学学报,2008,42(4):135-139.
- [8] 李大鹏,王明林,陈义伦,等.顶空固相微萃取分析苹果酯类香气[J].食品与发酵工业,2007,33(8):150-152.
- [9] 关崇新,李铁纯,回瑞华,等.顶空固相微萃取GC/MS分析水果香气成分[J].辽宁师专学报,2008,10(2):99-101.
- [10] HERN A, DORN S. Induced emissions of apple fruit volatiles by the codling moth: changing patterns with different time periods after infestation and different larval instars[J]. Phytochemistry, 2001, 57(3): 409-416.
- [11] ECHEVERRÍA G, FUENTES T, GRAELL J, et al. Aroma volatile compounds of 'Fuji' apples in relation to harvest date and cold storage technology: A comparison of two seasons[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(1): 29-44.
- [12] ORTIZ A, ECHEVERRÍA G, GRAELL J, et al. The emission of flavour-contributing volatile esters by 'Golden Reinders' apples is improved after mid-term storage by postharvest calcium treatment[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57(2): 114-123.
- [13] 马李一,甘瑾,殷宁,等.天然涂膜保鲜剂对青脆李的贮藏保鲜作用[J].食品与发酵工业,2004,30(7):135-138.
- [14] 马李一,甘瑾,殷宁,等.纳米SiO₂在涂膜保鲜剂中的应用[J].北京林业大学学报,2004,24(6):98-101.
- [15] 甘瑾,马李一,张弘,等.漂白胶对芒果贮藏保鲜效果的研究[J].食品科学,2005,26(1):242-244.
- [16] 甘瑾,马李一,张弘,等.漂白胶天然保鲜剂对芒果保鲜效果的研究

- [J]. 广西农业生物科学, 2005, 24(1): 54-57.
- [17] 甘瑾, 马李一, 张弘, 等. 漂白紫胶涂膜对甜樱桃常温贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(3): 650-654.
- [18] 甘瑾, 张弘, 马李一, 等. 漂白紫胶涂膜对苹果常温贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 444-447.
- [19] 郑华. 北京市绿色嗅觉环境质量评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2002.
- [20] 郑华, 金幼菊, 周金星, 等. 活体珍珠梅挥发物释放的季节性及其对人体脑波影响的初探[J]. 林业科学研究, 2003, 16(3): 328-334.
- [21] 郑华, 张弘, 张汝国, 等. 云南特产小三年芒果不同成熟期香气成分的差异[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 487-490.
- [22] 张弘, 郑华, 冯颖, 等. 金枕榴莲果实挥发性成分的热脱附-气相色谱/质谱分析[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 517-519.
- [23] 郑华, 张汝国, 于连松, 等. 热脱附-气相色谱/质谱分析菠萝果实香气研究[J]. 广东农业科学, 2009(5): 122-123; 149.
- [24] 郑华, 于连松, 张汝国, 等. 番木瓜果实香气的热脱附-气相色谱/质谱分析[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1235-1237.
- [25] 郑华, 孔永强, 张汝国, 等. 云南产皱皮木瓜挥发物的热脱附-气相色谱/质谱联用分析[J]. 云南农业大学学报, 2010, 25(1): 135-142.
- [26] 郑华, 张弘, 甘瑾, 等. 菠萝蜜果实挥发物的热脱附-气相色谱/质谱(TCT-GC/MS)联用分析[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 141-144.
- [27] 汪立平, 徐岩, 王栋, 等. 苹果酒香气成分研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(7): 59-65.
- [28] 宫英振, 王颀, 李长文, 等. 苹果酒的香气(综述)[J]. 酿酒科技, 2003(3): 68-70.
- [29] 王孝娣, 史大川, 宋焯, 等. 有机栽培红富士苹果芳香成分的GC-MS分析[J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 998-1002.
- [30] 李德英, 惠伟, 贾小会, 等. 二苯胺、1-甲基环丙烯处理对红富士苹果气调贮藏品质及香气成分的影响[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2008, 36(5): 91-97.
- [31] 魏树伟, 王少敏, 周广芳, 等. 套袋对皇家嘎拉苹果贮藏过程中香气成分的影响[J]. 果树学报, 2009, 26(1): 82-85.
- [32] DIXON J, HEWETT E W. Temperature of hypoxic treatment alters volatile composition of juice from 'Fuji' and 'Royal Gala' apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1): 71-83.