

不同温度对货架期樱桃挥发性物质变化的影响

罗枫¹, 鲁晓翔^{1,*}, 张鹏², 陈绍慧², 李江阔²

(1.天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134;
2.国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要:以“沙蜜豆”樱桃为试材, 利用电子鼻检测系统和顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用仪 2 种检测技术, 对冷藏 20d 后不同货架温度 (13、20℃) 不同时间 (1、4、6d) 樱桃芳香性物质变化进行分析。研究表明, 应用主成分分析法、线性判别分析法、负荷加载分析法三种方法进行综合分析, 电子鼻技术可以较好的区分不同货架温度下的樱桃。经 SPME-GC-MS 技术检测, 得到樱桃果实中含量较高的成分是醇类和醛类, 其中 5 种主要芳香性物质分别是苯甲醇、(E)-2-己烯醇、己醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醛。发现 13℃ 下 1、4d 时 (E)-2-己烯醛含量趋于平稳状态, 约在 42% 左右, 6d 时抑制受到缓和, (E)-2-己烯醛含量增至 52%。20℃ 下 1、4d 时 (E)-2-己烯醛已处于最高含量状态, 约为 53% 左右, 6d 时其含量降至 43%。这可能是由于低温环境下抑制了樱桃中的 (E)-2-己烯醛芳香性物质的生成。
关键词:电子鼻, 顶空固相微萃取, 气相质谱联用, 货架期, 樱桃

Study on aroma compounds of cherry under different temperature during shelf life

LUO Feng¹, LU Xiao-xiang^{1,*}, ZHANG Peng², CHEN Shao-hui², LI Jiang-kuo²

(1.Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2.Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: Summit cherry were studied as materials. Electronic nose and SPME-GC-MS were applied to detect the changes of volatiles in Summit cherry which were stored under cold storage for 20d and then placed at different temperature (13, 20℃) of shelf life in 1d, 4d, 6d. The results showed that: principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA) and loading analysis (LA) could be used to distinguish cherry under different temperature treatment easily. More alcohols and aldehydes from Summit cherry were detected by SPME-GC-MS. Benzyl alcohol, (E)-2-hexenol, hexanal, benzaldehyde, (E)-2-hexenal were detected and determined as 5 kinds of main aromatic substances. It was found that the percentage of (E)-2-hexenal approaching stable around 42% when cherry was placed at 13℃ in 1~4d. And it rose to 52% when cherry placed for 6d. The percentage of (E)-2-hexenal approached the maximum value around 53% when cheery were placed under 20℃, 1~4d. However, it decreased to 43% for the sixth day. This might be caused by low temperature environment which could inhibit generating (E)-2-hexenal.

Key words: electronic nose; headspace solid phase micro extraction; gas chromatography mass spectrometry; shelf life; cherry

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2015)13-0347-05
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.13.064

樱桃, 属蔷薇科李亚科李属, 又称甜樱桃、大樱桃, 味美可口, 并具有益气、健脾、祛风湿的功效, 是具有较高营养价值和保健功效的水果, 被誉为“果中珍品”^[1-2]。由于樱桃果皮薄、果肉软、果汁多, 且樱

桃在盛夏 (6~7 月) 时节采收上市, 导致樱桃在贮运过程中很容易造成品质下降 (果肉变软、表皮破损、风味变劣等)^[3-4]。

芳香性物质常被作为食品品质评价的重要手

收稿日期: 2014-12-26

作者简介: 罗枫 (1988-), 女, 在读硕士, 研究方向: 农产品加工与贮藏。

* 通讯作者: 鲁晓翔 (1962-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 天然产物研究与开发。

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2012BAD38B01); 天津市创新团队项目 (TD12-5049)。

段,其风味直接影响到消费者的购买情况^[5-6]。由于不同果蔬有其独特的芳香性成分,导致果蔬具有特殊的芳香气味。目前较为普遍的芳香性物质的检测,主要采用气相色谱-质谱联用(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)检测和电子鼻系统检测技术^[7-8]。单独利用 GC-MS 技术对芳香性物质进行检测,需要将样品气味先分离,再将结果重新组合才能进行对比分析,缺乏对样品整体性的体现,很难与人类嗅觉进行科学、系统化的对比^[9-10]。电子鼻技术可以用来做粗略的定性分析实验,内部的传感器阵列系统可以科学、可靠的对芳香性气味及样品品质进行检测^[11-12]。因而将电子鼻与 GC-MS 联用可以弥补两者的不足之处,将优点最大化呈现。基于上述优点,近年来电子鼻与 GC-MS 联用技术相结合的方式对食品中芳香性物质进行检测分析,越来越受到研究人员们的青睐。

目前,已有一些关于电子鼻与 SPME-GC-MS 对芳香性物质检测方面的报道。近两年的报道主要是关于鱼类^[13-14]、浒苔^[15-16]、乳酪^[17]、巧克力^[18]、腊肉^[19]、苹果^[20]等的气味物质的检测。丁媛^[21]等应用电子鼻和 SPME-GC-MS 技术,研究毛蚶中芳香性物质受温度变化的影响,研究表明电子鼻可以高效快速的区分不同温度处理下的毛蚶,GC-MS 可以鉴定出毛蚶中的特征性芳香性气味物质。在不同温度条件下贮藏,食品内部的芳香性物质含量会有所不同。目前,尚未发现电子鼻结合 SPME-GC-MS 技术对不同货架温度下樱桃内部芳香性物质的研究报道。本文研究目的在于分析不同货架期温度下沙蜜豆樱桃主要气味物质及其变化,为今后果蔬货架期温度的选择等问题提供了科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

沙蜜豆樱桃 于 2014 年 6 月 10 日采自河北省山海关区石河镇毛家沟村实验基地,采收成熟度约八成熟的果实,采摘当天运至国家农产品保鲜工程技术研究中心实验室(20±1.5)℃,立即进行如下处理:将樱桃按 1.75kg/袋装入衬有 0.05mm PE 保鲜膜的塑料框中,膜敞口(0±0.5)℃冷库中预冷 24h 后,扎口在此温度下贮藏 20d。将在冷库中冷藏 20d 的樱桃样品取出 6 袋,分别在 13、20℃恒温恒湿培养箱(湿度均为 90%)放置 3 袋,每个温度处理下按照 1、4、6d 进行测定。

SPX-250-C 智能型恒温恒湿培养箱 上海琅轩实验设备有限公司;PEN3 电子鼻 德国 Aisense 公司;高度交联,灰色平头/SPME 萃取头 美国 Supleco 公司;Trace-DSQ-MS 气相色谱-质谱联用仪 美国 Finnigan 公司。

1.2 电子鼻技术对樱桃内部风味物质的检测

1.2.1 电子鼻测定方法 取出的樱桃样品称取 30g 左右分别放入 250mL 烧杯中用保鲜膜封口,在常温下放置 30min,待样品挥发性物质挥发达到平衡后,用电子鼻对其进行测量,每个处理组平行测定 10 次,即做 10 次重复实验。

1.2.2 电子鼻测定参数 样品测定间隔时间:1s;样品准备时间:5s;样品测试时间:50s;清洗时间:220s;自动调零时间:10s;内部流量:100mL/min;进样流量:100mL/min。

1.2.3 电子鼻信号处理 通过电子鼻自带的 WinMuster 软件对采集到的数据进行分析。

1.3 SPME-GC-MS 技术对樱桃内部风味物质的检测

本文 GC-MS 的实验条件是在参考秦玲^[22]和王家喜^[23]等对樱桃挥发性成分研究报道中的方法基础上,稍加调整得出的。每个处理每次实验进行 2 次平行重复测定。

1.3.1 气相色谱条件 前处理方法:称取 250g 樱桃,去核打浆→4℃,8000r/min,15min→4 层纱布过滤→8mL 置于带有磁力搅拌子的 15mL 顶空瓶中,54℃水浴 15min,加入 2.5g NaCl,加盖封口后将萃取头插入样品顶空瓶,于 50℃吸附 30min,磁力搅拌子转速为 600r/min。吸附后将萃取头取出插入气相色谱进样口,于 250℃解吸 10min,同时启动仪器采集数据。

程序条件:HP-INNOWAX 色谱柱(30m×250μm×0.25μm);程序升温:40℃下保留 3min,然后以 4℃/min 升至 120℃,再以 5℃/min 升至 210℃,保留 5min。传输线温度为 250℃。载气为 He,流速 1mL/min,不分流。

1.3.2 质谱条件 连接杆温度 280℃,电离方式为 EI,离子源温度 200℃,扫描范围 45~600u。

1.3.3 SPME-GC-MS 数据处理 通过 WILEY/NIST 谱库进行定性分析比对,采用峰面积归一化法计算各芳香性物质相对含量。

2 结果与分析

2.1 不同货架温度处理对樱桃芳香性物质的影响

图 1、图 2、图 3 分别是对沙蜜豆樱桃样品进行电子鼻 PCA、LDA、LA 分析的示意图。

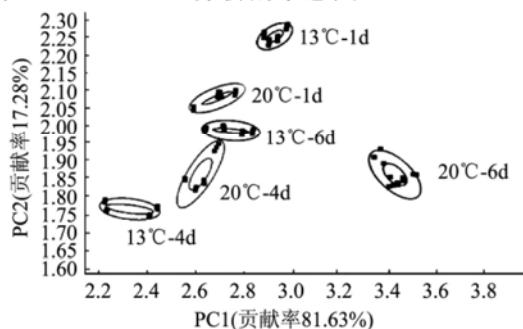


图 1 不同货架温度下樱桃挥发性成分 PCA 分析图

Fig.1 PCA analysis of volatile components of cherry at different shelf temperatures

图 1 是通过 PCA 的散点分析图上显示的二维散点图得到的,图中每个趋于椭圆形的区域代表各自的货架天数及温度的樱桃芳香性物质的信息采集点。PC1、PC2 的贡献率分别是 81.63% 和 17.28%,方差贡献率总和是 98.91%,其贡献率较高,说明反映樱桃中的信息全面,干扰小。从图 1 可以看出不同处理下的樱桃芳香性物质成分椭圆区域之间没有重叠交叉,说明采用 PCA 分析法可以将不同处理下的樱

表2 不同处理对樱桃挥发性物质含量
Table 2 Different treatments of cherry volatile matter content

类别	相对百分含量/种类(%/种)					
	贮后货架第1d		贮后货架第4d		贮后货架第6d	
	20℃	13℃	20℃	13℃	20℃	13℃
醇类	16.94/6	23.55/4	21.76/7	19.29/4	22.01/3	17.55/5
酯类	0.97/2	0.47/2	0.46/2	0.22/1	0.23/1	0.4/1
醛类	69.26/4	57.88/4	67.73/4	60.28/5	58.92/5	65.79/4
酮类	0.38/1	0.71/2	0.23/1	0.49/2	0.24/1	0.32/1
酸类	0.43/1	0/0	0.33/1	0.32/1	0/0	0.31/2
烃类	1.21/1	1.2/2	1.72/1	1.24/1	0.65/2	1.07/2
其他	1.86/3	2.52/3	0.47/2	5.85/6	2.71/3	2.39/3

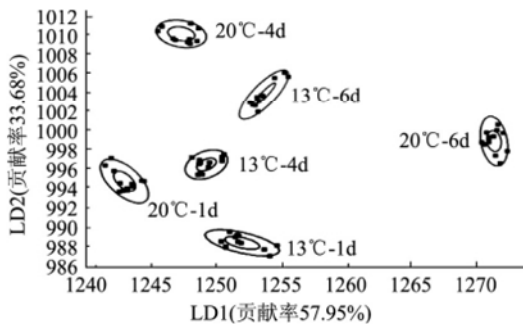


图2 不同处理樱桃 LD 分析图

Fig.1 LD analysis of cherry at different processing

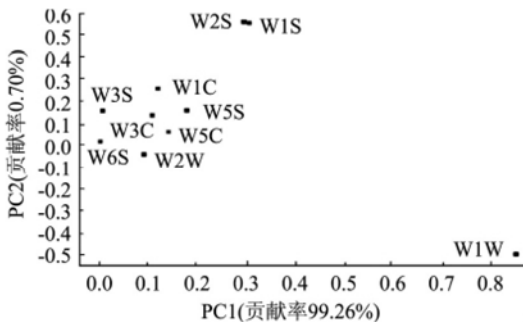


图3 樱桃在不同货架温度下电子鼻 10 条传感器贡献率

Fig.3 The contribution rate of cherry at different shelf temperature sensor electronic nose 10

桃芳香性物质完全分开。

由图 2 可知, LD1、LD2 贡献率分别是 57.95%、33.68%。判别累计贡献率总和是 91.63%。可以看出, 13℃时, 随着天数的增加, LD2 逐渐升高; 20℃时, 随着天数的增加, LD2 呈现先升高后下降的趋势。两种不同温度货架期内芳香性物质变化趋势相近。20℃处理下 1、4、6d 椭圆形区域之间跨距比 13℃要大, 说明 13℃下樱桃后熟过程受到了一定的抑制。

从图 3 可知, W1W 传感器对 PC1 贡献率最大, W2S、W1S 传感器对 PC2 的贡献率最大。这表明 W1W、W2S、W1S 传感器相应值的改变较明显, 比起其余 7 条传感器起到了更大的作用。

2.2 不同货架温度下樱桃挥发性物质变化

表 2 是樱桃样品经过 SPME-GC-MS 分析得到的数据。

从表 2 可知, 主要鉴别出来 17、20、18、18、18、18

种含量较高挥发性芳香物质(剔除了杂质、未知物质以及百分含量小于 0.01% 的物质), 主要含有醇类、酯类、醛类、酮类、酸类、烃类等物质, 其中醇类和醛类含量最高。

13℃-1、4、6d 检测出樱桃中醇类物质分别为 23.55%、19.29%、17.55%, 醇类物质百分含量依次降低, 该处理组中酮类含量呈现降低的趋势, 由 0.71% 下降至 0.32%。20℃-1、4、6d 检测出樱桃中醇类物质依次为 16.94%、21.76%、22.01%, 呈现含量上升的趋势, 该处理组中发现随着天数增加醛类、酯类含量降低, 其中酯类含量由 0.97% 显著下降至 0.23%, 分析这一情况可能是酯类成分水解转化成了醇类, 也可能是由于醇类在某些脂肪酸的作用下, 经过脂氧合酶氧化, 造成醇类物质含量增加。在贮藏的过程中, 由于某些醛类在醇脱氢酶的作用下转变成醇类, 导致醛类含量下降, 醇类含量升高。随着货架时间的延长, 13℃和 20℃处理组中的烃类含量呈现先升高后降低的趋势。

2.3 樱桃特征芳香性物质分析

果蔬中的芳香气味主要来自于挥发性的物质, 每种果蔬中会包含多种挥发性物质, 仅当其含量多于味感阈值的一小部分挥发物质才会对果蔬的风味起到决定性的作用。本文沙蜜豆樱桃实验的 2 个处理组得到的总挥发性物质的分析如表 3。

从表 3 可知, 13℃和 20℃处理组共检测出 37 种主要的挥发性香气物质。从 13℃处理组中共检测出 29 种, 20℃处理组共检测出 23 种。13℃-1d、13℃-4d、13℃-6d 检测出的主要成分是醇类和醛类, 醇类所占的总峰面积分别为 27.43%、21.97%、20.47%, 醛类占相总峰面积依次为 66.61%、68.28%、74.13%。含量较高的成分是苯甲醇、(E)-2-己烯醇、己醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醛。醇类共 6 种, 包括 1-己醇、苯甲醇、(E)-2-己烯醇、(S)- $\alpha, \alpha, 4$ -三甲基-3-环己烯-1-甲醇、2,4-二甲基-3-环己烯-1-甲醇、 $\alpha, \alpha, 4$ -三甲基-3-环己烯-1-甲醇。醛类共 5 种, 包括己醛、 $\alpha, 4$ -二甲基-3-环己烯-1-乙醛、苯甲醛、壬醛、(E)-2-己烯醛。

20℃-1d、20℃-4d、20℃-6d 检测出的主要成分也是醇类和醛类, 醇类所占的总峰面积依次是 19.54%、23.58%、26.43%, 醛类总峰面积分别为 75.20%、

表3 贮后货架不同温度处理下樱桃挥发性物质相对含量(%)

Table 3 Different temperature cherry relative content of volatile substances after storage shelves(%)

类别	化学名	贮后货架第1d		贮后货架第4d		贮后货架第6d	
		20℃	13℃	20℃	13℃	20℃	13℃
醇类	1-己醇	0.29	1.27	1.39	0.5	0.66	0.27
	苯甲醇	10.31	8.18	7.45	5.71	6.5	5.03
	苯乙醇	0.41	-	0.27	-	-	-
	(E)-2-己烯醇	5.26	13.95	11.72	12.86	13.85	4.8
	(S)- α , α ,4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	0.33	0.15	-	-	-	-
	α , α -二甲基苯甲醇	0.34	-	-	-	-	-
	2-戊醇	-	-	0.26	-	-	-
	松油醇	-	-	0.24	-	-	-
	2,4-二甲基-3-环己烯-1-甲醇	-	-	-	-	-	0.27
	a,a-4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	-	-	-	-	-	0.28
酯类	乙酸乙酯	0.73	0.31	0.43	0.22	-	0.4
	己酸乙酯	0.24	0.16	0.23	-	0.23	-
	己醛	10.63	10.31	11.19	6.8	8.65	7.29
醛类	(E)-3-己烯醛	0.63	0.36	0.38	0.24	0.2	-
	苯甲醛	3.6	4.78	4.83	6.1	6.87	6.14
	(Z)-3-己烯醛	-	0.43	-	0.26	0.16	0.22
酮类	(E)-2-己烯醛	54.4	42.43	51.33	46.58	43.04	52.14
	2,4,4-三甲基-3-(3-甲基丁基)环己烯-2-酮	0.38	0.39	0.23	0.22	0.24	0.32
	香叶基丙酮	-	0.32	-	-	-	-
	1-[4-(1-甲基-2-丙烯)苯]-乙酮	-	-	-	0.27	-	-
	癸酸,癸基酯	0.43	-	0.33	-	-	0.21
	醋酸	-	-	-	0.32	-	0.1
酸类	2-羟基-1-甲基丙酯硬脂酸	-	-	-	-	-	0.07
	二十烷酸,苯甲基酯	-	-	-	-	-	0.04
	己二醇二苯基醚	-	0.28	-	-	-	-
	(Z)-3-己烯	1.21	0.92	1.72	1.24	-	0.79
烃类	甲苯	-	-	-	-	0.28	-
	1-苯甲酰-2-羟基金刚烷	-	-	-	-	0.37	-
	己二醇二苯基醚	-	-	-	-	-	0.28
	丁香酚	0.4	0.17	0.12	0.09	0.1	0.2
	2,4-二甲基苯酚	0.42	0.15	-	-	-	-
	甲氧基苯基肟	1.04	2.2	-	3.09	1.94	2.16
其他	2,4-双(1,1-二甲基乙基)苯酚	-	-	0.35	0.1	-	-
	3-氟- α ,5-二羟-N-甲基苯乙胺	-	-	-	0.69	-	-
	3,5-二叔丁基邻苯二酚	-	-	-	0.57	-	-
	N,N-双(羧甲基)-L-赖氨酸	-	-	-	1.31	-	-
	2-甲氧基苯酚	-	-	-	-	0.67	0.03

注:以上表中均为两个处理,挥发性成分表中录入时去除了百分含量小于0.1%以下的物质和未知物质以及杂质,“-”代表未检出。

72.81%、6.38%。该处理下成分含量较高的物质同13℃处理组。醇类共8种,包括1-己醇、苯甲醇、苯乙醇、(E)-2-己烯醇、(S)- α , α ,4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇、 α , α -二甲基苯甲醇、2-戊醇、松油醇。醛类共5种,包括种类同13℃处理组。

13、20℃处理组中均发现随着贮藏时间的增加苯甲醇含量降低,苯甲醛含量升高,这是由于苯甲醇经氧化或脱氢反应转化成了苯甲醛。13℃处理组中随着贮藏天数增加发现(E)-3-己烯醛以及(Z)-3-

己烯醛含量减少,(E)-2-己烯醛含量增加。这可能是由于(E)-3-己烯醛以及(Z)-3-己烯醛异构化转化成(E)-2-己烯醛的结果。

沙蜜豆樱桃主要芳香性物质有苯甲醇(芳香味)、(E)-2-己烯醇(青草香味)、己醛(油脂和青草及苹果香味)、苯甲醛(特殊的杏仁气味)、(E)-2-己烯醛(新鲜水果型清香),且5种特征芳香性物质都有其各自的典型气味呈现,综合构成了沙蜜豆樱桃的特有芳香气味。该结论在前人实验中也有证明,

张序^[24-28]等在多篇文章中对“红灯”、“先锋”、“斯坦拉”、“拉宾斯”等几种甜樱桃进行气相色谱质谱联用仪进行芳香性物质检测,均发现乙酸乙酯、己酸乙酯、苯甲醇、(E)-2-己烯醇、己醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醛属甜樱桃的特征芳香性物质,且本文沙蜜豆樱桃实验均已检出。相较 20℃ 处理组,13℃ 处理组中樱桃主要芳香物质 (E)-2-己烯醛在 1、4d 时含量处在抑制状态,待到 6d 时其含量显著增加,从一开始的 42.43% 跃至 52.14%。而 20℃ 处理组 (E)-2-己烯醛在 1、4d 时都处在含量较高的状态,到 6d 时由 54.40% 降至 43.04%。其原因可能是由于樱桃处于 13℃ 时温度较 20℃ 低, (E)-2-己烯醛含量受到抑制。(E)-2-己烯醇与 (E)-2-己烯醛之间存在相互转化的关系,导致当 (E)-2-己烯醇含量下降时 (E)-2-己烯醛含量升高。

3 结论

电子鼻分析技术可以高效的将不同货架温度下的樱桃成功区分开,粗略的得到气味随着不同处理发生改变的趋势,在此基础上结合 SPME-GC-MS 技术对樱桃内部挥发性的物质继续进行鉴别。13℃-1、4、6d,20℃-1、4、6d 中分别主要鉴别出来 17、21、18、17、17、14 种含量较高的挥发性的物质。其中苯甲醇、(E)-2-己烯醇、己醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醛含量较高,这 5 种含量较高的芳香物质即沙蜜豆樱桃的主要香气成分,它们各自的特殊香气综合构成了沙蜜豆樱桃的独特气味。实验发现 13℃ 下 (E)-2-己烯醛在 1、4d 时含量趋于平稳状态,随着货架期的延长到达 6d 时抑制受到缓和使得 (E)-2-己烯醛含量突增。在 20℃ 下 (E)-2-己烯醛在 1、4d 时处于最高含量状态,当 6d 时其含量急剧下降。可能是由于 (E)-2-己烯醛会受到低温影响,抑制其含量的增加。芳香物质中的醇类和醛类出现了相互转化的作用,当醇类含量下降时,醛类含量升高,当醇类含量升高时,醛类含量呈下降趋势。

综上所述,对货架期樱桃不同温度处理下芳香性物质的研究,为今后樱桃货架期温度的选择等提供了科学的理论依据。

参考文献

[1] 李晓青,韩燕丽.大樱桃贮藏保鲜技术[J].保鲜与加工,2006,6(5):25.
 [2] 张宗坤,张超杰,刘万好.浅谈大樱桃冷藏保鲜技术[J].烟台果树,2006(1):17-19.
 [3] 兰鑫哲,姜爱丽,胡文忠.甜樱桃采后生理及冷藏保鲜技术进展[J].食品工业科技,2011(11):535-538.
 [4] 生兆江,生吉萍.几种樱桃的营养成分测定[J].莱阳农学院学报,1989,6(4):28-32.
 [5] 张晓华,张东星,刘远方,等.电子鼻对苹果货架期质量的评价[J].食品与发酵工业,2007,33(6):20-23.
 [6] 惠国华,厉鹏,吴玉玲,等.基于电子鼻系统的水果腐败过程表征方法[J].农业工程学报,2012,28(6):264-268.
 [7] 王金美.电子鼻及其在食品行业中的应用[J].山东食品发酵,2009(1):37-41.
 [8] García M, Fernández M J, Fontecha J L, et al. Differentiation

of red wines using an electronic nose based on surface acoustic wave devices [J]. Talanta, 2006, 68 (4) :1162-1165.

[9] Wiklund S, Johansson E, Sjöström L, et al. Visualization of GC/TOF-MS-based metabolomics data for identification of biochemically interesting compounds using OPLS class models [J]. Analytical chemistry, 2008, 80 (1) :115-122.

[10] Rizzolo A, Bianchi G, Vanoli M, et al. Electronic nose to detect volatile compound profile and quality changes in 'Spring Belle' peach (*Prunus persica* L.) during cold storage in relation to fruit optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 61 (8) :1671-1685.

[11] Baietto M, Wilson A D. Electronic-Nose Applications for Fruit Identification, Ripeness and Quality Grading [J]. Sensors, 2015, 15 (1) :899-931.

[12] Spinelli F, Noferini M, Vanneste J L, et al. Potential of the electronic-nose for the diagnosis of bacterial and fungal diseases in fruit trees [J]. EPPO bulletin, 2010, 40 (1) :59-67.

[13] 徐永霞,刘滢,姜程程,等.电子鼻结合气质联用法分析大菱鲆冷藏过程中挥发性成分变化[J].食品与发酵工业,2014,40(1):193-197.

[14] 江津津,陈丽花,黎海彬,等.基于电子鼻的鱼露香气品质识别[J].农业工程学报,2012,27(12):374-377.

[15] 缪芳芳,丁媛,蔺佳良,等.应用电子鼻和气质联用仪研究不同采收季节浒苔的挥发性物质[J].现代食品科技,2014,30(8):258-263.

[16] 裴迪红,宋绍华,苏秀榕,等.浒苔加热过程中挥发性风味成分的变化[J].中国食品学报,2013(5):246-253.

[17] 巨玉佳,梁琪,张炎,等.电子鼻联合 GC-MS 分析不同牦牛乳干酪中特征挥发性成分[J].食品与机械,2014(4):14-17.

[18] 房一明,谭乐和,初众,等.巧克力香气成分的 GC-MS 与电子感官分析[J].热带作物学报,2013,34(8):1576-1582.

[19] 黄业传,李凤,黄甜,等.利用电子鼻和气质联用研究腊肉挥发性风味物质的形成规律[J].食品工业科技,2014,35(6):73-77.

[20] 张鹏,李江阔,陈绍慧.气质联用和电子鼻对 1-MCP 不同处理时期苹果检测分析[J].食品与发酵工业,2014(9):28.

[21] 丁媛,周君,郑平安,等.基于 SPEM-GC-MS 和电子鼻研究温度对毛蚶挥发性物质的影响[J].核农学报,2013,27(12):1873-1880.

[22] 秦玲,蔡爱军,张志雯,等.两种甜樱桃果实挥发性成分的 HS-SPME-GC/MS 分析[J].质谱学报,2010,31(4):228-234.

[23] 王家喜,王江勇,高华君,等.两种砧木对布鲁克斯大樱桃果实芳香成分的影响[J].中国农学通报,2009,25(10):187-190.

[24] 张序,姜远茂,彭福田,等.'红灯'甜樱桃果实发育进程中香气成分的组成及其变化[J].中国农业科学,2007,40(6):1222-1228.

[25] 张序,姜远茂,彭福田,等.顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术分析甜樱桃芳香成分[J].分析实验室,2006,24(11):51-53.

[26] 张序.甜樱桃芳香物质的组成及其影响因素研究[D].泰安:山东农业大学,2006.