

电子鼻结合 GC-MS 分析不同处理 蓝莓货架期间果实的挥发性成分

薛友林¹, 董立超¹, 张鹏^{2,*}, 李春媛², 李江阔²

(1. 辽宁大学轻工产业学院, 辽宁沈阳 110036;

2. 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)

摘要: 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(head space solid-phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 联用并结合电子鼻技术检测蓝莓冰温贮藏(-0.5 ± 0.3) °C 30 d 后 4 °C 货架期的挥发性成分, 研究 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP) 结合气调保鲜(MAP) 处理对蓝莓贮后货架期间挥发性成分变化的影响。结果表明: 在蓝莓货架期过程中醛类(24.86%~91.98%)、醇类(0.24%~23.85%)、萜类(2.00%~43.00%) 是最主要挥发性成分, 特征挥发性成分为 2-己烯醛(青草香气)、芳樟醇(浓青带甜的木青气息)、香叶醇(温和、甜的玫瑰花气息)。对蓝莓挥发性成分的分析使用判别分析法优于主成分分析法, 可以看出 3 d 是货架期蓝莓主要挥发性成分的变化拐点, 且贡献率最高的传感器为 W5S。MAP + 1-MCP 联合处理可延缓货架期间醛类成分流失, 对于醛类流失抑制效果顺序为 MAP + 1-MCP > 1-MCP > MAP > CK。

关键词: 蓝莓, 1-MCP, MAP, 挥发性成分, 货架期

Analysis of the Volatile Components of Blueberry Fruits with Different Treatments during Shelf Life by GC-MS Combined with Electronic Nose

XUE You-lin¹, DONG Li-chao¹, ZHANG Peng^{2,*}, LI Chun-yuan², LI Jiang-kuo²

(1. College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China;

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

Abstract: To explore the effect of 1-methylcyclopropylene (1-MCP) combined with MAP on the volatile components of blueberries during shelf storage, headspace solid-phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was used in combination with electronic nose technology to detect the volatile components in blueberry shelf life at 4 °C after 30 days of ice temperature storage (-0.5 ± 0.3) °C. The results showed that aldehydes (24.86%~91.98%), alcohols (0.24%~23.85%), terpenes (2.00%~43.00%) were the most volatile components during the shelf life of blueberry, and the characteristic volatile components were 2-hexenal (grass aroma), linalanol (thick green with sweet wood green breath) and geraniol (mild and sweet rose breath). Discriminant analysis was superior to principal component analysis in analyzing volatile components of blueberry. It could be seen that 3 d was the inflection point of change of major volatile components of blueberry in shelf life, and the sensor with the highest contribution rate was W5S. The combined treatment of MAP + 1-MCP could delay the loss of aldehydes during shelf life, and the sequence of inhibitory effect on aldehydes loss was MAP + 1-MCP > 1-MCP > MAP > CK.

Key words: blueberry; 1-MCP; MAP; volatile component; shelf life

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)19-0297-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.19.046

引文格式: 薛友林, 董立超, 张鹏, 等. 电子鼻结合 GC-MS 分析不同处理蓝莓货架期间果实的挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 297-303, 320.

收稿日期: 2019-11-27

作者简介: 薛友林(1980-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: xueyoulin@lnu.edu.cn.

* 通讯作者: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜, E-mail: zhangpeng811202@163.com.

基金项目: 天津市农业科学院青年科研人员创新研究与实验项目(2019009); 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1807270); 国家重点研发计划资助(2018YFD0401303)。

蓝莓又名越橘,因其是深蓝色的小浆果类也被叫作蓝浆果,属于杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium*)植物,蓝莓中含有丰富的花青素、黄酮、酚、醛等成分^[1],蓝莓中因有预防癌症糖尿病、神经衰退清除抗氧化自由基等功能为人们所熟知^[2]。蓝莓果实为圆形,成熟果实口感细腻,风味独特,营养丰富,堪称“世界水果之王”,被联合国粮农组织列为人类五大健康食品之一^[3]。但是蓝莓果实不耐贮存,果实腐败后常产生不愉快气味,电子鼻是一种新型仿生技术,通过模拟动物嗅觉系统,收集食品样品气味的指纹数据来实现品质评价,其具有准确度高、重复性好、不存在人的主观臆断的特点而优于感官评价,广泛应用于食品领域,尤其是在果蔬保鲜领域中是一种非常好的无损检测方法^[4],通过与顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用可分析鉴定面包、线椒、海参、竹叶等挥发性成分变化^[5-8]。

中国对于蓝莓的贮藏保鲜已研究出多种方法,最常用是低温、CAP、MAP、1-MCP等方法的联合处理^[9-11]。但对于贮藏后的销售过程,国内学者研究较少,常温放置的蓝莓存放2~3 d品质就会劣变,目前针对超市中的蓝莓保鲜,在销售过程中大多放置低温货柜内保藏,采取塑料盒包装结合低温的保鲜模式。目前学者们对蓝莓货架期内挥发性成分的报道较少,且大多是从生理、品质指标分析蓝莓货架期间成分变化,本实验以不同保鲜方法冰温贮藏30 d后的蓝莓为实验对象,模拟大多数超市货架温度4℃,运用电子鼻结合GC-MS技术分析进行蓝莓货架期间挥发性成分的变化,以为蓝莓保鲜贮藏提供一些技术支持。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

蓝莓品种,莱克西 采自浙江宁波森田蓝莓采摘园;便携式塑料气调箱(规格:28 cm×22 cm×12 cm,内置2个篮筐,箱2个侧面分别有3个气调窗,其中左右气调窗为在长2 cm宽1.5 cm的长方形中开横4竖3的直径为1 mm的12个圆孔,中间为长2 cm宽1.5 cm的长方形气调窗,气调箱配套气调元件) 宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司;1-MCP便携式包装 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)提供。

3-30K离心机 德国SIGMA公司;恒温水浴锅 金坛市金南仪器制造有限公司;PEN3型便携式电子鼻 德国Airsense公司;固相微萃取手柄和50/30 μm DVB/CAR/PDMS固相微萃取纤维头,美国Supleco公司;PC-420D数字型磁力加热搅拌装置 美国Corning公司;Trace DSQ MS气相色谱-质谱联用仪 美国Finnigan公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试材处理 采摘时选取大小一致、无机械损伤与病虫害的成熟果实,阶段预冷(3.5~4.5℃条件下预冷6~10 h,-1.6~-1.2℃温度下驯化6~8 h)后直接装入便携式塑料气调箱中做相应处理:a.1-MCP:供试蓝莓果实装入便携式塑料气调箱内(2.4 kg/箱),放

入1-MCP药品(空间1-MCP浓度1.0 μL/L),扣盖并粘贴封闭气调元件,处理24 h后,打开封闭气调元件;b.MAP:供试蓝莓果实装入便携式塑料气调箱内(2.4 kg/箱),扣盖并粘贴气调元件;c.1-MCP+MAP:供试蓝莓果实装入便携式塑料气调箱内(2.4 kg/箱),放入1-MCP药品(空间1-MCP浓度1.0 μL/L),扣盖并粘贴气调元件;d.对照(CK):供试蓝莓果实装入便携式塑料气调箱内(2.4 kg/箱),不粘贴气调元件。然后,通过顺丰冷链物流车运至实验室并放入冰温库((-0.5±0.3)℃),预冷24 h后贮藏30 d。然后将四组处理蓝莓从冰温库取出,挑选完好成熟的蓝莓装入货架零售盒内置于4℃冰箱内。分别在贮藏的第0、3、6、9、12 d时取样,利用电子鼻和GC-MS测定蓝莓挥发性成分的变化。

1.2.2 电子鼻检测方法 PEN3便携式电子鼻由金属氧化物气体传感器阵列、气体采样装置和信号处理单元组成,传感器具有10个金属氧化物半导体型化学传感元件,如表1所示每种传感元件对应的敏感成分类型不同。取蓝莓35个于洁净干燥的600 mL烧杯中,用保鲜膜封口,在常温下封口平衡10 min后采用顶空吸气法进行数据采集。测定条件:传感器清洗时间70 s,自动调零时间10 s,样品准备时间5 s,样品测试时间50 s,样品测定间隔时间1 s,内部流量100 mL/min,进样流量100 mL/min。为了保证实验数据的稳定性和精确度,选取测定过程中第48~50 s的数据用于后续分析。为了消除漂移现象,更好地保证测量数据的稳定性和精确度,要求每次测量前后,传感器都要进行清洗和标准化。统计分析10个不同选择性传感器的G/G₀值。每个处理重复测定6次。

表1 电子鼻传感器名称与其响应成分

Table 1 Electronic nose sensors and their response to odorant compounds

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香性成分敏感
2	W5S	对氮氧化物反应灵敏,尤其是对阴性氮氧化物感应更加灵敏
3	W3C	对氨类、芳香型化合物敏感,主要对氨水灵敏
4	W6S	主要对氢气敏感
5	W5C	对烷烃、芳香型化合物敏感,极性很小的化合物
6	W1S	主要对烃类敏感,灵敏度大
7	W1W	主要对硫化物敏感,对很多的萜烯类和有机硫化物也都很敏感
8	W2S	对醇类灵敏,对羰基也都有响应
9	W2W	对芳香成分和有机硫化物敏感
10	W3S	对烷烃敏感,对甲烷非常敏感

1.2.3 HS-SPME-GC-MS测定方法 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和气相色谱/质谱分析(GC-MS)联用法测定,选用100 μm PDMS萃取头;气相色谱条件:HP-INNOWAX色谱柱(30 m×250 μm×

0.25 μm); 程序升温: 40 $^{\circ}\text{C}$ 保留 2 min, 然后以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 150 $^{\circ}\text{C}$ 保留 1 min, 再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 210 $^{\circ}\text{C}$ 保留 5 min。传输线温度为 250 $^{\circ}\text{C}$ 。载气为 He, 流速 1 mL/min, 不分流。质谱条件: 连接杆温度 280 $^{\circ}\text{C}$, 电离方式为 EI, 离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$, 扫描范围 35~350 amu。通过检索 NIST/WILEY 标准谱库, 进行定性分析, 用峰面积归一法测算各挥发性成分的相对含量。

1.3 数据处理

通过 NIST/Wiley 标准谱库检索, 结合文献的标准谱图, 进行定性分析, 并用峰面积归一法测算各化学成分的相对含量。利用电子鼻 Winmuster 分析软件对采集到的数据进行分析, 选取 48~50 s 区间内的平稳数值, 采用负荷加载分析 (loadings analysis, LA) 及线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA)。图表采用 Excel 制作分析。

2 结果与分析

2.1 主成分分析货架期蓝莓挥发性成分

PCA 是将数据降维并进行线性分类, 得到主要的二维散点图, 可从复杂的挥发性成分中筛选出关键综合因子^[12]。在 PCA 分析中, 对四种处理的电子鼻数据进行两两比较, 其中第一主成分 (PC1) 和第二主成分 (PC2) 的贡献率分别为 84.644% 和 12.717%, 86.367% 和 10.907%, 90.356% 和 7.181%, 累计贡献率分别为 97.361%、97.274%、97.537%, 其累计贡献率都大于 95%, 表明了 2 个主成分已经能基本代表了样本的主要信息特征, 对于同一处理的蓝莓, 货架期内蓝莓虽然有主成分在不同区域, 且分界明显, 但是仍有部分货架时间重叠交叉未能明显看出差异。可见, 主成分分析方法并不能很好地区分不同货架时间的蓝莓。此外发现四种处理在货架 3 d 时第一主成分位移均处于一个较高数值而后下降, 可见 3 d 是货架期蓝莓主要挥发性成分的变化拐点, 而联合处理的蓝莓在 9 d 时达到第一主成分位移最大可推测联合处理对蓝莓主要挥发性成分的释放具有一定的抑制效果。

2.2 线性判别分析货架期蓝莓挥发性成分

线性判别分析 (linear discrimination analysis LDA) 是一种将原始数据投影到低维的方向, 以所采集挥发性成分响应值的空间分布状态及彼此间的投影距离表现气味变化的速率, 是判别函数分析的前提。与 PCA (主成分分析) 相比, LDA 能够收集传感器所有信息并进行标准正常化转换, 更好地解决分类问题, 这在苹果、海棠果、杏鲍菇等果蔬中已广泛应用^[13-15]。从图 2 中椭圆的分布位置来看, 同一处理的不同货架时间可明显分开, 可以看出货架过程中蓝莓挥发性成分差别明显, 说明 LDA 能够很好地区分不同货架时间下蓝莓的挥发性成分, 优于 PCA 分析。由图 2A 可知, MAP 处理较 CK 组, 除 3 d 时二者第一判别式未有良好的区分, 在其余货架时间下均可有效地区分, 以 0 和 6 d 最为明显 (距离越大表明变化越快、越明显), 说明 MAP 处理对蓝莓品质有较为明显的改变。

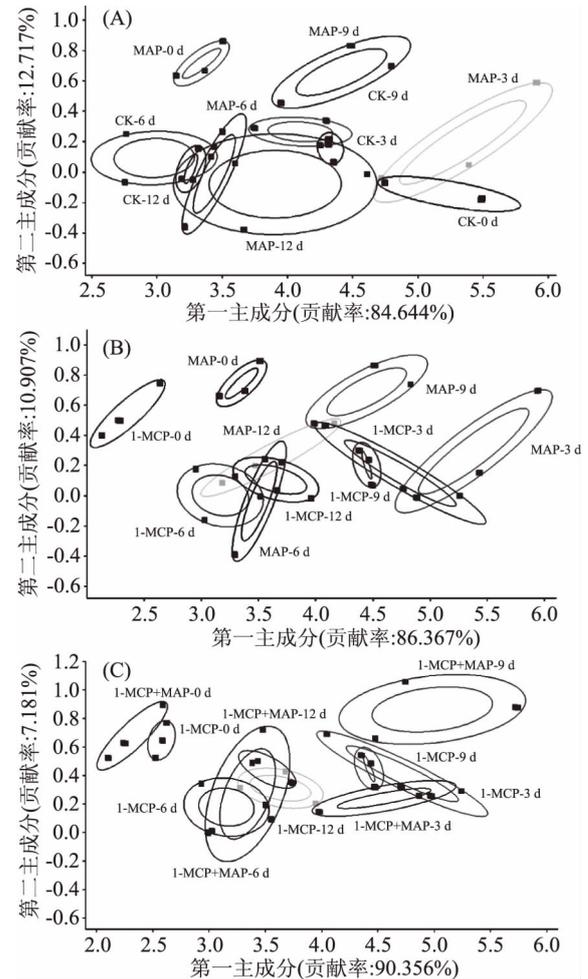


图 1 不同处理的主成分分析

Fig.1 Principal component analysis of different treatments

注: 图中 A 为对照组 (CK) 与 MAP、B 为 MAP 与 1-MCP、C 为 1-MCP 与 1-MCP + MAP 处理之间比较。

图 2B 中显示 MAP 与 1-MCP 在蓝莓货架期判别分析的结果, 可以看出这两种不同处理在 0、3、6 d 有着明显的差异, 说明这两种处理对蓝莓货架前期有着明显的改变。

图 2C 中可看出, MAP + 1-MCP 处理相较 1-MCP 单独处理, 对蓝莓货架贮藏期间并未有明显改善, 区域并未完全分离, 可见对于挥发性的香气成分 1-MCP 与 MAP + 1-MCP 相差不大, 需要进一步借助 GC-MS 等仪器进行进一步分析。

2.3 载荷分析货架期蓝莓挥发性成分

载荷分析 (loadings analysis): 与 PCA 分析基于相同的算法, 每个传感器贡献率系数在载荷图 PCA 坐标系上的位置可以体现其变量解释能力, 即对特定气味的分辨力, 位于靠近原点位置的传感器贡献率最低, 在当前分析中的重要性最差, 远离原点的传感器贡献率高^[16]。

载荷分析的总贡献率分别为 97.361%、97.274%、97.537%, 达到 97% 以上, 基本代表了样品的全部特征信息。利用电子鼻 PEN3 系统进行传感器载荷分析表明, 贡献率最大的为传感器 W5S, 其次为 W1S、W2S、W1W 等, 可见蓝莓挥发性成分中氮氧化物含

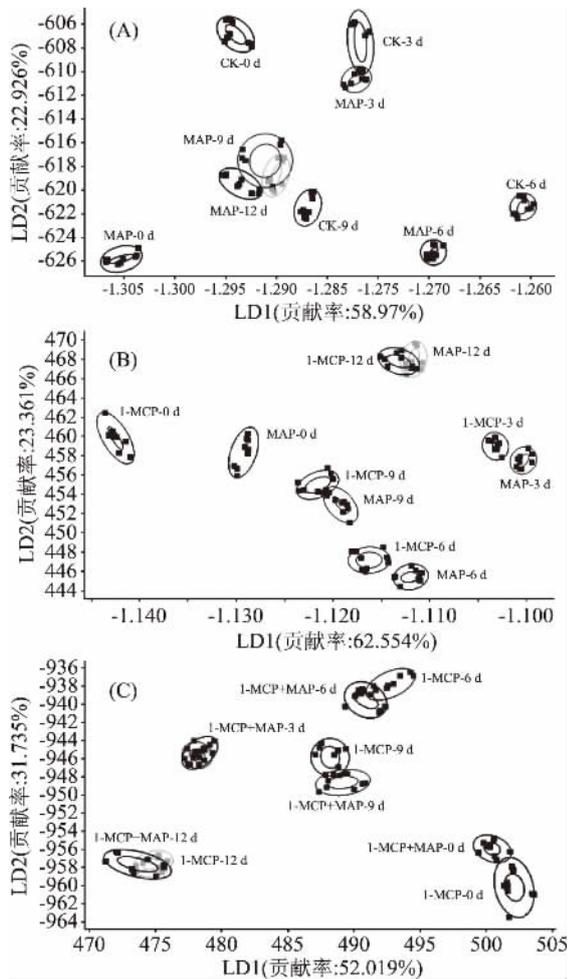


图2 不同处理的LDA分析

Fig.2 LDA analysis of different treatments

注: 图中A为对照组(CK)与MAP、B为MAP与1-MCP、C为1-MCP与1-MCP+MAP处理之间比较。

量最高,这为之后的确定优化传感器阵列方法,使电子鼻可以用更少的传感器达到更好的分类效果,为电子鼻传感器阵列优化提供了新的思路和方法^[17]。

2.4 蓝莓货架期间GC-MS检测结果分析

从表2可知,用GC-MS共检测出76种挥发性成分,可分为8大类:醇(16种)、烷烃(11种)、醛(9种)、酮(1种)、酯(6种)、萜(14种)、杂环烃(3种)、其他(16种),CK、MAP、1-MCP、MAP+1-MCP中分别检测到45、41、38和43种化合物。实验中检测出的醛类主要为2-己烯醛(20.44%~82.42%)、己醛(0~12.91%);酮类主要为大马士酮(0~0.31%);醇类主要为反式-2-己烯-1-醇(0~22.71%);萜类成分主要为芳樟醇(0~11.43%)、香叶醇(0.2%~15.10%);杂环类成分主要是3,6-二氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃(0~0.55%);烃类成分主要是3,7-二甲基-1-辛烯(0~0.71%);酯类成分主要是异戊酸甲酯(0~0.44%);其他类成分主要是2,6-二叔丁基对甲酚(0~1.77%),这些物质均为该类分组内相对含量较高的物质,其中主要构成成分的结果与其他研究学者相似^[18-19]。

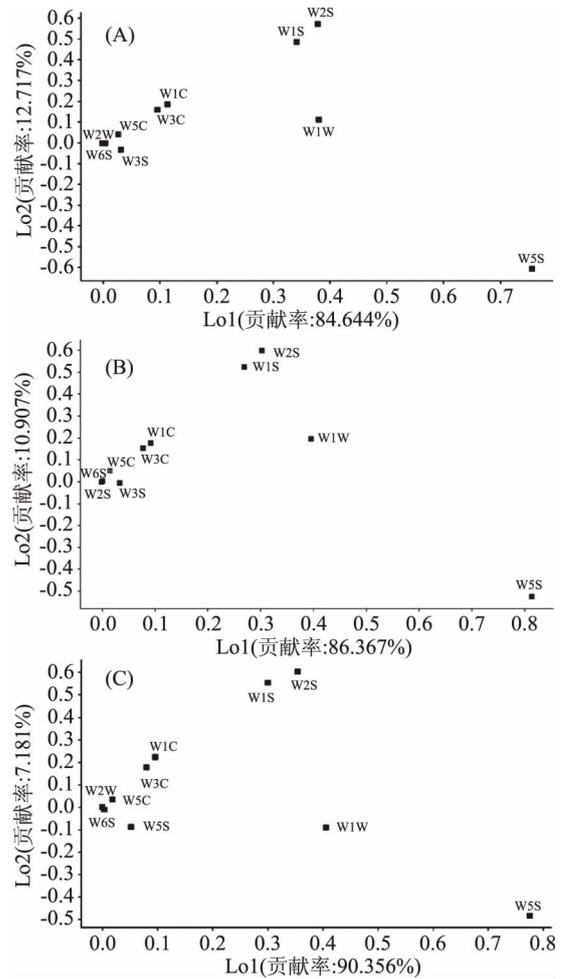


图3 蓝莓挥发性成分的载荷分析

Fig.3 Load analysis of volatile components in blueberries

注: 图中A为对照组(CK)与MAP、B为MAP与1-MCP、C为1-MCP与1-MCP+MAP处理之间比较。

HS-SPME-GC-MS对样品的解析均在93%以上,检测数据可代表整个样品数据。其中醛类成分的相对含量变化较大,醛类(24.86%~91.98%)、醇类(0.24%~23.85%)、萜类(2.00%~43.00%),三者加和在货架所有天数内均大于71%,可见这三种物质为蓝莓内最主要的构成成分。在货架过程中,不同处理后货架期蓝莓的挥发性种类会不同程度减少,1-MCP组尤为明显,比CK组减少了7种化合物,但也有不同于其他处理组的化合物生成,如庚基氢过氧化物、5-异丙烯基-2-甲基环己醇等。实验中发现了几个特殊的物质,反式-2-己烯-1-醇这种物质在CK组和MAP组蓝莓货架9d时相对含量分别为22.71%、20.48%,可以明显看出使用1-MCP处理可明显减少货架期间内醇类物质的相对含量,相较CK组和MAP组,使用1-MCP的处理组,反式-2-己烯-1-醇均位于实验仪器的检测线以下,推测与1-MCP这一化合物的添加有关。由图中还可以发现采用不同处理后可抑制货架期中4-二甲基-3-环己烯-1-乙醛这种成分的合成时期,CK组在货架3d就能检测出0.11%的4-二甲基-3-环己烯-1-乙醛,而经过MAP或1-MCP处理后的蓝莓在货架9d时

才被检测出,而联合处理的蓝莓虽然在货架6 d时被检测到0.21%,但贮藏期内其相对含量远低于MAP或1-MCP组,推测这种成分与蓝莓衰老有着密切关系,且MAP与1-MCP联合处理对这种成分生成的抑制效果较好。实验中发现MAP和1-MCP联合处理的12 d,其他类中庚基氢过氧化物这种物质被检出22.2%,推测其是蓝莓衰老腐败过程中醛类或

者萜类的某种中间代谢产物。

此外,在挥发性成分中香叶醇具有类似玫瑰花的温和香甜气味,是一种重要的天然香精香料。芳樟醇主要是呈现浓青带甜的木青气息。在醛类中,2-己烯醛高浓度时具强烈的青草气味,低浓度时则呈新鲜水果的清香味,由于这些成分的存在蓝莓呈现出一种特殊风味^[20]。在挥发型香气成分中芳樟醇

表2 蓝莓货架期挥发性成分相对含量变化

Table 2 Relative content changes of blueberry volatile substances during shelf life

编号	中文名	CK-无气调处理相对含量(%)				MAP处理相对含量(%)				1-MCP处理(%)				MAP+1-MCP处理(%)								
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	
1	(Z)-4-癸烯醇	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2-乙基-1-己醇	1.03	-	-	-	-	0.52	-	-	-	0.52	0.99	-	-	1.12	0.47	-	-	-	-	-	-
3	2,6-二甲基-5,7-辛二烯-2-醇	-	-	-	-	0.30	-	-	-	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	4-松果醇	-	0.24	-	-	-	-	0.47	-	3.26	-	-	1.88	-	-	10.94	-	-	-	-	-	-
5	2-丙基-1-戊醇	-	-	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2-癸炔-1-醇	-	-	0.48	-	0.34	-	-	-	1.17	-	0.35	-	0.85	1.01	0.30	-	0.44	0.53	0.54	-	-
7	2,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	-	-	-	-	-	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	顺式薄荷-1(7),8-二苯基-2-醇	-	-	0.24	-	-	-	-	-	0.39	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2-壬炔-1-醇	-	-	-	-	-	-	-	1.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	反式-2-己烯-1-醇	-	-	-	22.71	-	-	-	-	20.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	3,7-二甲基-1,7-辛二烯-3-醇	-	1.05	1.46	0.92	1.14	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	5-异丙烯基-2-甲基环己醇	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1-辛醇	-	-	-	1.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	10-十一碳烯-1-醇	-	-	-	-	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	2-癸烯-1-醇	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	(Z)-2,6-二甲基-2,7-辛二烯-1,6-二醇	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26
	小计	1.27	0.24	0.72	23.85	0.83	1.08	0.91	0.47	23.45	3.50	0.75	0.52	2.87	2.39	1.01	1.42	11.41	0.44	0.53	0.80	-
1	2-十五烷基-1,3-二氧六环	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2,2,6-三甲基庚烷	-	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2-甲基十八烷	-	-	-	-	-	-	-	0.38	-	-	-	1.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1-碘-2-甲基十一烷	-	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2-甲基二十烷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,3-环己二烯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-
7	o-伞花烃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	-	-	-	-	-	-
8	环庚烷	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	3,7-二甲基-1-辛烯	-	-	0.42	-	0.41	-	-	-	-	-	-	0.34	0.62	0.71	-	-	0.48	-	0.52	-	-
10	(Z)-3-十一碳烯	-	-	-	-	-	-	-	-	1.05	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-
11	1,1'-氧双-辛烷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41
	小计	0.36	0.47	0.42	0.00	0.41	0.00	0.24	0.38	1.05	0.00	2.89	1.72	0.62	0.91	0.00	0.83	0.48	0.00	0.93	-	-
1	己醛	5.77	9.92	7.37	-	7.16	8.96	9.56	8.09	2.70	6.25	5.05	12.01	8.20	5.28	3.23	6.30	12.91	5.57	6.09	3.48	-
2	2-己烯醛	72.47	72.90	56.47	20.44	60.35	72.93	82.42	70.54	30.56	57.81	66.85	76.07	67.25	52.73	47.94	68.06	67.08	60.97	63.57	42.04	-
3	2-癸烯醛	-	1.05	1.46	0.92	1.14	-	-	0.89	-	1.20	1.02	-	-	-	-	-	-	-	0.93	-	-
4	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	-	-	0.28	1.24	0.32	-	-	0.53	0.22	0.29	-	-	0.35	0.38	0.20	-	0.20	0.24	0.49	-	-
5	4-二甲基-3-环己烯-1-乙醛	-	0.11	0.33	0.31	0.22	-	-	0.49	0.27	-	-	-	0.46	0.51	-	-	0.21	0.24	0.27	-	-
6	癸醛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-
7	顺-7-癸烯醛	-	-	-	1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.88	-	-	-
8	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	-	-	-	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.54	-	-	-	-	-	1.09
9	1-烯丙基环丙基甲醇	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-	-	-
	小计	78.24	83.98	65.91	24.86	69.19	81.89	91.98	79.52	34.28	65.75	73.21	88.08	75.45	58.82	53.60	74.89	79.99	68.04	71.07	47.37	-
1	大马士酮	-	-	0.23	0.26	0.27	-	-	0.25	0.26	-	-	-	-	0.31	-	-	0.28	-	0.21	-	-
	小计	0.00	0.00	0.23	0.26	0.27	0.00	0.00	0.00	0.25	0.26	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.28	0.00	0.21	-	-
1	N-羟基苯甲亚胺酯	-	0.21	-	0.26	-	-	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	异戊酸甲酯	-	-	-	-	0.27	-	0.19	0.25	-	0.33	0.24	-	0.44	0.37	0.29	-	0.28	-	0.30	-	-
3	2-甲基,2-乙基-1,3-丙二基丙酸酯	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	乙酸二氢香芹酯	-	-	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	-
5	(E)-乙酸-2-己烯-1-醇酯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25
6	乙酸薄荷酯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24
	小计	0.13	0.21	0.00	0.26	0.27	0.00	0.19	0.25	0.46	0.33	0.24	0.00	0.44	0.37	0.75	0.00	0.28	0.00	0.30	0.49	-
1	β -蒎烯	-	-	-	0.52	0.28	1.09	-	-	0.32	0.20	-	-	-	0.24	0.32	-	-	-	1.92	-	-
2	芳樟醇	5.41	4.13	10.33	10.67	7.80	4.84	1.64	5.60	7.76	7.76	7.47	1.23	-	9.72	11.43	6.96	0.87	7.55	6.90	7.25	-
3	罗勒烯	0.54	0.28	1.31	3.31	1.03	0.24	0.00	1.19	5.25	2.15	1.01	0.00	1.07	2.94	4.06	0.70	0.00	2.30	2.70	1.37	-
4	蒎品烯-4-醇	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	alpha-松油醇	2.91	1.88	0.53	7.33	3.44	3.04	0.51	0.44	8.23	5.85	4.18	0.20	0.38	8.82	9.94	3.99	-	0.53	5.66	5.27	-
6	橙花醇	0.21	-	0.52	1.30	-	-	-	0.26	0.75	0.42	0.30	-	0.21	0.56	0.68	0.29	-	0.45	0.34	0.41	-
7	香叶醇	3.61	1.54	8.20	15.10	9.05	2.21	0.20	2.90	10.21	7.97	7.12	0.75	3.93	8.47	9.40	5.53	0.31	8.64	5.46	7.33	-
8	松油醇	-	-	0.48	-	-	-	-	-	3.34	-	-	-	2.77	-	-	-	-	-	4.70	-	-
9	6,7-二氢-7-羟基芳樟醇	-	-	-	0.69	-	-	-	-	0.77	-	-	-	-	0.62	0.74	-	-	0.32	0.56	-	-
10	月桂烯醇	-	-	-	0.29	-	-	-	-	0.47	0.20	-	-	-	0.22	0.33	-	-	-	0.23	-	-
11	月桂烯	1.33	1.04	2.44	3.79	2.64	-	-	1.39	2.71	2.13	1.77	0.62	1.40	2.48	2.94	1.56	0.39	2.19	-	2.00	-
12	蒎品烯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43	-	-	-	-
13	二氢月桂烯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	氧化芳樟醇	-	-	-	-	0.20	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	-	-
	小计	14.53	8.87	23.81	43.00	24.24	11.62	2.35	15.43	36.47	26.68	22.05	2.80	9.76	34.07	39.84	19.03	2.00	26.68	24.32	23.63	-

续表

编号	中文名	CK-无气调处理相对含量(%)					MAP处理相对含量(%)					1-MCP处理(%)					MAP+1-MCP处理(%)					
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	
杂环烃	1 2-乙烯基-2,6,6-三甲基四氢-2H-吡喃	0.25	-	0.22	-	0.24	0.28	-	0.26	-	0.31	0.30	-	-	-	-	0.28	-	-	-	-	0.31
	2 2-甲基-5-烯基四氢呋喃	-	-	-	-	0.47	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	0.40	-	-	-	-	0.26	-
	3 3,6-二氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃	0.55	-	0.50	-	-	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.54	-	-	-	-	-
	小计	0.80	0.00	0.72	0.00	0.71	0.72	0.00	0.26	0.00	0.31	0.30	0.00	0.00	0.32	0.40	0.82	0.00	0.00	0.26	0.31	
其他	1 2,6-二叔丁基对甲酚	1.33	1.35	1.30	0.47	0.94	0.52	0.92	-	0.81	0.64	0.58	1.04	1.77	0.70	0.52	0.81	-	1.42	0.45	0.63	
	2 2-甲酰基组胺	-	-	-	0.63	-	-	-	-	1.12	0.92	-	0.85	-	1.62	-	0.89	-	-	-	-	
	3 2-氮丙啶基乙基胺	-	-	-	-	-	1.70	-	-	-	-	-	-	-	1.50	-	1.53	-	-	-	-	
	4 1-环己基乙胺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.18	-	-	-	0.35	-	-	-	-	-	
	5 缩水甘油	-	-	-	-	-	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	6 二甲胺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	7 顺式芳樟醇氧化物	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	
	8 甲基牛磺酸	-	-	1.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	9 2,4-二叔丁基苯酚	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	10 3-氧- β ,5-二羟基-n-甲基-苯乙醇胺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	
	11 内里酸	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	12 (E)-1-(2-丙烯氧基)-1-丙烯	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	13 庚基过氧化氢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.20	
	14 顺式马鞭草酚	0.38	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60	-	-	-	-	
	15 细辛醚	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16 丙氨酸	-	-	-	-	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.92	-	-	-	-	
小计	1.71	1.62	2.60	2.66	2.50	2.93	0.92	2.15	1.73	1.24	2.09	1.89	3.27	2.32	1.79	2.94	0.89	1.42	1.85	23.05		
总计	97.04	95.39	94.41	94.89	98.42	98.24	96.59	98.46	97.69	98.07	98.64	96.18	93.51	98.91	98.61	99.10	95.40	97.34	98.33	96.79		

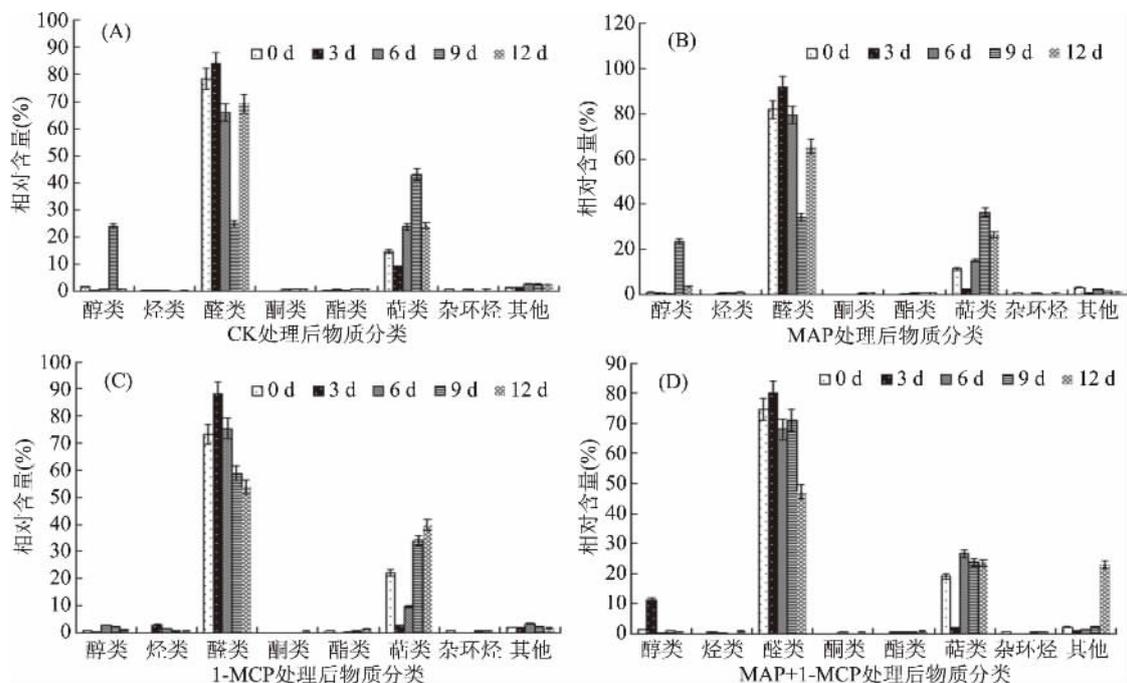


图4 不同前处理方法对蓝莓货架期果实挥发性成分的变化

Fig.4 Changes of volatile components of blueberry fruits in shelf life by different pretreatment methods

(0~11.43%)、橙花醇(0~1.30%)、香叶醇(0.2%~15.10%)为同分异构体,为蓝莓货架期萜类中主要的挥发性成分^[21]。且从相对含量上看,最主要的挥发性成分为2-己烯醛、芳樟醇、香叶醇。

2.5 不同处理对货架期蓝莓挥发性成分相对含量的影响

由图4可知,在蓝莓货架期过程中醛类物质是最主要的成分,在MAP处理的第3d可高达91.98%。在货架0~9d时蓝莓的醛类成分呈现出先升高后降低的趋势,3d时达到顶峰,且CK与MAP处理的蓝莓下降趋势极其相似,并于9d时达到最低值,相反,醇类物质和萜类物质呈现出先降低后升高的相反变化,推测在货架期间蓝莓内醛类、醇类、萜

类这三种成分通过某种代谢过程相互转化,在成熟过程中先生成醛类成分而衰老过程生成醇、萜类成分^[22]。在货架12d,CK、MAP的醛类出现了大幅度回升,此时蓝莓处于即将腐烂的状态,推测此时细胞衰老死亡体内大量的成分流出导致挥发性成分大幅变化,且挥发性成分丧失^[23],但是对于MAP+1-MCP联合处理的蓝莓,其在12d时出现了醛类成分大幅下降的情况,与其他处理组9d时变化相似,可见1-MCP结合MAP处理可抑制在货架后期醛类物质含量的减少,对于醛类这种物质的抑制,1-MCP也优于MAP、CK这两组处理,以货架9d尤为明显,1-MCP组未呈现一个断崖式的下降^[24],对于MAP与CK两组可以发现对于醛类的含量,在贮藏期内除

12 d外均高于CK组,可见其对于醛类物质的保留效果较好。对于醛类这一含量最高的物质抑制流失的效果顺序为MAP+1-MCP>1-MCP>MAP>CK。

3 讨论

1-MCP作为乙烯抑制剂的一种,在控制乙烯的成熟和成熟过程中起着重要的作用,乙烯的合成直接关乎蓝莓的贮藏品质^[25],蓝莓冰温贮藏30 d后在4℃的环境下进行货架模拟,随着货架时间的延长果实内成分发生着明显的改变。应用电子鼻对蓝莓贮藏期间气味进行主成分分析、线性判别分析和载荷分析,发现LDA分析相较PCA分析能有效地将不同货架时间的蓝莓区分开来,且蓝莓的气味变化明显,利用电子鼻无损检测不同蓝莓货架期是可行的。通过结合HS-SPME-GC-MS及电子鼻对蓝莓的测定,确定蓝莓在货架3 d后品质开始逐渐下降,表现3 d时醛类成分达到顶峰,随后醛类物质相对含量均低于3 d时,结合主成分分析结果,可以看出货架3 d是蓝莓品质变化的一个拐点。

利用HS-SPME-GC/MS对蓝莓贮藏期间的挥发性成分进行分析,共检测出76种挥发性成分。其中以醛类成分种类最多含量最高,是蓝莓的主要挥发性气味成分,且醛类成分含量的变化规律与PCA分析中变化趋势相近。但是由于1-MCP的添加和货架期蓝莓内进行着各种复杂代谢反应导致大部分挥发性成分(如芳樟醇、叶香醇、反式-2-己烯-1-醇等)的变化未有一个明显的变化规律。

敏感的传感器与HS-SPME-GC-MS分析所得的特征成分含量结果大致相符。实验中发现一些传感器在模式识别中负载参数近乎零,那么该传感器的识别能力可以忽略不计,在后续试验中可以尝试将那些传感器去除。

4 结论

针对PCA和LDA分析的图像可以观察到,3 d是货架期蓝莓主要挥发性成分的变化拐点,对于货架期的判别,判别分析法优于主成分分析法。传感器载荷分析表明,贡献率最大的为传感器W5S。HS-SPME-GC-MS所得结果中三大主要物质醛类(24.86%~91.98%)、醇类(0.24%~23.85%)、萜类(2.00%~43.00%)加和均大于71%,是蓝莓内主要的挥发性物质。特征挥发性成分为2-己烯醛、芳樟醇、香叶醇。对于电子鼻结合GC-MS分析结果的探讨,可见MAP+1-MCP联合处理对蓝莓延缓挥发性成分流失效果较好,对于醛类抑制流失的效果顺序为MAP+1-MCP>1-MCP>MAP>CK。

参考文献

- [1] 林玲娜. 蓝莓贮藏保鲜技术研究综述[J]. 甘肃农业科技, 2018(6): 81-87.
- [2] 谭飞菲, 孙斐. 我国蓝莓产业发展概况[J]. 中国果菜, 2017, 37(8): 39-43.
- [3] 姜爱丽. 蓝莓果实采收后生理生化代谢及调控研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
- [4] 吴文娟. 检测农产品挥发性气体的电子鼻研究[D]. 上海:

上海师范大学, 2011.

- [5] 孙莹, 苗榕芯, 江连洲. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析贮存条件对马铃薯面包挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 222-228.
- [6] 潘冰燕, 鲁晓翔, 张鹏, 等. GC-MS结合电子鼻分析1-MCP处理对线椒低温贮藏期挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 238-243.
- [7] 张鹏, 肖水水, 李江阔, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析冷藏期间刺参挥发性成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 204-209.
- [8] 王燕, 胡强, 王延云, 等. 三种竹叶中挥发性成分分析及对比研究[J]. 包装工程, 2019, 40(5): 45-52.
- [9] Xu F X, Liu S Y. Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C irradiation[J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(9): 1-9.
- [10] Grozeff G E G, Alegre M L, Senn M E, et al. Combination of nitric oxide and 1-MCP on postharvest life of the blueberry (*Vaccinium* spp.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 133: 72-80.
- [11] Rodriguez J, Zoffoli J P. Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117: 230-238.
- [12] 谢跃杰, 王仲明, 王强, 等. 不同品种和成熟度蓝莓理化特性的主成分分析评价[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 94-99.
- [13] 曾辉, 刘璇, 吴昕辉, 等. 基于电子鼻技术的不同苹果品种香气的表征与识别[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(4): 197-203.
- [14] 孔繁东, 李鑫, 李江阔, 等. 电子鼻技术对不同处理海棠果贮藏后常温货架期的判别[J]. 食品工业, 2016, 37(4): 108-112.
- [15] 马琦, 伯继芳, 冯莉, 等. GC-MS结合电子鼻分析干燥方式对杏鲍菇挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 276-282.
- [16] 王蔚, 魏日凤, 郭雅玲. 电子鼻快速检测乌龙茶挥发物条件的优化[J]. 热带作物学报, 2019, 40(3): 583-589.
- [17] 徐克明. 电子鼻优化设计及其在坚果品质检测中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [18] 刘虹丽, 张鹏, 李春媛, 等. 贮藏微环境气调对蓝莓货架品质及香气成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(2): 38-46.
- [19] Messner C, Kaloya S, Paterson A, et al. Chapter 64- highbush blueberry varietal flavor characters[J]. Flavour Science, 2014: 343-346.
- [20] Du X, Rouseff R. Aroma active volatiles in four southern highbush blueberry cultivars determined by GC-olfactometry and GC-MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(20): 4537-4543.
- [21] 黄宇平, 刘建军, 陈伟强, 等. 钒化合物催化芳樟醇酯化异构制取香叶醇、橙花醇[J]. 林产化工通讯, 2005(2): 28-30.
- [22] 李天元. 贮藏微环境气体调控保鲜浆果的技术研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016.
- [23] 李天元, 张鹏, 李江阔, 等. 贮藏微环境气体调控对蓝莓

(下转第320页)

- [3] 胡慧芸.一种新型多不饱和脂肪酸混合物的软胶囊制备和对混合型高脂血症大鼠的降脂、抗炎作用及其机制研究[D].武汉:湖北中医药大学,2019.
- [4] Nakamura K, Miyoshi T, Yunoki K, et al. Postprandial hyperlipidemia as a potential residual risk factor [J]. *J Cardiol*, 2016, 67(4): 335-339.
- [5] 杨光, 杜云龙, 朱开梅, 等. 定心藤总黄酮对高脂血症大鼠降血脂的作用研究[J]. *重庆医学*, 2017, 46(4): 433-435, 438.
- [6] Iijima N, Robinson J G. Lipid-lowering effects of ezetimibe and simvastatin in combination [J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2011, 9(2): 131-145.
- [7] Lee S E, Lim C, Lim S, et al. Effect of Ephedrae Herba methanol extract on high-fat diet-induced hyperlipidaemic mice [J]. *Pharm Biol*, 2019, 57(1): 676-683.
- [8] 米云英. 9881名健康体检者高脂血症患病情况与相关因素分析[J]. *中外医疗*, 2011, 30(34): 147-148.
- [9] 王自勤, 王海伟, 苏丹, 等. 参茸益精片对高脂血症大鼠的影响及分子机制研究[J]. *实用药物与临床*, 2018, 21(5): 512-515.
- [10] Svirskis A. Investigation of amaranth cultivation and utilisation in Lithuania [J]. *Agronomy Research*, 2003, 1(2): 253-264.
- [11] Navar - Boggan A M, Peterson E D, Sr D R, et al. Hyperlipidemia in early adulthood increases long-term risk of coronary heart disease [J]. *Circulation*, 2015, 131(1): 451-458.
- [12] Riediger N D, Othman R A, Suh M, et al. A systemic review of the roles of n-3 fatty acids in health and disease [J]. *J Am Diet Assoc*, 2019, 109(4): 668-679.
- [13] Bitzui R, Rozenman Y, Vinker S, et al. Israeli guidelines for the treatment of hyperlipidemia [J]. *Harefuah*, 2015, 154(5): 330-338.
- [14] 豆文科. 反枝苋化学成分的提取分离与结构鉴定[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [15] 张梅, 马可心, 唐丽丽, 等. 外来入侵植物反枝苋对本地植物功能性状的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(10): 2925-2933.
- [16] 贾明, 赵和平, 丁海君, 等. 反枝苋的栽培技术与利用价值[J]. *畜牧与饲料科学*, 2015, 36(11): 39-40.
- [17] Jin H T, Yong Z, Xiang P L. P2X7R: A potential key regulator of acute gouty arthritis [J]. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 2013, 43(3): 376-380.
- [18] 夏克波. 反枝苋化学成分的提取鉴别与含量测定[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [19] 柏祥, 赵美微, 曾广娟. 外来入侵植物反枝苋的应用价值[J]. *中国环境管理干部学院学报*, 2017, 27(6): 27-30.
- [20] Becker R, Wheeler E L, Lorenz K, et al. A compositional study of amaranth grain [J]. *J Food Sci*, 1981, 46(4): 1175-1180.
- [21] 何俊芳. 苦荞麦对高脂血症大鼠的降脂作用及其机制[D]. 上海: 复旦大学, 2014.
- [22] 徐立, 胡瑞斌, 李兆波, 等. STZ 诱导糖尿病大鼠胰腺及肝脏石蜡切片 HE 染色改进方法[J]. *临床与实验病理学杂志*, 2019, 35(9): 1122-1124.
- [23] 孙景权. 6周的不同高脂饲养对SD大鼠体重和 VO_{2max} 的影响[C]//中国体育科学学会运动生理与生物化学分会. 2014年中国运动生理生化学术会议论文集. 中国体育科学学会运动生理与生物化学分会: 贵州省体育科学学会, 2014: 172-173.
- [24] 刘青, 王俊杰, 易果, 等. 泼尼松对小鼠胸腺、脾脏、肝脏脏器指数及肝脏形态学的影响[J]. *湘南学院学报: 医学版*, 2019, 21(3): 14-17.
- [25] 李慧丽. 肥胖、糖尿病、高脂血症与急性胰腺炎关系研究[D]. 济南: 山东大学, 2016.
- [26] 陈晓聿. 400例健康体检者血脂检验结果分析[J]. *中西医结合心血管病电子杂志*, 2019, 7(24): 69.
- [27] 章秋, 代芳. 关注糖尿病患者的认知功能障碍[J]. *中国全科医学*, 2016, 19(2): 130-134.
- [28] 于雪, 苏聪平, 王旭, 等. 山奈酚和芒柄花黄素对H9c2细胞缺氧损伤的保护作用[J/OL]. *辽宁中医杂志*: 1-9 [2020-03-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1128.R.20191104.1001.002.html>.
- [29] Griffin J W D, Bradshaw P C. Effects of a high protein diet and liver disease in an in silico model of human ammonia metabolism [J]. *Theoretical Biology & Medical Modelling*, 2019, 16(1): 11.
- [30] 何健, 殷红霞. 血清TG、TC、ALT及AST检测在诊断脂肪肝中的应用价值[J]. *当代医药论丛*, 2019, 17(17): 147-148.
- [24] Lan R, Zhiming W, Liqiu Z. Effect of glucose oxidase on the preservation of raspberries [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(22): 308-312.
- [25] Tao S C, Chu H L, Chen X M, et al. Study of the effects of 1-MCP to blueberry under cold storage [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, 61: 012041.

(上接第303页)

冷藏期果实品质及挥发性成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(8): 226-234.

[24] Lan R, Zhiming W, Liqiu Z. Effect of glucose oxidase on the preservation of raspberries [J]. *Science and Technology of Food*