

芝麻油中含有内源性香兰素的佐证研究

刘川, 林浩, 肖全伟, 万渝平, 戴琴

(成都市食品检验研究院, 成都 611130)

摘要: 研究芝麻中香兰素的含量水平以及香兰素在芝麻油加工过程的转移情况, 以便为芝麻油中含有内源性香兰素提供佐证。使用高分辨质谱仪和液相色谱-串联质谱仪对芝麻中的香兰素进行定性和定量分析, 对 39 种不同品种、来源的芝麻中的香兰素含量进行了测定、分析, 并对芝麻油加工过程中香兰素的含量变化进行了研究。结果表明, 不同地域的芝麻中香兰素的含量水平不同, 且在加工过程中香兰素能够转移至芝麻油中, 可能导致芝麻油中内源性的香兰素含量范围较大。因此, 不能将芝麻油中检出香兰素作为“假香油”的判定标准, 建议持续研究芝麻及芝麻油中内源性香兰素的含量水平并进行科学分析。

关键词: 芝麻; 芝麻油; 香兰素

中图分类号: TS225.1; TQ646 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7969(2023)01-0110-06

Corroborative study of endogenous vanillin in sesame oil

LIU Chuan, LIN Hao, XIAO Quanwei, WAN Yuping, DAI Qin

(Chengdu Institute of Food Inspection, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to provide evidence for the endogenous vanillin in sesame oil, the content level of vanillin in sesame and the transfer of vanillin in sesame oil processing were studied. The vanillin in sesame was qualitatively and quantitatively analyzed by high-resolution mass spectrometry and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. The vanillin content in 39 kinds of sesame from different varieties and sources were determined and analyzed, and the change of vanillin content during sesame oil processing was studied. The results showed that the content level of vanillin in sesame planted in different regions was various. Moreover, vanillin could be transferred to sesame oil during the processing of sesame, which might lead to a large range of endogenous vanillin content in sesame oil. In conclusion, the detection of vanillin in sesame oil can not be used as the judgement standard of fake sesame oil. It is suggested that the content level of endogenous vanillin in sesame and sesame oil should be continuously studied and scientifically analyzed.

Key words: sesame; sesame oil; vanillin

芝麻油作为一种调味型植物油, 具有浓郁香气和较高的营养价值、经济价值^[1]。近年来已出现不法商人使用劣质油或其他油脂通过添加香兰素、乙基香兰素、乙基麦芽酚等成分勾兑芝麻香油的情况^[2], 引发了社会大众对食品安全问题的高度关

注。香兰素为一种天然植物香料, 具有荚兰豆香气及浓郁奶香, 且香气稳定, 在较高温度下不易挥发^[3]。GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中 B.3 将香兰素列为允许使用的食品用合成香料, 但 B.1 中规定植物油脂中不得添加^[4]。因其天然属性, 不排除芝麻及芝麻油中本身含有香兰素的可能, 已有文献研究表明芝麻油挥发性成分中含有一定浓度的香兰素^[5-6]。香兰素存在邻香兰素和异香兰素两种同分异构体, 两者与香兰素仅苯环上官能团位置不同^[7], 这可能会导致芝麻及芝麻油中香兰素检出的误判, 因此需对芝麻及芝麻油中是否存在香兰素同分异构体进行进一步

收稿日期: 2021-11-15; 修回日期: 2022-10-09

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2022YFS0511)

作者简介: 刘川(1988), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为食品安全检测(E-mail) liuchuanai@hotmail.com。

通信作者: 戴琴, 副高级工程师(E-mail) 740747208@qq.com。

甄别。

本文使用液相色谱-串联质谱法^[8-9]对芝麻中的香兰素含量进行测定,配合使用四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱系统^[10-12]进行辅助定性鉴别。通过检测不同产地芝麻的香兰素含量,证明香兰素为芝麻中的内源性物质并在加工过程中转移至芝麻油,以期为芝麻油中含有内源性香兰素提供依据,为日常监管工作提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

生芝麻:共39种,包括国内19个省份和坦桑尼亚、埃塞俄比亚、多哥3种国外芝麻,其中带皮芝麻31种,脱皮芝麻8种,根据品种可分为黑芝麻17种、白芝麻22种。以上芝麻样品均为网络购买、市场采购和农家收购所得。另通过网络途径购得1种芝麻壳和1种芝麻梗杆。

香兰素(CAS 121-33-5,纯度99.9%),北京曼哈格生物科技有限公司;邻香兰素(CAS 148-53-8,纯度99.95%),上海甄准生物科技有限公司;异香兰素(CAS 621-59-0,纯度98.6%),上海安谱实验科技股份有限公司;甲醇、乙腈、正己烷(色谱纯),德国默克集团;甲酸(色谱纯),美国赛默飞世尔科技公司;实验用水为超纯水(Milli-Q型超纯水仪制备);氯化钠(分析纯,经550℃灼烧5h后备用),重庆万盛川东化工有限公司。

1.1.2 仪器与设备

Thermo Q Exactive Plus 四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱系统,美国赛默飞世尔科技公司;AB Waters ACQUITY UPLC I-Class/Sciex Q-trap 5500型超高效液相色谱-串联质谱仪,美国应用生物系统公司;Mettler-Toledo ME204型和BP211D型分析天平,瑞士梅特勒-托利多集团;Milli-Q型超纯水仪,德国默克集团;Eppendorf Centrifuge 5810 R型高速冷冻离心机,德国艾本德股份公司。

表2 香兰素、邻香兰素和异香兰素的定性离子、定量离子、去簇电压和碰撞能量

| 项目 | 母离子(<i>m/z</i>) | 子离子(<i>m/z</i>) | | 去簇电压/V | 碰撞能量/eV | |
|------|-------------------|-------------------|-------|--------|---------|----|
| | | 定量 | 定性 | | 定量 | 定性 |
| 香兰素 | 153.0 | 93.0 | 125.0 | 60 | 20 | 14 |
| 邻香兰素 | 153.0 | 93.0 | 125.0 | 60 | 20 | 14 |
| 异香兰素 | 153.0 | 93.0 | 125.0 | 60 | 20 | 14 |

2 结果与讨论

2.1 香兰素定性分析

离子扫描发现邻香兰素与异香兰素均存在与香

1.2 实验方法

1.2.1 标准溶液配制

标准储备液:分别称取香兰素、邻香兰素、异香兰素标准品10 mg,加乙腈溶解并定容至10 mL,摇匀。避光于-18℃下保存,保存期为6个月。

系列混合标准工作液:分别准确吸取适量标准储备液于容量瓶中,用乙腈稀释成质量浓度分别为0.5、5、10、20、40、100、200 μg/L的系列混合标准工作液。

1.2.2 试样制备

本实验所用芝麻需提前进行粉碎预处理。取一定量芝麻置于研钵中,研磨成细粉备用。芝麻壳与芝麻梗杆用剪刀剪成粒径约1 mm的细小颗粒备用。

参照文献[7]的方法制备试样。准确称取1 g预处理样品于50 mL具塞塑料试管中,加入1 mL水和10 mL乙腈,涡旋振荡30 s,超声处理25 min,加入1 g氯化钠,于10 000 r/min离心5 min后,取上层清液2 mL于10 mL玻璃离心管中,加入1 mL正己烷,涡旋混合30 s,于5 000 r/min离心3 min后,取下层清液,过0.22 μm有机相滤膜,进样分析。

1.2.3 液相色谱-串联质谱条件

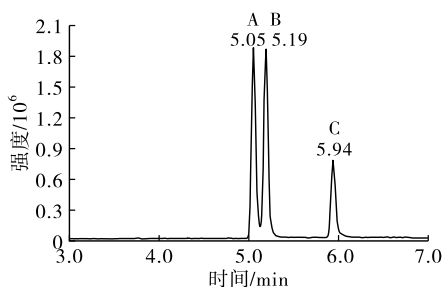
液相色谱条件:ACQUITY UPLC BEH C18 色谱柱(3.0 mm×100 mm, 1.7 μm);柱温35℃;流速0.3 mL/min;进样量2 μL;流动相A为0.1%甲酸水溶液,B为甲醇,梯度洗脱程序见表1。

表1 梯度洗脱程序

| 时间/min | A/% | B/% | 时间/min | A/% | B/% |
|--------|-----|-----|--------|-----|-----|
| 0.0 | 85 | 15 | 7.0 | 50 | 50 |
| 1.0 | 85 | 15 | 8.1 | 85 | 15 |
| 4.0 | 50 | 50 | 10.0 | 85 | 15 |

质谱条件:ESI离子源,正离子模式,气帘气(CUR)压力241 kPa;喷雾气(GS1)压力379 kPa;辅助加热气(GS2)压力379 kPa;离子源温度550℃;离子化电压5 500 V;多反应监测扫描模式。香兰素、邻香兰素和异香兰素的定性离子、定量离子、去簇电压和碰撞能量见表2。

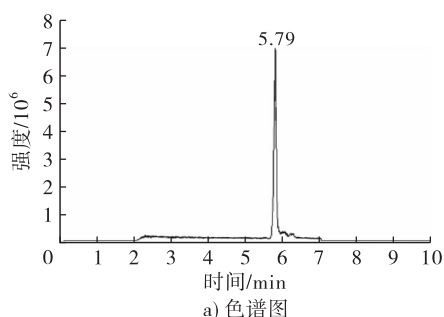
兰素相同的特征子离子。使用本文液相色谱条件对50 μg/L以上3种物质混合标准工作液进行分析,结果见图1。



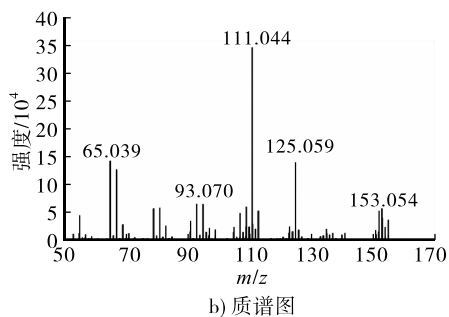
注:A. 邻香兰素;B. 香兰素;C. 异香兰素

图1 香兰素、邻香兰素和异香兰素混合标准

工作液的离子流色谱图

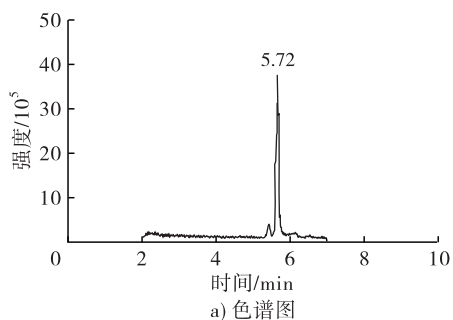


a) 色谱图

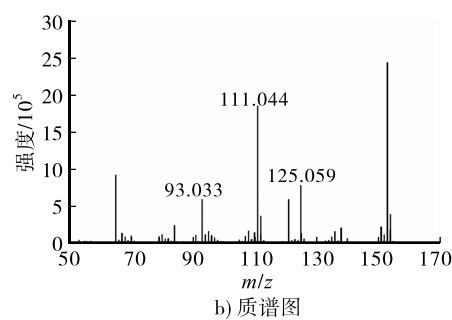


b) 质谱图

图2 香兰素标准工作液在高分辨质谱下的一级离子流色谱图和二级质谱图



a) 色谱图



b) 质谱图

图3 样品溶液在高分辨质谱下的一级离子流色谱图和二级质谱图

由图2、图3可知,样品溶液与香兰素标准工作液的母离子出峰时间基本一致,且二级高分辨率质谱图中子离子质荷比相同,因此可判定芝麻中所测定的物质为香兰素。

2.2 方法学考察

2.2.1 方法的线性范围及检出限

对所配制的系列混合标准工作液进行测定,以目标物的质量浓度(X)为横坐标,色谱峰的峰面积(Y)为纵坐标,进行标准曲线的绘制和线性回归分析。结果表明,香兰素的线性方程为 $Y=8.05e^4X+11\ 912.30$,线性范围为 $0.5\sim 200\ \mu\text{g/L}$,相关系数为 $0.999\ 2$ 。

以信噪比(S/N)的3倍为检出限,10倍为定量限,得到该方法香兰素的检出限为 $2.0\ \mu\text{g/kg}$,定量限为 $5.4\ \mu\text{g/kg}$ 。

2.2.2 加标回收率及精密度

分别取6份已知香兰素含量的芝麻各1g(香兰素含量为 $71.4\ \mu\text{g/kg}$)置于50 mL具塞塑料试管

由图1可知,3种物质分离效果良好。在实际样品测试过程中发现,芝麻及芝麻梗杆中均不含邻香兰素和异香兰素两种同分异构体,因而排除了芝麻中含有香兰素同分异构体的可能性。

进一步使用高分辨质谱仪对香兰素系列标准工作液与所制备的芝麻提取液进行对比分析,获取两者的母离子精确质量数、保留时间以及准确二级碎片质谱图,具体如图2、图3所示。

中,分别准确加入 $10\ \text{mg/L}$ 香兰素标准溶液 $10\ \mu\text{L}$ (低加标量)、 $20\ \mu\text{L}$ (中加标量)、 $100\ \mu\text{L}$ (高加标量),按照1.2.2方法和1.2.3条件进行试样制备和检测,计算加标回收率和测定值的相对标准偏差(RSD),结果见表3。

| 项目 | 回收率 | RSD |
|------|------|-----|
| 低加标量 | 78.9 | 4.8 |
| 中加标量 | 81.4 | 3.1 |
| 高加标量 | 86.1 | 2.2 |

由表3可见,香兰素的加标回收率为 $78.9\%\sim 86.1\%$,精密度的 $2.2\%\sim 4.8\%$ 。

2.3 芝麻中香兰素的含量分析

2.3.1 不同产地芝麻中香兰素含量

本次实验采集的39种芝麻涵盖了我国芝麻主要产区 and 芝麻进口主要来源(非洲3国芝麻为我国芝麻油生产企业的重要原料^[13-14]),具有一定的代表性。39种芝麻中香兰素的含量见表4。

表4 不同产地芝麻中香兰素的含量

| 编号 | 样品名称 | 含量/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | 编号 | 样品名称 | 含量/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | 编号 | 样品名称 | 含量/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$) |
|----|-----------|------------------------------------|----|-----------|------------------------------------|----|------------|------------------------------------|
| 1 | 湖南带皮白芝麻 | 174.6 | 14 | 湖北襄阳带皮黑芝麻 | 527.4 | 27 | 河南驻马店带皮白芝麻 | 190.1 |
| 2 | 四川带皮黑芝麻 | 1 505.9 | 15 | 甘肃带皮黑芝麻 | 719.9 | 28 | 河南驻马店带皮黑芝麻 | 679.9 |
| 3 | 湖南带皮白芝麻 | 226.2 | 16 | 山西带皮黑芝麻 | 440.1 | 29 | 广东带皮黑芝麻 | 3 196.9 |
| 4 | 湖南带皮黑芝麻 | 555.4 | 17 | 安徽带皮黑芝麻 | 2 422.8 | 30 | 辽宁带皮白芝麻 | 531.8 |
| 5 | 河南新乡脱皮白芝麻 | 71.4 | 18 | 贵州带皮黑芝麻 | 762.4 | 31 | 辽宁带皮黑芝麻 | 267.2 |
| 6 | 河南新乡带皮白芝麻 | 515.1 | 19 | 山东带皮黑芝麻 | 1 141.0 | 32 | 江苏宿迁带皮黑芝麻 | 439.1 |
| 7 | 河南新乡带皮黑芝麻 | 1 047.7 | 20 | 山东带皮白芝麻 | 395.6 | 33 | 河南脱皮白芝麻 | 68.5 |
| 8 | 陕西脱皮白芝麻 | 71.8 | 21 | 云南带皮黑芝麻 | 493.4 | 34 | 黑龙江带皮黑芝麻 | 731.3 |
| 9 | 甘肃脱皮白芝麻 | 75.6 | 22 | 山东带皮白芝麻 | 363.6 | 35 | 河北带皮白芝麻 | 1 525.8 |
| 10 | 新疆脱皮白芝麻 | 83.1 | 23 | 广西带皮黑芝麻 | 937.4 | 36 | 江西带皮白芝麻 | 669.8 |
| 11 | 四川带皮白芝麻 | 506.2 | 24 | 湖北恩施带皮黑芝麻 | 393.3 | 37 | 埃塞俄比亚带皮白芝麻 | 514.4 |
| 12 | 山东带皮白芝麻 | 566.3 | 25 | 湖北脱皮白芝麻 | 81.8 | 38 | 坦桑尼亚带皮白芝麻 | 517.8 |
| 13 | 河南商丘脱皮白芝麻 | 30.6 | 26 | 江苏脱皮白芝麻 | 35.6 | 39 | 多哥带皮白芝麻 | 673.2 |

2.3.2 聚类分析

聚类分析是一种根据样品自身属性用数学方法按照某种相似性或差异性指标,确定样品之间的亲疏程度,并按照这种亲疏程度对样品进行分类的探索性分析方法。本研究以芝麻中香兰素的含量为指标,使用 SPSS 22.0 软件对不同产地的芝麻进行聚类分析,结果见图 4。

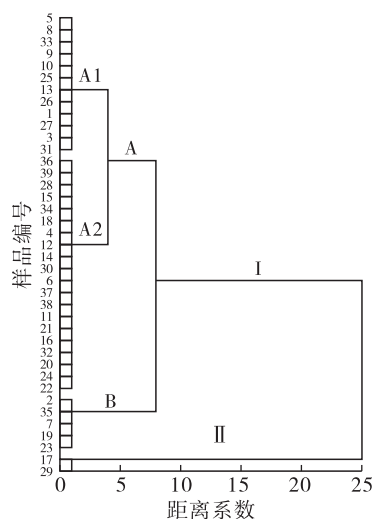


图4 不同产地芝麻样品中香兰素含量的聚类分析图

由图4可见,A1类芝麻总共12种,其中包含8种脱皮芝麻和4种带皮芝麻,脱皮芝麻和带皮芝麻的香兰素含量平均值分别为 $64.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $214.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。对A1类中的脱皮芝麻和带皮芝麻进行 t 检验分析,发现两者存在显著性差异($p < 0.01$)。

A2类芝麻总共20种,占比最高,具有较为明显的代表性,其香兰素含量范围为 $363.6 \sim 762.4 \mu\text{g}/\text{kg}$,平均含量为 $549.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。对A2类芝麻以品种和产地进行分类分析,结果见表5。对A2类白芝麻和黑芝麻进

行 t 检验分析,结果显示两者不存在显著性差异($p = 0.051$);对A2类芝麻以国内南北分类进行 t 检验分析,结果显示两者也不存在显著性差异($p = 0.132$);国外芝麻由于样本量偏低,故未进行差异分析,但非洲3国芝麻(均包含在A2类中)的香兰素含量水平与国内芝麻基本相当。结果说明A2类芝麻其香兰素含量水平受品种和南北地域的影响较小。

表5 A2类芝麻不同分类方法下香兰素的含量水平

| 分类属性 | 类别(数量) | 平均含量/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$) |
|------|------------|--------------------------------------|
| 品种 | 白芝麻(10种) | 525.4 |
| | 黑芝麻(10种) | 574.3 |
| 产地 | 国内北方区域(9种) | 549.3 |
| | 国内南方区域(8种) | 543.4 |
| | 国外(3种) | 568.5 |

B类芝麻总共有5种,香兰素含量平均值为 $1 231.6 \mu\text{g}/\text{kg}$,其中4种黑芝麻,1种白芝麻。同时II类芝麻中为本次检测结果中的极大值,其含量分别为 $2 422.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ 和 $3 196.9 \mu\text{g}/\text{kg}$,且两者均为黑芝麻。

2.3.3 差异性分析

对A1类中的脱皮白芝麻、A1类中的带皮芝麻、A2类中的所有芝麻以及B类中的芝麻进行 t 检验分析,结果显示四者之间均存在显著性差异($p < 0.01$)。

综合以上信息,市售芝麻中香兰素的含量水平有一定差异,呈现多个含量水平。脱皮芝麻由于在加工过程中存在浸泡、脱皮、烘干等工序^[15],可能导致芝麻中香兰素的流失,当然脱皮芝麻并不作为芝麻油的加工原料。本研究芝麻中香兰素的主要含量区间为 $363.6 \sim 762.4 \mu\text{g}/\text{kg}$,但仍然存在香兰素含量水平较低的带皮芝麻和香兰素含量水平较高的带皮芝麻,针对该种情况回访了香兰素含量极大值的芝麻种植

者,经确认其在整个生长过程中并未喷洒药物,说明芝麻中香兰素含量的差异可能与品种、土壤、温度、光照等生长因素和温度、湿度、时长等储藏因素有关。同时分析 B 类和 II 类数据显示,黑芝麻可能更容易产生高浓度的香兰素。综合分析可知,对芝麻中香兰素含量的检测显示,香兰素为芝麻中的内源性物质,因此加工制得的芝麻油中极有可能含有一定量的香

兰素,另外,芝麻中香兰素含量差别较大,但并未显示出与地域、品种相关的显著规律性差异。

2.4 芝麻油生产过程中香兰素的含量变化

为进一步确定芝麻中的香兰素是否会转移至芝麻油中,对某芝麻油生产企业使用水代法和压榨法生产过程中部分物料进行采集并测定其香兰素含量,结果见表 6。

表 6 芝麻油生产过程中香兰素含量变化($n=3$)

| 水代法 | | 压榨法 | |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 工艺步骤 | 香兰素含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$) | 工艺步骤 | 香兰素含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$) |
| 带皮白芝麻 | 403.8 | 带皮白芝麻 | 198.6 |
| 170 °C 炒制 20 ~ 30 min | 1 321.6 | 180 ~ 190 °C 炒制 20 ~ 30 min | 862.6 |
| 炒制后芝麻磨浆 | 1 284.0 | 压榨成品芝麻油 | 624.0 |
| 加入热水分离出原油 | 836.3 | | |
| 过滤后商品油 | 765.2 | | |

由表 6 可见,芝麻在炒制后香兰素含量出现了较大幅度的增加。说明芝麻除本身含有香兰素外,香兰素的类似前体物质在较高温度下可能会转化为香兰素。研究表明,芝麻中含有 2,4 - 二甲基苯甲醛、2,6 - 二甲氧基苯酚、愈创木酚、4 - 乙基 - 2 - 甲氧基苯酚、丁香酚、芝麻酚等物质^[16-17],该类物质的结构与香兰素具有一定相似性,推测其可能是芝麻在生长成熟过程中形成香兰素的前体物质或产生过程中的中间物质、副反应物质等。例如:丁香酚,目前即存在使用丁香酚进行人工合成或生物合成香兰素的方法^[18-19];愈创木酚,目前也存在使用愈创木酚通过亚硝化法和乙醛酸法进行人工合成香兰素的方法^[20]。水代法生产过程中芝麻浆加入热水后会出现油水分离,该过程中香兰素含量降低,这可能与部分香兰素溶于热水而流失有关^[21]。

综上,在芝麻加工过程中香兰素能够转移至芝麻油中,由于芝麻中本身的香兰素含量差异较大,导致所加工制得的芝麻油中内源性香兰素的含量差异可能较大。不同加工工艺下香兰素转移进入芝麻油的效率和差别还有待研究。

3 结论

经实际样品检测发现,香兰素为芝麻的内源性物质,且在加工过程能够转移进入芝麻油,故芝麻油中含有内源性的香兰素,不能将检出香兰素作为“假香油”的判定标准。同时芝麻中香兰素的含量依然存在较大差异,且芝麻油的生产加工过程存在不确定性因素,故评估芝麻油中香兰素的适当含量范围还存在较大困难,这增加了监管部门的监管执法难度。

建议持续监测芝麻中香兰素的含量水平,在芝麻油生产企业中,采集不同芝麻油在生产加工全过

程中各个环节的物料样本,并监测香兰素的含量变化,形成芝麻油加工过程中香兰素含量的变化规律。继续研究芝麻油在生产过程是否存在其他物质转化为香兰素的机制。

参考文献:

- [1] 谢岩黎, 赵文红, 孙淑敏, 等. 芝麻油风味成分和营养功能研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(2): 67 - 71.
- [2] 田洪芸, 陆垣宏, 李恒, 等. 我国食用植物油质量安全状况及监管现状分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5271 - 5275.
- [3] 陈德新. 香荚兰豆专题系列之四: 香荚兰豆初级与深度加工及其应用[J]. 香料香精化妆品, 2005(6): 33 - 37.
- [4] 方晓璞, 田淑梅, 张小勇, 等. 食用植物油质量安全溯源体系的建立[J]. 中国油脂, 2016, 41(5): 50 - 52.
- [5] 尹文婷, 马雪停, 汪学德. 不同工艺芝麻油的挥发性成分分析和感官评价[J]. 中国油脂, 2019, 44(12): 8 - 13.
- [6] AGYEMANG D, BARDSLEY K, BROWN S, et al. Identification of 2 - ethyl - 4 - methyl - 3 - thiazoline and 2 - isopropyl - 4 - methyl - 3 - thiazoline for the first time in nature by the comprehensive analysis of sesame seed oil [J]. J Food Sci, 2011, 76(3): 385 - 391.
- [7] 贾璇, 王国胜. 高效液相色谱法同时测定邻位香兰素、香兰素、甲基香兰素和乙基香兰素[J]. 沈阳化工大学学报, 2020, 34(4): 314 - 318.
- [8] 曲宝成, 戴学东, 张敬波, 等. 高效液相色谱串联质谱法测定植物油中香兰素、甲基香兰素和乙基香兰素[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(4): 935 - 941.
- [9] 刘强欣, 张虹, 胡云强, 等. 改良 QuEChERS - 高效液相色谱 - 串联质谱法同时测定植物油中香兰素、甲基香兰素和乙基香兰素[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(11): 198 - 201.

(下转第 119 页)

高效液相色谱仪检测。该方法具有操作简单、高效快速、分离效果好、检测成本低、结果可靠、对环境友好等特点,可以满足食用油中5种常用抗氧化剂含量检测的需求。使用该方法对随机购买的13份食用油进行抗氧化剂检测发现,5份样品检出1种抗氧化剂,1份猪油样品检出2种抗氧化剂,其中TBHQ、BHA、BHT检出率较高。

参考文献:

- [1] 黄璐瑶,梁鹏. 食用油脂氧化的控制措施研究进展[J]. 食品安全导刊,2017(21):31.
- [2] 陈芳,陈伟娜,胡小松. 基于油脂氧化的食品加工伴生危害物形成研究进展[J]. 中国食品学报,2015,15(12):9-15.
- [3] 郑翠翠,刘军,邹宇晓,等. 油脂加工过程中氧化稳定性的研究进展[J]. 中国油脂,2014,39(7):53-57.
- [4] 徐洪宇. 植物油脂氧化及其氧化稳定性的研究[J]. 食品安全导刊,2021(33):177-179.
- [5] 吕芳,林祥娜,朱靖雯,等. 煎炸油脂质变预防及其危害控制研究进展[J]. 工业微生物,2020,50(1):56-62.
- [6] 郭全喜. 食品加工中油脂氧化危害研究[J]. 中国食品,2018(21):152.
- [7] 曾裕,尹浩,苏沛,等. TBHQ对3种食用油保质期内品质变化的影响[J]. 中国食物与营养,2020,26(4):38-41.
- [8] 于立芹,张华南,徐如冰,等. 特丁基对苯二酚与迷迭香提取物对亚麻籽油贮藏稳定性的影响[J]. 食品工业科技,2020,41(5):257-261.
- [9] 李娜. 不同抗氧化剂对油脂抗氧化性能的影响研究[J]. 安徽农学通报,2018,24(11):107-110.
- [10] 孟繁磊,蔡玉红,张国辉,等. UPLC测定食用油中10种抗氧化剂[J]. 中国油脂,2018,43(2):134-137.
- [11] 李福敏,邵林. 气相色谱法同时检测食用植物油中BHA、BHT、TBHQ[J]. 云南民族大学学报(自然科学版),2018,27(3):181-184.
- [12] 续颖,刘雪莹,伍莹,等. 高效液相色谱法测定食用植物油中TBHQ、BHA、BHT含量[J]. 安徽农业科学,2017,45(18):89-90,117.
- [13] 景赞,刘超,胡丹,等. QuEChERS-三重四级杆气质法测定花椒油中抗氧化剂[J]. 中国调味品,2018,43(8):173-176.
- [14] 谢强胜,张媛媛,李启艳,等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定鱼油软胶囊中的合成抗氧化剂[J]. 食品安全质量检测学报,2016,7(7):2846-2851.
- [15] 吴基任,潘望,谭高好,等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定花生及土榨花生油中9种真菌毒素[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(10):3927-3935.
- [16] 连英杰,林升航,曾琪,等. 多壁碳纳米管/N-丙基乙二胺混合吸附-超高效液相色谱-串联质谱法测定普洱茶中3种手性杀菌剂农药残留[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(6):1702-1708.
- [17] 蒋湘,吴毅,黄燕红,等. 多壁碳纳米管净化-超高效液相色谱-串联质谱法测定鸡蛋中44种药物残留[J]. 食品工业科技,2020,41(10):230-237.
- [18] HE Z, WANG L, PENG Y, et al. Multiresidue analysis of over 200 pesticides in cereals using a QuEChERS and gas chromatography-tandem mass spectrometry-based method[J]. Food Chem,2015,169:372-380.
- [19] 梁剑锋,李亚,梁燕妮,等. QuEChERS萃取-UPLC-MS/MS测定花生酱中黄曲霉毒素B₁方法的研究[J]. 中国调味品,2020,45(5):182-185,190.
- [20] HUANG Y S, SHI T, LUO X, et al. Determination of multi-pesticide residues in green tea with a modified QuEChERS protocol coupled to HPLC-MS/MS[J]. Food Chem, 2019, 275: 255-264.
- (上接第114页)
- [10] HU Q R, CAO P, CAO Z X, et al. Rapid screening and confirmation of 20 mycotoxins in grain products by ultra high performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2019, 37(11): 1241-1248.
- [11] SAI N, JIN R, BU R, et al. Rapid determination of 6 kinds of aconite alkaloids in rat plasma by HPLC-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. China Pharm, 2018, 29(6): 761-765.
- [12] 赵孔祥,柴铭骏,宋旭,等. 液相色谱-四极杆-静电轨道阱高分辨质谱法测定保健食品中降压类药物[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(11):3481-3487.
- [13] 罗松彪,张秀荣,汪强,等. 新时代我国芝麻产业发展探析[J]. 安徽农学通报,2019,25(Z1):47-49,61.
- [14] 许国栋,张雯丽. 世界芝麻生产、贸易结构变化趋势分析[J]. 世界农业,2018(10):131-137.
- [15] 张森,何莲,贾洪锋. 不同加工方式对芝麻酱感官品质的影响研究[J]. 中国调味品,2019(7):107-111.
- [16] 刘鑫,李睿,徐漪沙,等. 不同加工处理方式对芝麻油风味的影响研究[J]. 保鲜与加工,2020,20(6):148-156.
- [17] 王有菲. 不同原料芝麻油挥发性风味成分的研究[J]. 粮食与食品工业,2017,24(2):24-27,31.
- [18] 冀亚飞,杨金月,刘宏伟,等. 香兰素新合成工艺路线的绿色化学原理解析[J]. 化工高等教育,2021,38(2):126-131.
- [19] 杨文文,吴秋林,唐鸿志,等. “香料皇后”:天然香兰素生物合成的研究进展[J]. 微生物学通报,2013,40(6):1087-1095.
- [20] 张建斌. 香兰素制备技术研究进展及前景展望[J]. 广东化工,2018,45(12):163-166.
- [21] 左青,左晖. 浓香型油脂的生产及关键技术讨论[J]. 中国油脂,2019,44(11):152-157.