

# 基于维生素 E 组成的植物油掺棕榈油鉴别研究

顾强<sup>1\*</sup>, 王慧君<sup>2</sup>, 雷春妮<sup>3</sup>, 丁萍<sup>1,4</sup>, 蔡燕斌<sup>1,4</sup>, 乙小娟<sup>1</sup>

(1. 张家港海关综合技术中心, 张家港 215600; 2. 中国中医科学院中药研究所, 北京 100700;  
3. 兰州海关技术中心, 兰州 730010; 4. 张家港检验认证有限公司, 张家港 215600)

**摘要:** **目的** 建立基于维生素 E 组成的植物油掺棕榈油鉴别方法。**方法** 采用正相高效液相色谱-荧光检测方法测定大豆油、菜籽油、葵花籽油、橄榄油、玉米油、棕榈油等植物油中  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚和  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育三烯酚 8 种维生素 E 组成, 使用主成分分析(principal component analysis, PCA)构建植物油品种识别和掺假油鉴别模型。**结果** 不同种类植物油中的生育酚和生育三烯酚的组成差异很大, 棕榈油中含高水平的生育三烯酚, 这成为其区别于其他 5 种植物油的一个重要特点。结合 PCA 可以将棕榈油、葵花籽油、大豆油、橄榄油等相互区分开来。采用 PCA 建立了针对菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、玉米油中掺棕榈油的鉴别模型, 当棕榈油掺杂浓度大于等于 25%时, 模型可准确识别出掺假油。**结论** 采用正相高效液相色谱-荧光检测方法测定植物油中  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚和  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育三烯酚 8 种维生素 E 组成, 结合化学计量学方法, 可实现对常见植物油掺棕榈油的鉴别。

**关键词:** 植物油; 棕榈油; 掺假鉴别; 维生素 E; 主成分分析

## Identification of vegetable oils adulterated with palm oil based on vitamin E composition

GU Qiang<sup>1\*</sup>, WANG Hui-Jun<sup>2</sup>, LEI Chun-Ni<sup>3</sup>, DING Ping<sup>1,4</sup>, CAI Yan-Bin<sup>1,4</sup>, YI Xiao-Juan<sup>1</sup>

(1. Comprehensive Technology Center of Zhangjiagang Customs, Zhangjiagang 215600, China; 2. Institute of Chinese Materia Medica China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 3. Technology Center of Lanzhou Customs, Lanzhou 730010, China; 4. Zhangjiagang Inspection and Certification Co., Ltd., Zhangjiagang 215600, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a chemometric identification method of vegetable oils adulterated with palm oil based on the composition of vitamin E. **Methods** The  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocopherol and  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocotrienol concentrations of soybean oil, rapeseed oil, sunflower oil, olive oil, corn oil and palm oil were determined by normal-phase high performance liquid chromatography with fluorescence detection. The identification model of vegetable oil varieties and adulterated oil were built by the principal component analysis (PCA). **Results** The compositions of tocopherols and tocotrienols in different kinds of vegetable oils was very different. Palm oil contained high levels of tocotrienols, which was an important characteristic that distinguishes it from the other 5 kinds of vegetable oils. Palm oil, sunflower seed oil, soybean oil and olive oil could be distinguished from each other by PCA. A qualitative model was established for the verification of rapeseed oil, soybean oil, olive oil, sunflower oil and corn oil adulterated with palm oil. When the adulterated ratio of palm oil was greater than or equal to 25%, the

基金项目: 南京海关科研项目(2021KJ20)、兰州海关科技计划项目(LK-2022-005)

Fund: Supported by the Research Program of Nanjing Customs (2021KJ20), and the Research Program of Lanzhou Customs (LK-2022-005)

\*通信作者: 顾强, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测方法的开发。E-mail: respro@163.com

\*Corresponding author: GU Qiang, Ph.D, Senior Engineer, Comprehensive Technology Center of Zhangjiagang Customs, No.59, Renmin Road, Zhangjiagang 215600, China. E-mail: respro@163.com

adulterated oils could be identified. **Conclusion** Normal-phase high performance liquid chromatography with fluorescence detection is used to determine the content of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocopherol and  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocotrienol in vegetable oils. Combined with chemometrics, the identification of common vegetable oils adulterated with palm oil can be realized.

**KEY WORDS:** vegetable oils; palm oil; adulteration; vitamin E; principal component analysis

## 0 引言

近年来,全球植物油产量达 2 亿 t 左右,棕榈油、大豆油、菜籽油、葵花籽油是产量最大的品种,占植物油总产量的 80%以上<sup>[1]</sup>。其中,棕榈油是世界上亩产量最高的植物油品种,已成为全球生产量、消费量、国际贸易量最高的植物油品种。其价格相对低廉<sup>[2]</sup>,因而使用棕榈油向其他品种植物油中掺假是存在利益驱动力的。

为了应对植物油掺假问题,人们进行了许多植物油掺假鉴别研究,而基于内源性特征物质的鉴别方法是最为重要的一类技术手段<sup>[3]</sup>。植物油的主要成分为甘油脂肪酸酯,因此,通过分析植物油脂肪酸组成,结合主成分分析(principal component analysis, PCA)、判别分析(discriminate analysis, DA)、偏最小二乘回归(partial least squares, PLS)化学计量学方法进行判别是品种和掺假鉴别的最重要手段之一<sup>[4-9]</sup>。然而,不同产地、环境、成熟度的油料所生产植物油的脂肪酸组成差异较大,且使用不同品种植物油进行混配,也比较容易得到与纯植物油类似的脂肪酸组成,这都限制了这类掺假鉴别方法的准确性<sup>[10-12]</sup>。人们尝试使用其他内源性指标,包括甾醇、角鲨烯、多肽、多酚、稳定同位素比值进行植物油掺假鉴别研究<sup>[13-17]</sup>。MEI 等<sup>[18]</sup>通过分析植物油中  $\alpha$ -、 $\gamma$ -生育酚的含量总和及两者的比值,建立了花生油中大豆油、葵花籽油、玉米油和菜籽油 4 种外来植物油的掺假鉴别方法,检出限(limit of detection, LOD)能达到 5~10 g/100 g。SHI 等<sup>[19]</sup>在植物油掺假鉴别方面做了大量探索性工作,结合脂肪酸、 $\alpha$ -生育酚含量或角鲨烯、植物甾醇指标<sup>[13]</sup>,建立了山茶油的掺假判别模型,均获得了 90%以上的判别正确率。

植物油中掺棕榈油的检测,一般通过测定月桂酸指标进行判别<sup>[20-21]</sup>。但棕榈油本身的月桂酸含量较低,在低水平掺杂时可能会造成假阴性的检测结果;同时,一些植物油如椰子油、巴巴苏籽油等也含月桂酸,这导致该方法的应用受到限制<sup>[22]</sup>。借助电子舌传感器、拉曼光谱、低场核磁共振、红外光谱技术,人们在个别植物油品种中掺杂棕榈油的检测技术上做出了一些探索<sup>[23-26]</sup>。维生素 E (vitamin E, VE)是植物油中一类重要的营养成分,由  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚和  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育三烯酚 8 种成分组成,具有很好的抗氧化活性。维生素 E 在不同植物油中的

组成和含量存在很大差异<sup>[27-28]</sup>,这使其可作为植物油品种和掺假鉴别的一类重要指标。朱丹丹等<sup>[29]</sup>以  $\delta$ -生育三烯酚为特征指标,初步建立混合油脂中棕榈油的检测方法。但不同棕榈油中  $\delta$ -生育三烯酚含量波动较大,以单一指标建立定量检测方法,存在准确度不高的问题。在已有的文献报道中,很少有利用 8 种维生素 E 组分来检测植物油中掺棕榈油的研究。鉴于维生素 E 在不同品种植物油中组成存在巨大差异<sup>[27]</sup>,其有望成为鉴别植物油中掺棕榈油的关键指标。

本研究通过测定常见植物油中维生素 E 的组成,采用化学计量学方法对数据进行分析,对不同品种植物油进行归类,建立起植物油中掺棕榈油的鉴别方法,以期能为植物油掺假鉴别提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

植物油样品来自张家港口岸进口的检验样本、本地市场采购的大品牌预包装产品,包括菜籽油(RSO,  $n=14$ )、大豆油(SBO,  $n=16$ )、橄榄油(OO,  $n=5$ )、葵花籽油(SFO,  $n=14$ )、玉米油(COO,  $n=4$ )、棕榈油(PO,  $n=6$ )。使用棕榈油与菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、玉米油这 5 种植物油进行混合,分别制备了 20 个不同棕榈油掺假水平的样品,其棕榈油掺假的质量浓度为 5%~100%。

$\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚和  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育三烯酚标准品(纯度  $\geq 99\%$ ,北京振翔科技有限公司);正庚烷、四氢呋喃、异丙醇(色谱纯,上海安谱科学仪器有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

1200 液相色谱仪(配荧光检测器,美国 Agilent 公司);FD 115 烘箱(德国 Binder 公司);XP205 分析天平(感量 0.00001 g,瑞士 Mettler Toledo 公司);Lichrospher<sup>®</sup> 100 Diol 二醇基硅胶正相色谱柱(250 mm $\times$ 4 mm, 5  $\mu$ m, 德国默克公司);0.45  $\mu$ m 有机相滤膜(上海安谱科学仪器有限公司)。

### 1.3 实验方法

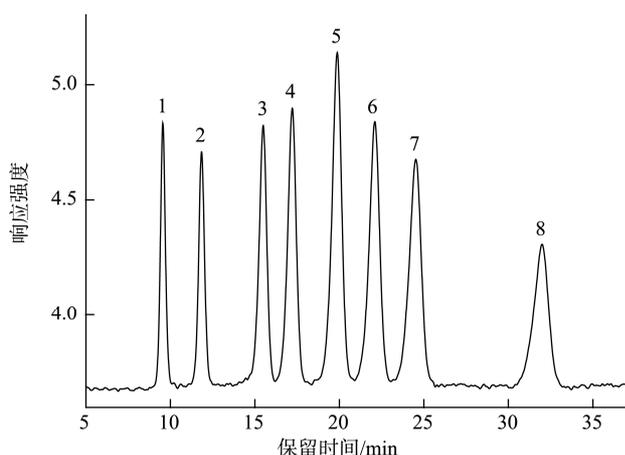
#### 1.3.1 样品预处理

植物油中生育酚和生育三烯酚的测定参考 GB/T 26635—2011《动植物油脂 生育酚及生育三烯酚含量测定 高效液相色谱法》进行。部分棕榈油在常温下为固体,需

分别置于 40 和 60°C 烘箱中融化。对于有沉淀的样品, 需在 60°C 烘箱中过滤去除杂质。称取 0.25 g 混匀的植物油样品, 用正庚烷溶解并定容至 25 mL, 过 0.45  $\mu\text{m}$  有机相滤膜, 置于棕色进样瓶中, 待测。

### 1.3.2 色谱条件

采用正相高效液相色谱测定, 流动相为 3.85% 四氢呋喃的正庚烷溶液, 流速 1.0 mL/min, 进样量 10  $\mu\text{L}$ , 柱温 25°C, 荧光检测器激发波长 295 nm, 发射波长 330 nm, 停止时间 35 min, 外标法定量。在该条件下, 8 种维生素 E 组分可得到良好分离, 如图 1 所示。



注: 1.  $\alpha$ -生育酚; 2.  $\alpha$ -生育三烯酚; 3.  $\beta$ -生育酚; 4.  $\gamma$ -生育酚; 5.  $\beta$ -生育三烯酚; 6.  $\gamma$ -生育三烯酚; 7.  $\delta$ -生育酚; 8.  $\delta$ -生育三烯酚。

图 1 8 种维生素 E 混合标准溶液的高效液相色谱图(5 mg/L)

Fig.1 High performance liquid chromatogram of 8 kinds of vitamin E mix standards (5 mg/L)

## 1.4 数据处理

数据处理使用 SIMCA 14.1 软件(瑞典 Umetrics 公司)进行。PCA 是一种经典的降维统计方法, 通过将众多指标重新组合成一组新的互相无关的综合指标, 以简化数据的

解读。在本研究中, 利用 PCA 处理生育酚和生育三烯酚的数据, 降低参数维度, 生成得分图和载荷图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物油中生育酚和生育三烯酚组成

大豆油、菜籽油、葵花籽油是产量仅次于棕榈油的植物油品种, 而玉米油、橄榄油则是附加值较高的植物油品种, 本研究选取这 5 种植物油作为掺棕榈油鉴别研究用油。从表 1 可知, 6 种植物油之间维生素 E 总量和组成的差异很大。各种植物油中维生素 E 总量从大到小排列依次为大豆油、葵花籽油、玉米油、菜籽油、棕榈油、橄榄油, 这与文献报道基本一致<sup>[30]</sup>。

$\alpha$ -生育酚是唯一一种在 6 种植物油中都有检出的维生素 E 组分, 其中葵花籽油的含量最高, 平均可达 653.7 mg/kg, 大豆油中含量最低; 其他 4 种植物油的平均含量在 152.4~213.2 mg/kg 之间。可以看出, 高  $\alpha$ -生育酚含量是葵花籽油区别于其他品种植物油的一个重要特征。 $\beta$ -生育酚只在 3 种植物油中有检出, 分别为大豆油、葵花籽油和玉米油, 但含量较低。 $\gamma$ -生育酚在不同植物油中的含量差异很大, 其在大豆油、菜籽油、玉米油中含量较高, 分别达到 534.1、364.7 和 347.1 mg/kg; 在橄榄油、葵花籽油中含量则很少, 在棕榈油中则未检出。 $\delta$ -生育酚只在 3 种植物油中有检出, 其中在大豆油中含量较高, 达到 184.1 mg/kg, 而菜籽油和玉米油中的含量则较少。

与生育酚不同, 生育三烯酚主要存在于棕榈油中。棕榈油含有全部 4 种生育三烯酚, 而菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油中则均未检出, 玉米油中只含有少量  $\alpha$ -和  $\gamma$ -生育三烯酚。含高水平生育三烯酚成为棕榈油区别于其他 5 种植物油的一个重要特点, 因此, 生育三烯酚可作为植物油掺棕榈油鉴别的内源性特征指标。

表 1 6 种植物油中生育酚和生育三烯酚组成(mg/kg)  
Table 1 Tocopherol and tocotrienol compositions of 6 kinds of vegetable oils (mg/kg)

被测物	菜籽油	大豆油	橄榄油	葵花籽油	玉米油	棕榈油
$\alpha$ -生育酚	185.8±25.9	118.3±21.3	213.2±19.7	653.7±66.6	211.2±49.2	152.4±48.3
$\beta$ -生育酚	ND	27.3±41.7	ND	19.2±4.0	5.7±3.9	ND
$\gamma$ -生育酚	364.7±28.4	534.1±52.1	13.2±2.9	3.3±8.1	347.1±32.2	ND
$\delta$ -生育酚	18.4±15.8	184.1±37.0	ND	ND	9.7±2.5	ND
$\alpha$ -生育三烯酚	ND	ND	ND	ND	7.9±1.2	144.4±20.6
$\beta$ -生育三烯酚	ND	ND	ND	ND	ND	3.6±2.4
$\gamma$ -生育三烯酚	ND	ND	ND	ND	8.3±0.6	175.7±47.5
$\delta$ -生育三烯酚	ND	ND	ND	ND	ND	64.5±23.2
生育酚总量	568.9±42.8	863.7±110.4	226.4±18.2	676.3±65.8	573.8±75.1	152.4±48.3
生育三烯酚总量	ND	ND	ND	ND	16.2±1.5	388.2±89.2
维生素 E 总量	568.9±42.8	863.7±110.4	226.4±18.2	676.3±65.8	590.0±76.2	540.5±131.9

注: ND 表示未检出。

## 2.2 PCA 分析

为了降低变量的维度,可视化地分析不同品种植物油之间的差异,需要使用化学计量学方法对数据进行分析<sup>[3]</sup>。本研究使用 PCA 对 59 个植物油的维生素 E 数据进行处理,得到主成分得分图和载荷图,如图 2a、b 所示。其中第一主成分和第二主成分累积方差贡献率之和为 85.5%,说明降维后提取的主成分包含了样品的绝大部分数据,该方法具有全面性和可靠性。

从图 2a 可知,6 种植物油共 59 个样品在得分图上聚为 5 簇,除了菜籽油和玉米油外,其他种类的植物油样品之间没有重叠、边界分明,说明根据维生素 E 含量建立的 PCA 模型区分效果良好。其中,棕榈油与其他品种植物油距离都较远,从图 2b 可知,这是因为其含有丰富的生育三烯酚,使其维生素 E 组成与菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、玉米油区别明显。葵花籽油含有高浓度的  $\alpha$ -生育酚,这成为其区别于其他植物油的鲜明特征,使其独立分布于得分图的上方。橄榄油也与其他品种植物油分离较远,因为其维生素 E 组成较为单一,主要组成为  $\alpha$ -生育酚和少量的  $\gamma$ -生育酚。大豆油分布于图中右下侧,其因较高含量的  $\gamma$ -生育酚和  $\delta$ -生育酚而得以与其他植物油区分开来。然而,玉米油、菜籽油出现了严重的重叠,原因在于这两种植物油中最主要的两种生育酚,  $\alpha$ -生育酚和  $\gamma$ -生育酚的含量非常接近。

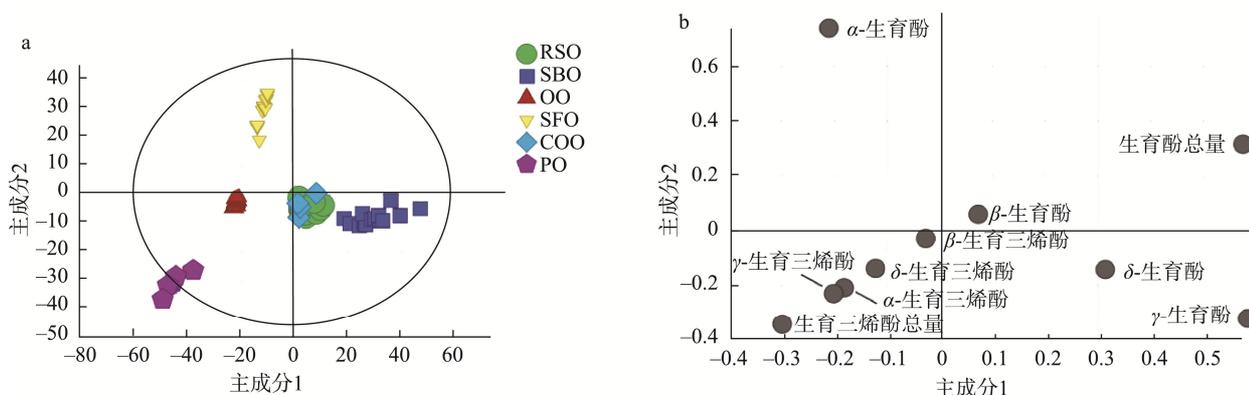
## 2.3 鉴别棕榈油掺假

本研究使用熔点小于等于 18°C 的棕榈油作为掺假用油,分别往菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、玉米油 5 种植物油中掺入质量浓度范围为 5%~100% 的上述棕榈油。使用软件构建 PCA 模型,对掺假油和纯植物油进行分

类,结果如图 3 所示。图 3a 中展示了 6 种纯植物油以及棕榈油质量浓度为 5%~100% 的 5 组掺假植物油,其中纯棕榈油落在图中最左侧,掺假油则落在纯棕榈油和相对应的纯植物油之间。可以看到,5 组掺假植物油都与其相对应的 5 种纯植物油出现了部分重叠,其中一些棕榈油浓度比较低的掺假油无法与纯植物油区分开来。由此可见,模型无法识别低棕榈油掺杂水平的掺假油。为了检验模型的识别能力,本研究逐步去掉了一些低浓度点,再次构建 PCA 模型。如图 3b 所示,当棕榈油掺假水平提升为 15%~100% 时,5 种掺假油依然不能与纯植物油分离。但当掺假水平提升到 20%~100% 时,如图 3c 所示,重叠点已经很少,多数掺假油与相应的纯植物油已接近分离。当掺假水平提升到 25%~100% 时,5 组掺假油与纯植物油全部实现了完全分离,如图 3d 所示。由此可见,当棕榈油掺假的质量浓度大于等于 25% 时,PCA 模型可准确识别 5 种植物油中掺入了棕榈油。

## 3 结论

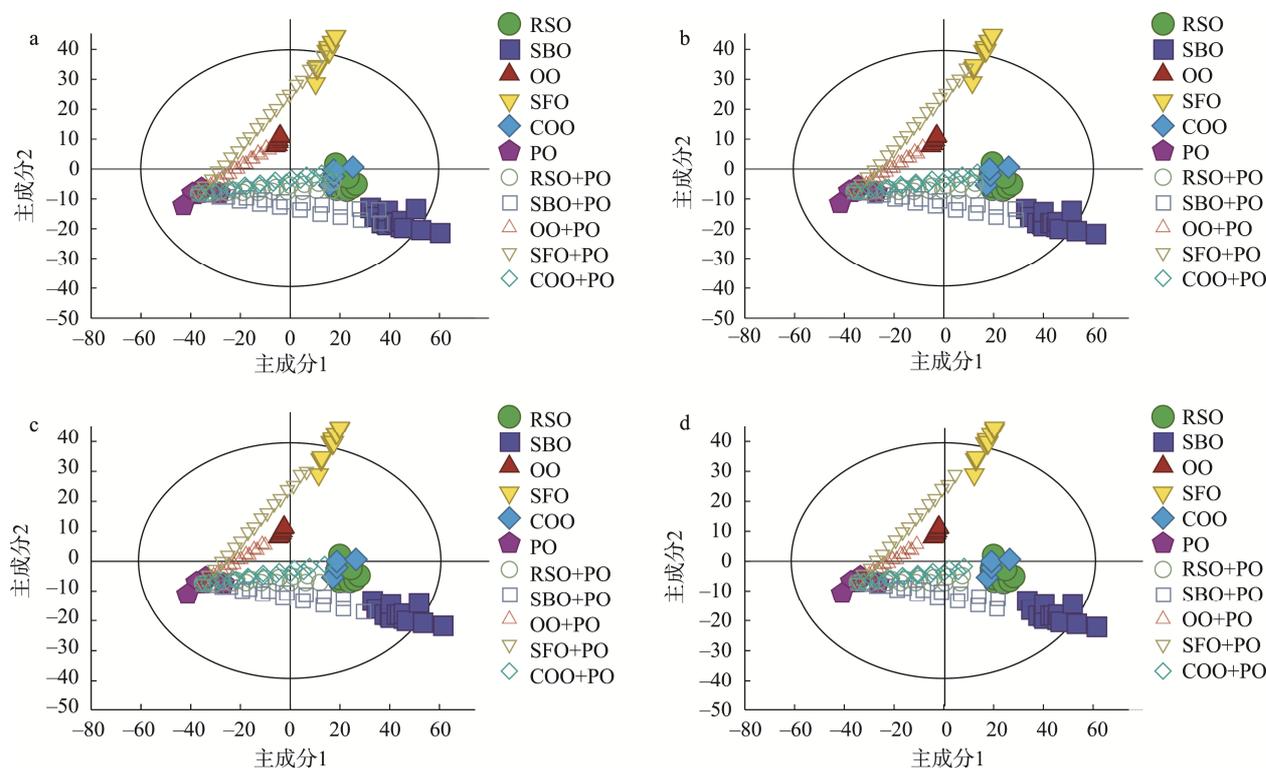
本研究测定了菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、玉米油、棕榈油 6 种常见植物油中  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育酚和  $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -、 $\delta$ -生育三烯酚 8 种维生素 E 的组成,并采用 PCA 对数据进行处理。在 PCA 得分图上,棕榈油与其他品种植物油都实现了良好的分离,葵花籽油、大豆油、橄榄油等也都与其他品种植物油分离开来。最后,本研究建立了菜籽油、大豆油、橄榄油、葵花籽油、玉米油 5 种植物油中掺棕榈油的鉴别模型,在质量浓度大于等于 25% 时,可实现对掺假油的准确归类。该方法的样品前处理简便,无需复杂的操作技巧,普通食品检测实验室即可完成,易于推广,将为鉴别植物油中掺棕榈油提供技术支撑。



注: RSO: 菜籽油; SBO: 大豆油; OO: 橄榄油; SFO: 葵花籽油; COO: 玉米油; PO: 棕榈油, 下同。

图 2 6 种植物油的 PCA 得分图(a)和载荷图(b)

Fig.2 Score plots (a) and loading plots (b) of PCA of 6 kinds of pure vegetable oils



注: 5 种植物油中掺入棕榈油的质量浓度为 a: 5%~100%; b: 15%~100%; c: 20%~100%; d: 25%~100%。

图 3 5 种纯植物油及棕榈油掺假油样的 PCA 模型

Fig.3 PCA models for 5 kinds of pure vegetable oils and palm oils

## 参考文献

- [1] 王瑞元. 2018/2019 年度全球油料油脂产销情况及预测[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 1-4.  
WANG RY. Global production and sales in 2018/2019 and forecast of oil and oilseed [J]. China Oils Fats, 2020, 45(8): 1-4.
- [2] 王成丽, 赵松林. 国际棕榈油供需现状及发展形势分析[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(2): 19-21.  
WANG CL, ZHAO SL. The status and development of world palm oil [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(2): 19-21.
- [3] MARIKKAR JMN. In recent advances in edible fats and oils technology: Processing, health implications, economic and environmental impact [M]. Singapore: Springer Singapore, 2022.
- [4] ZHANG L, LI P, SUN X, *et al.* Classification and adulteration detection of vegetable oils based on fatty acid profiles [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(34): 8745-8751.
- [5] LIM K, PAN K, YU Z, *et al.* Pattern recognition based on machine learning identifies oil adulteration and edible oil mixtures [J]. Nat Commun, 2020, 11: 5353.
- [6] XING C, YUAN X, WU X, *et al.* Chemometric classification and quantification of sesame oil adulterated with other vegetable oils based on fatty acids composition by gas chromatography [J]. LWT-Food Sci Technol, 2019, 108: 437-445.
- [7] 杨振东, 任雪梅, 王健, 等. 基于特征脂肪酸含量的橄榄油掺假快速鉴定模型的建立[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5357-5362.  
YANG ZD, REN XM, WANG J, *et al.* Establishment of rapid adulteration identification model of olive oil based on fatty acid profile [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(16): 5357-5362.
- [8] KESEN S. Monitoring fatty acid and sterol profile of NizipYaglik olive oil adulterated by cotton and sunflower oil [J]. J Oleo Sci, 2019, 68(9): 817-826.
- [9] PENG D, BI Y, REN X, *et al.* Detection and quantification of adulteration of sesame oils with vegetable oils using gas chromatography and multivariate data analysis [J]. Food Chem, 2015, 188: 415-421.
- [10] 吕孝飞, 马君义, 郭俊炜, 等. 成熟度指数对不同品种橄榄油脂脂肪酸、酚类化合物及风味属性的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(1): 28-35.  
LV XF, MA JY, GUO JW, *et al.* Effect of maturity index on fatty acids, phenolic compounds and flavor attributes of olive oil from different varieties [J]. China Oils Fats, 2022, 47(1): 28-35.
- [11] 王亚萍, 费学谦, 姚小华, 等. 不同产地油茶籽脂肪酸及甘油三酯的主成分分析和聚类分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(9): 112-119.  
WANG YP, FEI XQ, YAO XH, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis of fatty acids and triglycerides in oil-tea *Camellia* seeds from different origins [J]. China Oils Fats, 2021, 46(9): 112-119.
- [12] LIANG K, ZHU H, ZHAO S, *et al.* Determining the geographical origin of flaxseed based on stable isotopes, fatty acids and antioxidant capacity [J]. J Sci Food Agric, 2022, 102(2): 673-679.
- [13] SHI T, WU G, JIN Q, *et al.* Detection of camellia oil adulteration using chemometrics based on fatty acids GC fingerprints and phytosterols GC-MS fingerprints [J]. Food Chem, 2021, 352(1-2): 129422.
- [14] 靳欣欣, 潘立刚, 李安. 稳定同位素质谱法鉴别芝麻油中掺杂大豆油、玉米油的研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 32-37.

- JIN XX, PAN LG, LI AN. Identification of adulterated soybean oil and corn oil in sesame oil by isotope ratio mass spectrometry [J]. *China Oils Fats*, 2020, 45(3): 32–37.
- [15] 金青哲, 谢峰, 丁志华, 等. 花生油和玉米油掺合物的碳同位素比值质谱法检测研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(5): 95–99.
- JIN QZ, XIE F, DING ZH, *et al.* Detection of blend of corn oil and peanut oil by carbon isotope ratio [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2010, 25(5): 95–99.
- [16] KOTECKA-MAJCHRZAK K, SUMARA A, FORMAL E, *et al.* Identification of species-specific peptide markers in cold-pressed oils [J]. *Sci Rep-UK*, 2020, 10: 19971.
- [17] FARRÉS-CEBRIÁN M, SERÓ R, SAURINA J, *et al.* HPLC-UV polyphenolic profiles in the classification of olive oils and other vegetable oils by principal component analysis [J]. *Separations*, 2016, 3(4): 33.
- [18] MEI F, WANG H, ZHANG Y, *et al.* Fast detection of adulteration of aromatic peanut oils based on alpha-tocopherol and gamma-tocopherol contents and ratio [J]. *LWT- Food Sci Technol*, 2021, 143: 111168.
- [19] SHI T, WU G, JIN Q, *et al.* Camellia oil adulteration detection using fatty acid ratios and tocopherol compositions with chemometrics [J]. *Food Control*, 2022, 133: 108565.
- [20] 冯丽丽, 史永革, 杨福明, 等. 食用植物油中掺混棕榈油的定性与定量分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(3): 822–827.
- FENG LL, SHI YG, YANG FM, *et al.* Qualitative and quantitative analysis of palm oil blended in edible vegetable oil [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(3): 822–827.
- [21] 刘必英, 谢义梅, 单长海. 气相色谱-质谱法对植物油中掺兑棕榈油的定性研究[J]. *商品与质量*, 2012, (S5): 321.
- LIU BY, XIE YM, SHAN CH. Qualitative study on vegetable oils adulterated with palm oil by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Merch Qual*, 2012, (S5): 321.
- [22] GAMAGE D, RAJANAYAKE R, MAHANAMA K. GC fingerprint method to investigate adulteration of coconut oil with palm oil [J]. *Int J Innov Res Sci Eng Technol*, 2020, 9(7): 5823–5829.
- [23] 张航, 赵松林, 陈卫军, 等. 电子舌传感器快速检测油茶籽油中掺杂棕榈油[J]. *食品科学*, 2013, (14): 218–222.
- ZHANG H, ZHAO SL, CHEN WJ, *et al.* Rapid detection of adulterated palm oil in camellia seed oil by electronic tongue [J]. *Food Sci*, 2013, (14): 218–222.
- [24] 王利军, 王红, 谢乐, 等. 拉曼光谱快速鉴别花生油掺棕榈油的研究[J]. *中国油料作物学报*, 2013, (5): 604–607.
- WANG LJ, WANG H, XIE L, *et al.* Rapid authentication of palm oil in pure peanut oil by Raman spectroscopy [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2013, (5): 604–607.
- [25] ZHU W, WANG X, CHEN L. Rapid detection of peanut oil adulteration using low-field nuclear magnetic resonance and chemometrics [J]. *Food Chem*, 2017, 216: 268–274.
- [26] IRNAWATI I, RIYANTO S, ROHMAN A. Adulteration of Gabus (*Channa striata*) fish oil with corn oil and palm oil: The use of FTIR spectra and chemometrics [J]. *Food Res*, 2021, 5(2): 184–190.
- [27] 顾强, 石晶, 袁大炜, 等. 常见植物油中 8 种生育酚和生育三烯酚含量分析[J]. *食品工业*, 2017, 38(2): 304–306.
- GU Q, SHI J, YUAN DW, *et al.* Analysis of eight vitamin E isomers in vegetable oils [J]. *Food Ind*, 2017, 38(2): 304–306.
- [28] 沈伟健, 王红, 陆慧媛, 等. 气相色谱-质谱法测定植物油中 8 种维生素 E 及其在芝麻油真伪鉴别方面的应用[J]. *色谱*, 2020, 38(5): 595–599.
- SHEN WJ, WANG H, LU HY, *et al.* Determination of eight vitamin E in vegetable oils by gas chromatography-mass spectrometry and its application on authentication of sesame oil [J]. *Chin J Chromatogr*, 2020, 38(5): 595–599.
- [29] 朱丹丹, 潘开林. 基于  $\delta$ -生育三烯酚测定混合油脂中棕榈油的含量[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(9): 56–58.
- ZHU DD, PAN KL. Determination of palm oil in blended oils based on  $\delta$ -tocotrienol [J]. *Cere Oils*, 2017, 30(9): 56–58.
- [30] 温运启, 刘玉兰, 王璐阳, 等. 不同食用植物油中维生素 E 组分及含量研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 35–39.
- WEN YQ, LIU YL, WANG LY, *et al.* Contents and components of vitamin E in different edible vegetable oils [J]. *China Oils Fats*, 2017, 42(3): 35–39.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

## 作者简介



顾 强, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测方法的开发。  
E-mail: respro@163.com