

元素分析-稳定同位素质谱法结合化学计量学 鉴别橄榄油掺假

侯颖焯¹, 王志元¹, 谢建军¹, 王璐¹, 陈文锐¹, 蔡翠玲¹, 奚星林¹, 丁博², 曾广丰¹

(1. 广州海关技术中心, 广州 510623; 2. 广州医科大学药学院, 广州 511436)

摘要:为建立快速鉴别橄榄油掺假的检测方法,以特级初榨橄榄油、玉米油、猪油、牛油和鸭油为实验材料,通过元素分析-稳定同位素质谱仪测定油脂的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$,并结合化学计量学鉴定橄榄油掺假。采用主成分分析(PCA)和正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)两种统计分析方法建立不同油脂的鉴别模型和橄榄油掺假鉴别模型。结果表明:橄榄油的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 范围分别在 $-30.411 \times 10^{-3} \sim -28.996 \times 10^{-3}$ 、 $23.583 \times 10^{-3} \sim 25.581 \times 10^{-3}$ 、 $-163.611 \times 10^{-3} \sim -132.251 \times 10^{-3}$ 之间;橄榄油与玉米油、猪油、牛油和鸭油的OPLS-DA鉴别模型准确性稍好,3个变量 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 对不同油脂区分的贡献度VIP值分别为1.056、0.997和0.943;使用其他4种油脂对橄榄油进行掺假时,OPLS-DA鉴别模型可明显区分橄榄油与掺假油;PCA-Class鉴别模型对橄榄油掺入玉米油、猪油、牛油和鸭油的检测限分别为5.8%、5.6%、6.4%和12.5%,盲样验证鉴别准确率可达100%。该方法所构建的鉴别模型准确可靠,可有效识别橄榄油中掺入玉米油、猪油、牛油和鸭油。

关键词:橄榄油;掺假;元素分析;稳定同位素质谱法;化学计量学

中图分类号:O657.63;TS201.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)06-0073-06

Olive oil adulteration identification using elemental analysis – stable isotope ratio mass spectrometer coupled with chemometrics

HOU Yingye¹, WANG Zhiyuan¹, XIE Jianjun¹, WANG Lu¹, CHEN Wenrui¹, CAI Cuiling¹, XI Xinglin¹, DING Bo², ZENG Guangfeng¹

(1. Guangzhou Customs Technology Center, Guangzhou 510623, China; 2. School of Pharmacy, Guangzhou Medical University, Guangzhou 511436, China)

Abstract: To establish a rapid detection method for the adulteration of olive oil, extra virgin olive oil, maize oil, lard, beef tallow and duck fat were used as materials, and an elemental analysis – stable isotope ratio mass spectrometer determining $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ couple with chemometrics was established to identify olive oil adulteration. Two statistical analysis methods, principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS – DA), were used to establish identification models for different oils and olive oil adulteration. The results showed that the $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of olive oil range from $-30.411 \times 10^{-3} \sim -28.996 \times 10^{-3}$, $23.583 \times 10^{-3} \sim 25.581 \times 10^{-3}$ and $-163.611 \times 10^{-3} \sim -132.251 \times 10^{-3}$, respectively. The accuracy of the OPLS – DA identification

model of olive oil, maize oil, lard, beef tallow and duck fat was slightly better. The VIP values of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ were 1.056, 0.997 and 0.943, respectively. When adulterating olive oil with the other four kinds of oils, the OPLS – DA identification models could clearly distinguish olive oil from adulterated oil. The limits of

收稿日期:2022-04-06;修回日期:2023-03-23

基金项目:海关总署科技计划项目(2020HK190);广州海关科技计划项目(20200GZCK-024)

作者简介:侯颖焯(1993),女,助理工程师,研究方向为食品和化妆品检验分析(E-mail)781279146@qq.com。

通信作者:曾广丰,工程师(E-mail)zgf621@126.com。

determination of maize oil, lard, beef tallow and duck fat adulterated in olive oil were 5.8% , 5.6% , 6.4% and 12.5% respectively by PCA - Class model, and the test sample verification accuracy could reach 100%. The identification models constructed are accurate and reliable, and can effectively identify the adulteration of maize oil, lard, beef tallow and duck fat in olive oil.

Key words: olive oil; adulteration; elemental analysis; stable isotope ratio mass spectrometer; chemometrics

橄榄油不饱和脂肪酸含量高,尤其富含油酸,另外还含有角鲨烯、生育酚等生物活性物质,对提高人体免疫力和抗衰老有重要作用。我国作为世界人口最多的国家和 GDP 总量排名第二的新兴经济体,橄榄油消费市场潜力巨大,被国际橄榄油理事会预言为未来世界橄榄油第一大消费国^[1]。2014/2015 年度我国橄榄油进口量为 35 898 t,2019/2020 年度增长到 55 580 t,目前我国已成为橄榄油进口增长的第二大市场^[2]。2020 年我国橄榄油进口来源地前两名分别是西班牙和意大利,分别占我国进口额的 84.36% 和 10.62%^[2]。特级初榨橄榄油营养价值最高,消费旺盛,但产量较低,容易被不法商贩掺假、以次充好、冒用产地等。目前全球橄榄油年产量只有 300 万 t,其中仅 25% 为特级初榨橄榄油,而橄榄油的销量数据显示,全球橄榄油交易量 65% 为特级初榨橄榄油,其产量远不能满足市场需求^[3-4]。2013 年,欧盟将橄榄油列为十大最易造假食品之首^[5]。橄榄油掺假侵害消费者权益,为了保护消费者的相关利益,除了制定与实施各种标准法规以外,开发有效的橄榄油掺假检测手段一直以来都是国内外学术界的研究热点^[6]。随着掺假手段不断更新,对鉴别方法提出更高要求,低量掺假橄榄油已成为打假鉴别的难点和重点。

目前,用于橄榄油掺假鉴别的方法主要有稳定同位素质谱法(IRMS)、差示扫描量热法^[7]、拉曼光谱法^[8-10]、液质联用法^[11]、红外光谱法^[12-13]、气相色谱法^[14]、气相色谱-离子迁移谱法^[15]、核磁共振法^[16]等。IRMS 对于掺假物质与原物质成分接近的样品检测具有独特的优势,其依据氢、氧、碳、氮、硫等稳定同位素比值具有的强大溯源、示踪能力,被广泛应用于食品掺杂掺假和产地溯源领域^[17]。国内外学者利用 IRMS 进行了一系列食用油掺假鉴别的研究:靳欣欣等^[18]采用 IRMS 鉴别芝麻油中掺假大豆油和玉米油,建立的二元回归模型可以对芝麻油中掺杂 10% 大豆油或 5% 玉米油进行定量判别;马玉华等^[4]利用 IRMS 计算模拟大豆油、玉米油对橄榄油掺假的情况,结果表明,氢、氮稳定同位素比值结合分析最低能检测出分别掺杂

10% 玉米油和掺杂 30% 大豆油的橄榄油;Camin 等^[19]使用 IRMS 结合矿物元素可有效鉴定产自意大利的橄榄油。

化学计量学方法主要有偏最小二乘判别分析、主成分分析(PCA)、*k* 邻近线性判别分析、聚类分析和人工神经网络等。化学计量学方法不仅可降低数据维度,而且有助于对测量数据的解释、判别和预测^[20]。随着化学计量学的发展,近年来国内外学者应用化学计量学方法结合色谱、质谱、光谱、核磁共振等方法用于鉴别食品掺假的研究越来越多。Zhu 等^[21]建立了核磁共振技术结合化学计量学用于花生油中掺假的鉴别,建立的方法可鉴别花生油中掺杂 30% 的其他油脂;Li 等^[22]建立了傅里叶变换红外吸收光谱和荧光光谱法结合化学计量学鉴别核桃油中掺假大豆油的方法,方法检出限为 10%。

现有研究中缺乏特级初榨橄榄油中掺入动物油脂的鉴别方法。将元素分析-稳定同位素质谱法(EA-IRMS)与化学计量学结合,建立橄榄油掺假鉴别预测模型,形成包含检测技术及统计学的鉴别方法,使橄榄油掺假鉴别工作更经济、高效、准确是未来橄榄油掺假鉴别的趋势,目前该领域研究报道很少。本文分别将玉米油、猪油、牛油和鸭油掺入橄榄油中,采用 EA-IRMS 测定橄榄油及掺假油脂的氢、氧和碳稳定同位素比值,结合化学计量学对特级初榨橄榄油进行掺假鉴别,通过 PCA 和正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)建立了橄榄油掺假鉴别预测模型,以期监管部门提供技术支持,有效防止和打击橄榄油掺假的非法行为,维护消费者的利益。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

特级初榨橄榄油(10 个样品)、玉米油(10 个样品),购自广州市超市;猪油(7 个样品)、牛油(8 个样品)、鸭油(5 个样品),购自广州市农贸市场。

He 气、CO₂ 标准参考气、CO 标准参考气、H₂ 标准参考气、N₂ 标准参考气(纯度 >99.999 5%),购自空气化工产品(中国)投资有限公司;碳同位素标准

物质 IAEA - 600 咖啡因 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDA}} = -27.771 \times 10^{-3}$), 购于美国 NIST 公司; 氢、氧同位素标准物质 EMA - P1 聚酰胺 ($\delta^2\text{H}_{\text{V-SMOW}} = -25.3 \times 10^{-3}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = 20.99 \times 10^{-3}$), 购于英国 Elemental Microanalysis 公司。

1.1.2 仪器与设备

Flash EA 2000 型元素分析仪、Delta V Advantage 稳定同位素质谱仪, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司; FD115 精密烘箱, 德国 Binder 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理及掺假样品制备

将猪油、牛油和鸭油剪成小块, 置于干净烧杯中, 使用烘箱于 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘烤 30 min 制备液态油脂。

以橄榄油为基体, 分别将玉米油、猪油、牛油和鸭油依照 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45% 和 50% 的掺假量 (以掺假油质量计) 掺入, 混合均匀, 得掺假样品, 备用。

1.2.2 EA - IRMS 检测

分别用锡杯和银杯包裹样品, 校正 EA - IRMS, 检测样品中稳定碳、氢和氧同位素比值。锡杯包裹的样品引入元素分析仪的高温燃烧炉, 获得 CO_2 气体, 进入稳定同位素质谱仪主机检测样品中 $\delta^{13}\text{C}$; 银杯包裹的样品引入元素分析仪的高温裂解炉中, 获得 CO 和 H_2 气体, 导入稳定同位素质谱仪主机检测样品中 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 。每个样品平行测定 3 次, 使用 Isodat 3.0 软件 (美国 Thermo Fisher Scientific 公司) 分析数据。

测定 $\delta^{13}\text{C}$ 时元素分析仪条件: 载气流量 110 mL/min , 吹扫气流量 200 mL/min , 氧气流量 175 mL/min , 高温燃烧炉温度 $980\text{ }^\circ\text{C}$, 色谱柱温度 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 。测定 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 时元素分析仪条件: 载气流量 110 mL/min , 吹扫气流量 200 mL/min , 高温裂解炉温度 $1380\text{ }^\circ\text{C}$, 色谱柱温度 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 。质谱条件: 离子源电压 2.996 kV , 电子轰击电压 124 eV 。

1.2.3 同位素比值校正

样品测定时, 每个样品分析的起始阶段通入高纯 CO 、 H_2 和 CO_2 作为参考气体, 然后用已知 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的标准物质标定参考气体的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$, 再以参考气体的标定 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 为标准, 校正样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$, δ 值的计算由 Isodat 3.0 软件处理得到。

1.2.4 数据统计分析

将样品的 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 导入 SIMCA 14.1 软件 (瑞典 Umetrics 公司) 中, 进行 PCA 与 OPLS -

DA, 获得各种油脂和掺假油脂的稳定同位素分布规律, 从而构建各油脂的鉴别模型和特级初榨橄榄油的掺假鉴别模型。

2 结果与讨论

2.1 油脂的稳定同位素比值

同位素质谱不同于常规测定样品中目标物相对分子质量的有机质谱, 其是通过间接检测 CO_2 、 H_2 、 CO 气体确定碳、氢、氧的同位素丰度比, 通过 CO_2 目标气体检测样品的 $\delta^{13}\text{C}$, H_2 目标气体检测样品的 $\delta^2\text{H}$, CO 目标气体检测样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 。采用 EA - IRMS 分析获得 5 种油脂的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$, 结果见表 1。由表 1 可知: 橄榄油的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 $-30.411 \times 10^{-3} \sim -28.996 \times 10^{-3}$ 之间, 平均值为 -29.776×10^{-3} , 标准偏差为 0.386×10^{-3} ; $\delta^{18}\text{O}$ 在 $23.583 \times 10^{-3} \sim 25.581 \times 10^{-3}$ 之间, 平均值为 24.777×10^{-3} , 标准偏差为 0.617×10^{-3} ; $\delta^2\text{H}$ 在 $-163.611 \times 10^{-3} \sim -132.251 \times 10^{-3}$ 之间, 平均值为 -145.809×10^{-3} , 标准偏差为 8.700×10^{-3} 。橄榄油中的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 均能与玉米油、猪油、牛油和鸭油明显区分。

表 1 5 种油脂的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 10^{-3}

样品	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
橄榄油 1	-29.665	23.583	-132.251
橄榄油 2	-29.872	25.581	-145.663
橄榄油 3	-28.996	24.942	-136.750
橄榄油 4	-29.452	24.760	-152.121
橄榄油 5	-30.021	24.556	-144.526
橄榄油 6	-29.997	23.963	-148.323
橄榄油 7	-30.411	25.005	-145.324
橄榄油 8	-30.005	25.116	-163.611
橄榄油 9	-29.568	25.441	-149.667
橄榄油 10	-29.774	24.821	-139.852
平均值	-29.776	24.777	-145.809
标准偏差	0.386	0.617	8.700
玉米油 1	-16.215	17.562	-171.213
玉米油 2	-15.841	18.621	-166.524
玉米油 3	-16.821	18.112	-163.214
玉米油 4	-16.335	16.234	-169.116
玉米油 5	-16.523	16.224	-158.326
玉米油 6	-15.336	17.321	-155.631
玉米油 7	-15.982	17.251	-157.456
玉米油 8	-16.113	18.336	-158.331
玉米油 9	-16.217	18.241	-157.336
玉米油 10	-16.224	17.493	-158.004
平均值	-16.161	17.540	-161.515
标准偏差	0.398	0.829	5.588

续表 1

样品	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
猪油 1	-17.283	10.778	-249.790
猪油 2	-17.047	8.513	-243.663
猪油 3	-20.336	9.504	-235.071
猪油 4	-18.425	9.987	-244.526
猪油 5	-19.556	10.023	-250.339
猪油 6	-18.553	10.654	-249.223
猪油 7	-19.769	9.821	-241.326
平均值	-18.710	9.897	-244.848
标准偏差	1.251	0.758	5.526
牛油 1	-19.072	10.949	-255.541
牛油 2	-18.869	12.336	-234.051
牛油 3	-20.012	11.622	-249.336
牛油 4	-18.936	12.025	-251.369
牛油 5	-20.221	11.986	-239.396
牛油 6	-19.887	11.852	-244.636
牛油 7	-18.669	12.003	-245.124
牛油 8	-19.443	11.963	-239.998
平均值	-19.389	11.842	-244.931
标准偏差	0.589	0.411	7.040
鸭油 1	-24.270	12.382	-245.303
鸭油 2	-24.387	11.986	-241.129
鸭油 3	-24.097	12.585	-237.863
鸭油 4	-24.211	13.115	-248.321
鸭油 5	-25.102	12.549	-238.139
平均值	-24.413	12.523	-242.151
标准偏差	0.399	0.407	4.570

2.2 5 种油脂鉴别模型的建立

利用 SIMCA 14.1 软件对 5 种油脂的 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 进行多元变量统计分析,分别建立 PCA 和 OPLS-DA 鉴别模型,结果分别见图 1 和图 2。

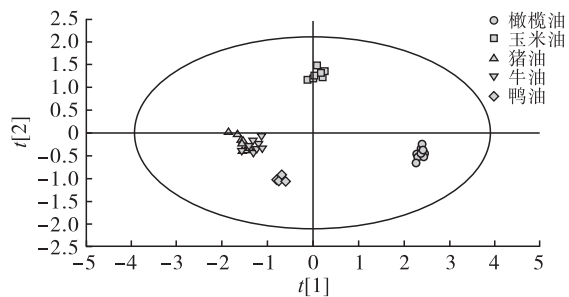


图 1 5 种油脂 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的 PCA 鉴别模型

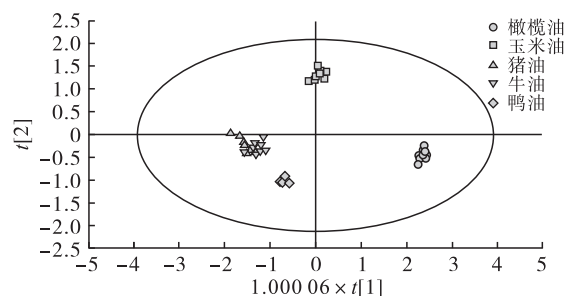
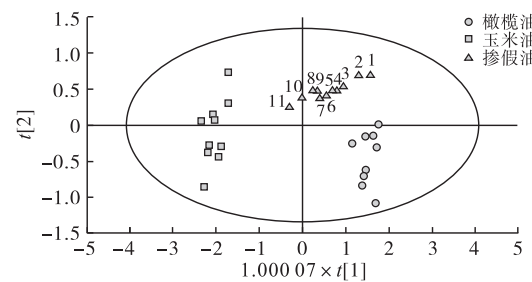


图 2 5 种油脂 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的 OPLS-DA 鉴别模型

由图 1 和图 2 可知:PCA 和 OPLS-DA 模型均能将橄榄油与其他 4 种油脂明显区分,植物油能够明显与动物油进行区分;动物油中,鸭油可以与猪油和牛油区分,但是猪油和牛油区分不明显;OPLS-DA 鉴别模型的效果稍优于 PCA 模型。进一步分析 OPLS-DA 鉴别模型的 3 个变量 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 对不同油脂区分的贡献度,结果表明, $\delta^{13}\text{C}$ 在不同油脂的区分中贡献最大,其次是 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$,其 VIP (Variance importance in projection) 值依次为 1.056、0.997、0.943。

2.3 橄榄油掺假鉴别模型建立

检测橄榄油掺假样品的 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$,并建立 OPLS-DA 模型,结果见图 3 ~ 图 6。



注:1 ~ 11 分别表示掺假量为 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45% 和 50%。下同

图 3 橄榄油掺玉米油 OPLS-DA 鉴别模型

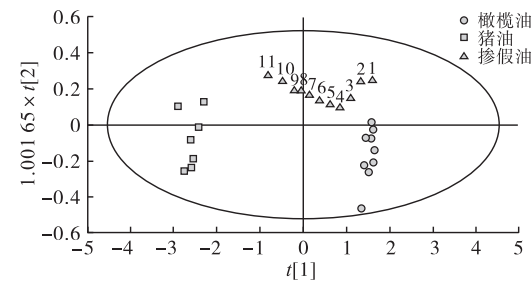


图 4 橄榄油掺猪油 OPLS-DA 鉴别模型

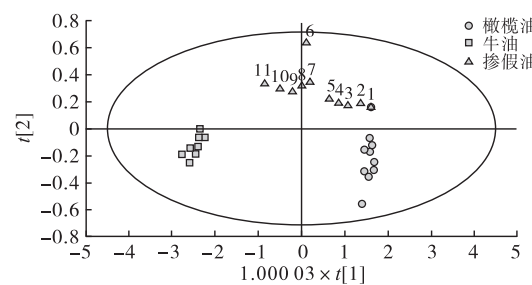


图 5 橄榄油掺牛油 OPLS-DA 鉴别模型

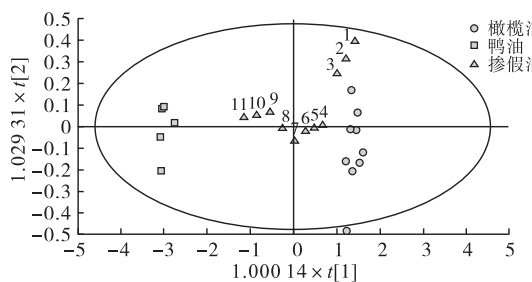
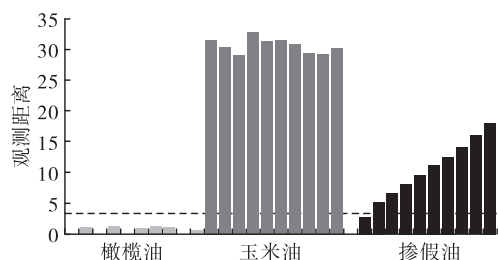


图 6 橄榄油掺鸭油 OPLS-DA 鉴别模型

由图 3~图 6 可知,玉米油、猪油、牛油和鸭油与橄榄油差异显著,而且随着玉米油、猪油、牛油和鸭油掺入量的增大,掺假油与橄榄油的差异越来越明显。

使用橄榄油样品数据构建真样本数据集(Y),使用掺假橄榄油样品数据构建假样本数据集(N),以纯的掺假油为对照,对 3 组数据建立 PCA-Class 模型,分析 PCA-Class 模型的 DModX 图。以 DModX 到主成分的观测距离进行掺假油脂鉴别,并确认橄榄油掺假检测灵敏度,结果见图 7~图 10。图中 95% 置信区间标线用于区分橄榄油以及掺假橄榄油两组样品。以纯的掺假油为对照,线下样本鉴别为橄榄油,线上样本鉴别为掺假油,并以该标线对应的掺假量确定检测限。



注:虚线为 95% 置信区间标线;实验组样品从左至右掺假量依次为 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45% 和 50%。下同

图 7 橄榄油掺玉米油 PCA-Class 模型的 DModX 图

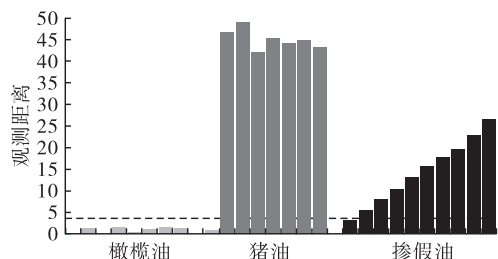


图 8 橄榄油掺猪油 PCA-Class 模型的 DModX 图

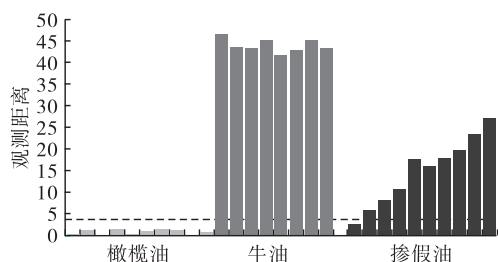


图 9 橄榄油掺牛油 PCA-Class 模型的 DModX 图

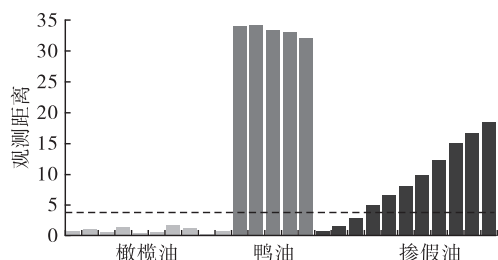


图 10 橄榄油掺鸭油 PCA-Class 模型的 DModX 图

由图 7~图 10 可知,橄榄油中掺入玉米油的检测限为 5.8%,掺入猪油的检测限为 5.6%,掺入牛油的检测限为 6.4%,掺入鸭油的检测限为 12.5%。

2.4 盲样验证

为了进一步验证模型的可靠性,分别将玉米油、猪油、牛油和鸭油掺入到橄榄油中。其中玉米油、猪油和牛油掺假量为 10%,鸭油掺假量为 15%。每种油脂制备 10 个掺假样品,测定 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$,分别带入建立的 PCA-Class 鉴别模型进行验证,结果见表 2。

表 2 PCA-Class 鉴别模型的盲样验证

掺假样品	样品数量(个)	鉴别准确率/%
橄榄油 + 10% 玉米油	10	100
橄榄油 + 10% 猪油	10	100
橄榄油 + 10% 牛油	10	100
橄榄油 + 15% 鸭油	10	100

由表 2 可知,对橄榄油中掺假 10% 的玉米油、猪油、牛油以及掺假 15% 的鸭油,模型鉴别准确率为 100%。

3 结论

建立了基于 EA-IRMS 测定油脂中 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$,并结合化学计量学鉴别橄榄油掺假的方法。结果表明,OPLS-DA 和 PCA 鉴别模型均可准确区分橄榄油与玉米油、猪油、牛油、鸭油,OPLS-DA 的效果稍好。OPLS-DA 鉴别模型可明显区分橄榄油与掺假油;使用玉米油、猪油、牛油和鸭油对橄榄油进行掺假时,PCA-Class 鉴别模型检测限分别为 5.8%、5.6%、6.4% 和 12.5%,盲样验证鉴别准确率可达 100%。本研究所构建的橄榄油掺假鉴别模型准确可靠,可有效识别橄榄油掺假玉米油、猪油、牛油和鸭油。

参考文献:

- [1] 吴学君,张媛. 不完全竞争下我国橄榄油进口贸易市场势力测度及影响因素研究[J]. 中国油脂,2021,46(1): 5-9.
- [2] 罗鑫,高盼,胡传荣,等. 西班牙和意大利进口特级初榨商品橄榄油品质比较[J]. 中国油脂,2022,47(6):46-52.
- [3] LUO Y, GAO B, ZHANG Y, et al. Detection of olive oil adulteration with vegetable oils by ultra-performance convergence chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry (UPC²-QTOF MS) coupled with multivariate data analysis based on the differences of triacylglycerol compositions[J]. Food Sci Nutr, 2020, 8: 3759-3767.
- [4] 马玉华,唐方东,刘佳煜,等. 稳定同位素比技术用于

- 橄榄油的掺假鉴定[J]. 质谱学报, 2021, 42(2): 189-196.
- [5] 欧盟报告称橄榄油被列为最易造假食品[EB/OL]. (2013-11-06) [2022-04-06]. http://www.ce.cn/cysc/sp/info/201310/21/t20131021_16_44277.shtml.
- [6] 周盛敏, 姜元荣. 橄榄油掺伪检测研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(4): 93-96.
- [7] 赵瑾, 邹涛, 陈宇迪, 等. DSC 方法在特级初榨橄榄油掺假鉴别中的应用[J]. 分析测试学报, 2017, 36(5): 655-659.
- [8] 黄帅, 王强, 应瑞峰, 等. 拉曼光谱技术在橄榄油掺伪及品质鉴定中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 334-341, 350.
- [9] STAVRAKAKIS G, PHILIPPIDIS A, VELEGRAKIS M. Application of optical spectroscopic techniques and multivariate statistical analysis as a method of determining the percentage and type of adulteration of extra virgin olive oil[J]. Food Anal Meth, 2022, 15(2): 285-293.
- [10] 于迎涛, 王季锋, 孙玉叶, 等. 采用降温扰动二维相关拉曼光谱鉴别掺假橄榄油[J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(12): 3727-3731.
- [11] DRIRA M, KELEBEK H, GUCLU G, et al. Targeted analysis for detection the adulteration in extra virgin olive oil's using LC-DAD/ESI-MS/MS and combined with chemometrics tools[J]. Eur Food Res Tech, 2020, 246(8): 1661-1677.
- [12] 黄秀丽, 黄飞, 曾宪远, 等. 傅里叶变换红外光谱法在橄榄油掺假鉴别中的应用[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 285-289.
- [13] JIANG H, CHEN Q. Determination of adulteration content in extra virgin olive oil using FT-NIR spectroscopy combined with the BOSS-PLS algorithm [J/OL]. Molecules, 2019, 24(11): 2134 [2022-04-06]. <https://doi.org/10.3390/molecules24112134>.
- [14] 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.
- [15] 李淑静, 赵婷, 葛含光, 等. 气相色谱-离子迁移谱应用于橄榄油的掺假鉴别[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 109-116.
- [16] FRAGAKI G, SPYROS A, SIRAGAKIS G, et al. Detection of extra virgin olive oil adulteration with lampante olive oil and refined olive oil using nuclear magnetic resonance spectroscopy and multivariate statistical analysis [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(8): 2810-2816.
- [17] BENSON S, LENNARD C, MAYNARD P, et al. Forensic applications of isotope ratio mass spectrometry: a review [J]. Forensic Sci Int, 2006, 157(1): 1-22.
- [18] 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.
- [19] CAMIN F, LARCHER R, PERINI M, et al. Characterisation of authentic Italian extra-virgin olive oils by stable isotope ratios of C, O and H and mineral composition [J]. Food Chem, 2010, 118(4): 901-909.
- [20] 祁兴普, 陈通, 刘萍, 等. GC-IMS 技术结合化学计量学方法在食用肉种类判别中的应用[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 311-315, 321.
- [21] 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.
- [22] LI B, WANG H, ZHAO Q, et al. Rapid detection of authenticity and adulteration of walnut oil by FTIR and fluorescence spectroscopy: a comparative study [J]. Food Chem, 2015, 181: 25-30.

·公益广告·

适度加工，营养更丰富！

《中国油脂》宣

