

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.81173

基于气相色谱—化学计量学的油茶籽油真伪鉴别

李婧妍 李 琴 韩 波 张瑞雪

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 咸阳 712100)

摘要: [目的] 实现油茶籽油真伪鉴别。[方法] 采用气相色谱法测定油茶籽油及 6 种常见植物油的脂肪酸组成, 运用主成分分析(PCA)探究植物油中各脂肪酸分布规律, 筛选出可能掺伪的植物油; 运用最小偏二乘判别分析(PLS-DA)建立脂肪酸与实际掺伪量模型并明确掺伪油特征指标; 利用多元逐步线性回归分析建立油茶籽油的掺伪油定量分析模型。[结果] 常见的 6 种植物油中, 橄榄油、花生油的脂肪酸组成与油茶籽油的最为接近, 可拟作油茶籽油的掺伪油。建立的 PLS-DA 模型可区分掺伪量 $\geq 5\%$ 的掺伪油, 并筛查出掺伪橄榄油的特征脂肪酸(棕榈酸、山嵛酸、亚油酸、棕榈油酸和硬脂酸)和掺伪花生油的特征脂肪酸(油酸、亚油酸和棕榈酸); 逐步线性回归分析建立的油茶籽油掺伪橄榄油和花生油定量模型相关系数(R^2)均 > 0.9 , 两个模型的掺假检出限(灵敏度)分别为 5% 和 2%, 方法重复性分别为 0.7%~6.0% 和 0.8%~3.3%; 预测值与真实值误差分别为 -1.93% ~ 2.08% 和 -0.79% ~ 0.15% 。[结论] 这套从可疑植物油种类筛选、定性判别到定量分析的完整技术策略可为油茶籽油真实性判断提供完整的解决方案。

关键词: 油茶籽油; 真实性鉴别; 气相色谱; 脂肪酸组成; 化学计量学

Authenticity identification of camellia seed oil based on gas chromatography and chemometrics

Li Jingyan Li Qin Han Bo Zhang Ruixue

(College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Xianyang, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] To establish a method for authenticity identification of camellia seed oil. [Methods] The fatty acid composition of camellia seed oil and six common vegetable oils are determined by gas chromatography. Principal component analysis (PCA) is employed to explore the distribution patterns of fatty acids among the vegetable oils and to screen for potentially adulterated oils. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) is applied to establish a model between fatty acid profiles and actual adulterated oils. Finally, multiple stepwise linear regression analysis is used to establish quantitative analysis models for adulteration in camellia seed oil. [Results] Among the six common vegetable oils, olive oil and peanut oil exhibit fatty acid compositions most similar to that of camellia seed oil, and are therefore selected as potential adulterants. The PLS-DA model could discriminate adulterated oils with adulteration levels no lower than 5%, and identify characteristic fatty acids for olive oil adulteration (palmitic acid, behenic acid, linoleic acid, palmitoleic acid and stearic acid) and for peanut oil adulteration (oleic acid, linoleic acid and palmitic acid). The quantitative models established by stepwise linear regression for olive oil and peanut oil adulteration in camellia seed oil achieve correlation coefficients (R^2) greater than 0.9 for both models. The limits of detection (sensitivities) for the two models are 5% and 2%, respectively, and the method repeatabilities range from 0.7% to 6.0% and from 0.8% to 3.3%, respectively. The errors between predicted and actual values range from -1.93% to 2.08% and from -0.79% to 0.15% , respectively. [Conclusion] This comprehensive technical strategy, encompassing screening, qualitative discrimination, and quantitative analysis, provides a complete solution for the authenticity assessment of camellia seed oil.

Keywords: camellia seed oil; authenticity identification; gas chromatography; fatty acid composition; chemometrics

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(编号: 2023-YBNY-191)

通信作者: 李婧妍(1980—), 女, 西北农林科技大学高级实验师, 博士。E-mail: jyli@nwfu.edu.cn

收稿日期: 2025-12-19 改回日期: 2026-06-29

引用格式: 李婧妍, 李琴, 韩波, 等. 基于气相色谱—化学计量学的油茶籽油真伪鉴别[J]. 食品与机械, 2026, 42(7): 60-67.

Citation: Li Jingyan, Li Qin, Han Bo, et al. Authenticity identification of camellia seed oil based on gas chromatography and chemometrics [J]. Food & Machinery, 2026, 42(7): 60-67.

油茶籽油富含单不饱和脂肪酸、植物甾醇、多酚及角鲨烯等多种功能性成分^[1-3],具有抗氧化、保肝、调节血脂血糖、预防心脑血管疾病及促进脂肪酸代谢等生物活性,在改善居民膳食结构、降低慢性病风险方面展现出重要潜力^[4-6]。然而,受限於中国油茶籽油资源相对短缺、市场价格较高,市场上常出现以低价植物油掺伪的现象。此类行为不仅损害消费者权益,也对油茶籽油市场的健康发展造成负面影响。因此,建立一套系统、有效的油茶籽油真实性鉴别方法具有重要的现实意义。

目前,植物油真实性鉴别主要依赖电子感官技术、红外光谱技术、色谱与质谱联用技术以及核磁共振技术等^[7-11]。电子感官技术难以实现准确定量分析;红外光谱技术的检测结果易受多重因素干扰;质谱与核磁共振技术则分析过程复杂,对仪器设备和操作人员要求较高。气相色谱技术作为植物油脂肪酸分析的经典方法,具有操作简便、分析快速、结果准确等优点。近年来,气相色谱常与化学计量学方法联合使用,通过构建数学模型对不同植物油的脂肪酸组成进行分析,进而实现植物油品质评价与真实性鉴定。已有学者等^[12-17]将气相色谱与化学计量学手段结合,对沙棘油、核桃油、橄榄油等进行掺伪及精炼程度检测,并结合聚类分析(HCA)、主成分分析(PCA)或偏最小二乘判别分析(PLS-DA)等统计学方法,构建了一种有效的预测模型,用于识别样本间的相似性并挖掘潜在关联模式。但目前系统性地运用气相色谱结合多种化学计量学方法,建立油茶籽油掺假研究策略并深入挖掘其特征信息的技术仍较为有限。

试验拟采用气相色谱技术测定油茶籽油及6种常见植物油的脂肪酸组成,通过PCA和PLS-DA筛选出可能用于掺假的植物油种类及其特征掺假脂肪酸,进而结合多元逐步线性回归构建掺伪定量鉴别模型,旨在为油茶籽油真实性鉴别提供一套系统化的技术策略,为其质量控制与市场监管提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试剂、样品

37种脂肪酸甲酯(FAME)混合标准溶液:纯度99.9%,美国安捷伦科技有限公司;

丙酮、石油醚:色谱纯,美国天地有限公司;

盐酸、甲酸、乙酸铵:色谱纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

油茶籽油:一级压榨型(20250108),江西省高正生物科技集团有限公司;

大豆油:一级浸出型,中粮东海粮油工业(张家港)有限公司;

花生油、油菜籽油:一级压榨型,益海嘉里(兰州)粮

油工业有限公司;

玉米胚芽油、葵花籽油:一级压榨型,佳格食品(中国)有限公司;

橄榄油:特级初榨型,凉山州中泽新技术开发有限责任公司。

1.1.2 仪器与设备

万分之一分析天平:xs105DU型,瑞士Mettler Toledo公司;

高速冷冻离心机:Allegra 64R型,美国Beckman公司;

气相色谱仪:7890B型,配备火焰离子化检测器,美国安捷伦科技有限公司;

涡旋振荡器:MS3型,德国IKA公司;

超纯水仪:Milli-Q型,美国Millipore公司。

1.2 方法

1.2.1 掺伪油样品制备 将掺伪油分别按5%,10%,20%,30%,40%,50%掺入到油茶籽油中,充分混匀后室温保存,用于PSL-DA和逐步线性回归模型分析,每个梯度配制3个掺伪样品。按此方法配制2%,4%,5%,8%,10%,15%,25%,35%的掺伪油作为验证方程用掺伪油。

1.2.2 脂肪酸组成及含量分析 取2.0 g植物油样品,加入8 mL 2%氢氧化钠—甲醇溶液,冲入氮气,充分摇匀,50℃水浴1 h。冷却后,加入2 mL饱和氯化钠和10 mL正己烷,充分振荡,3 000 r/min离心5 min。取上层清液,加入2 mL蒸馏水,振荡摇匀后静置分层,取上层清液于装有无水硫酸钠的试管中,摇匀,经0.22 μm尼龙滤膜过滤,进行气相色谱分析^[18]。

气相色谱条件:色谱柱为安捷伦公司HP-INNOWax(60 m×0.25 mm,0.25 μm);载气为高纯氮气;分流比1:50;升温程序:起始温度150℃,保持2 min;以8℃/min升温至235℃,保持15 min;进样量1 μL;流速1 mL/min。采用面积归一化法计算样品中脂肪酸相对百分含量。

1.2.3 化学计量学分析 利用PCA对不同植物油样品的脂肪酸组成进行降维分析,提取的主成分贡献率>80%即表明能够涵盖数据的绝大部分信息。采用PLS-DA对数据建立回归模型,并通过置换检验判断模型准确度,通过变量投影重要性(VIP)评估各变量在模型中的贡献程度^[19]。

1.2.4 多元逐步线性回归模型建立及验证 基于SPSS 24.0软件建立多元逐步线性回归模型,其中自变量(X)为脂肪酸含量,因变量(Y)为掺伪量,模型通用形式为:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \cdots + a_n X_n, \quad (1)$$

式中:

a_0 ——常数项;

$a_1, a_2, \cdots, a_n$ ——待定系数。

为验证模型性能,将质量分数为2%,4%,5%,8%,10%,15%,25%,35%的橄榄油和花生油掺入到油茶籽油

中制备验证样品。每个掺伪水平设置 3 个平行试验,结果取平均值进行分析。

1.3 数据处理

统计学数据以平均值±标准偏差表示,重复性采用相对标准偏差(RSD)表示;采用 SPSS 24.0 软件对数据进行统计学分析,多重比较采用 Turkey 法, $P < 0.05$ 表明组间存在显著差异;利用 Origin 2024 软件对脂肪酸组成进行 PCA 分析;利用 SIMCA 14.1 软件对掺伪油茶籽油脂脂肪酸组成进行 PLS-DA 分析。

2 结果与分析

2.1 油茶籽油与 6 种植物油脂脂肪酸组成差异分析

由图 1 和表 1 可知,7 种植物油中共检出 17 种脂肪酸,

包括 8 种饱和脂肪酸(SFA)和 9 种不饱和脂肪酸(UFA);其中 UFA 由 5 种单不饱和脂肪酸(MUFA)和 4 种多不饱和脂肪酸(PUFA)组成。

由图 2 可知,油茶籽油中 SFA 含量为 10.28%,显著低于大豆油、花生油和玉米胚芽油的,与菜籽油、橄榄油的较为接近。SFA 主要以棕榈酸(8.62%)为主,其次为硬脂酸(1.58%)。油茶籽油中 UFA 含量为 89.72%,仅次于菜籽油,与橄榄油和葵花籽油的相近;其中 MUFA 含量为 79.69%,PUFA 含量为 10.03%。与其他植物油相比,油茶籽油中油酸含量最高,约为菜籽油和花生油的 2 倍,为玉米胚芽油、大豆油和葵花籽油的 3~4 倍。油酸具有调节血脂与糖脂代谢、抗炎与免疫调节、预防神经系统疾病等多种生理功能,在维护人体健康方面发挥重要作用^[20-21]。

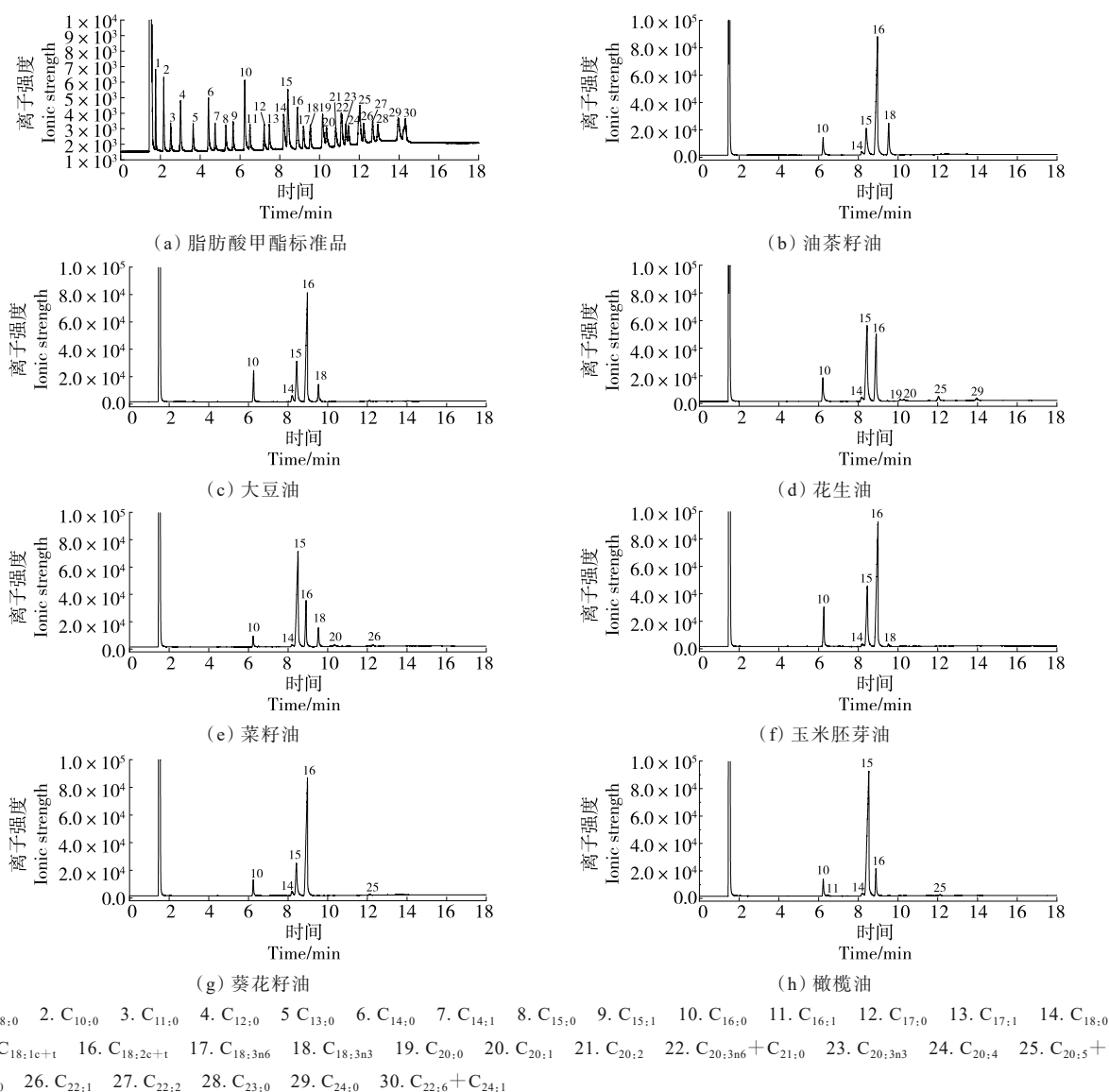


图 1 7 种植物油脂脂肪酸甲酯色谱图

Figure 1 Chromatogram of fatty acid methyl esters of seven vegetable oils

表1 7种植物油的脂肪酸组成及相对百分含量[†]

化合物	油茶籽油	大豆油	花生油	菜籽油	玉米胚芽油	葵花籽油	橄榄油
豆蔻酸(C _{14:0})	ND	0.06±0.01 ^a	0.03±0.01 ^d	0.04±0.01 ^b	0.02±0.01 ^d	ND	0.03±0.01 ^c
棕榈酸(C _{16:0})	8.61±0.05 ^d	10.47±0.07 ^b	9.95±0.42 ^c	3.88±0.42 ^f	12.09±0.12 ^a	5.97±0.02 ^e	5.96±0.25 ^e
棕榈油酸(C _{16:1})	ND	ND	ND	0.23±0.01 ^b	ND	ND	0.47±0.05 ^a
十七烷酸(C _{17:0})	0.04±0.01 ^d	0.08±0.01 ^b	0.10±0.01 ^a	0.06±0.01 ^c	ND	ND	0.02±0.00 ^e
十七碳烯酸(C _{17:1})	0.06±0.01 ^b	0.05±0.01 ^{bc}	0.03±0.00 ^{cd}	0.10±0.02 ^a	0.02±0.00 ^d	ND	0.06±0.01 ^b
硬脂酸(C _{18:0})	1.58±0.18 ^{de}	3.74±0.28 ^a	3.18±0.21 ^b	1.40±0.09 ^e	1.37±0.10 ^e	2.81±0.18 ^c	1.89±0.15 ^d
油酸(C _{18:1})	79.03±0.07 ^a	22.66±0.16 ^e	46.37±0.51 ^c	62.34±0.38 ^b	27.59±0.10 ^d	19.90±0.23 ^f	79.47±0.54 ^a
亚油酸(C _{18:2})	9.64±0.46 ^f	54.16±0.32 ^c	32.82±0.10 ^d	19.40±0.16 ^e	56.84±0.28 ^b	70.08±0.26 ^a	10.32±0.14 ^f
亚麻酸(C _{18:3})	0.35±0.05 ^c	7.42±0.27 ^b	0.14±0.08 ^c	8.80±0.36 ^a	0.84±0.04 ^c	0.08±0.01 ^c	0.22±0.01 ^c
花生酸(C _{20:0})	ND	0.21±0.01 ^{cd}	1.34±0.08 ^a	0.40±0.02 ^b	0.24±0.01 ^c	0.12±0.01 ^d	0.17±0.08 ^{cd}
花生一烯酸(C _{20:1})	0.58±0.04 ^c	0.31±0.02 ^{de}	1.23±0.09 ^b	1.57±0.01 ^a	0.49±0.05 ^{cd}	0.21±0.01 ^e	0.38±0.02 ^{cde}
山嵛酸(C _{22:0})	ND	0.40±0.02 ^c	2.87±0.14 ^a	0.28±0.02 ^d	0.18±0.09 ^d	0.63±0.04 ^b	0.62±0.04 ^b
芥酸(C _{22:1})	ND	0.07±0.01 ^c	0.16±0.01 ^b	0.94±0.07 ^a	0.08±0.01 ^c	ND	ND
二十二碳二烯酸(C _{22:2})	ND	0.04±0.01 ^a	0.03±0.01 ^b	ND	ND	ND	ND
二十三烷酸(C _{23:0})	0.03±0.01 ^a	0.02±0.01 ^b	0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a	ND	ND	ND
木蜡酸(C _{24:0})	ND	0.15±0.01 ^b	1.37±0.07 ^a	0.15±0.01 ^b	0.16±0.01 ^b	0.17±0.01 ^b	0.21±0.01 ^b
DHA(C _{22:6})	0.03±0.01 ^b	ND	ND	0.14±0.01 ^a	ND	ND	0.11±0.01 ^a

† 同行小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);ND表示未检出。

此外,油茶籽油中亚油酸含量为9.64%,与橄榄油的接近,显著低于其他5种植物油。

2.2 基于PCA的植物油区分及潜在掺伪油种筛选

由图3可知,前3个主成分的累计贡献率达80.3%,表明基于脂肪酸组成可实现不同植物油的有效区分,能够较好反映样品间的整体差异。由载荷图可知,PC1主要受油酸、棕榈油酸和DHA影响;PC2主要由十七碳烯酸、芥酸、亚麻酸和豆蔻酸等贡献;PC3则主要对应亚油酸和硬

脂酸的变化。其中,油茶籽油与橄榄油、花生油分布于相近区域,表明后两者的脂肪酸组成在主成分特征上与油茶籽油的高度相似,具有较高的掺伪可能性。因此,选取橄榄油和花生油进行后续掺伪模拟试验。

鉴于油茶籽油与其他植物油在油酸、亚油酸含量上存在明显差异,GB/T 24569—2009和GB/T 11765—2018主要依赖这两种脂肪酸及饱和脂肪酸含量对其进行真实性鉴定。陈通等^[12,22]基于上述方法对掺伪葵花籽油、大豆油、菜籽油等样品进行检测研究,该方法对于脂肪酸组成与油茶籽油差异较大的植物油具有良好区分能力,但对于脂肪酸组成最为相似的橄榄油,仅凭油酸和亚油酸含量难以实现有效鉴定。目前,针对油茶籽油中掺入橄榄油的鉴别研究仍未见报道。试验进一步采用PLS-DA模型对掺伪橄榄油和花生油的油茶籽油脂脂肪酸组成进行分析,以期弥补现有方法的不足,提升油茶籽油真实性鉴别的准确性与适用范围。

2.3 基于PLS-DA的掺伪油茶籽油判别分析

采用PLS-DA通过预设分类量化各特征脂肪酸对总体差异的贡献程度。建模数据来源于油茶籽油及掺入5%~30%橄榄油的样品集。模型评价参数中, R_x^2 表示模型对自变量的解释方差, Q^2 反映模型的预测能力; $Q^2>0.5$ 通常表明模型具备良好的预测性能^[23]。

由图4可知,所构建的PLS-DA模型能够清晰区分掺伪量为5%~30%的橄榄油与花生油,各样品组呈现良好

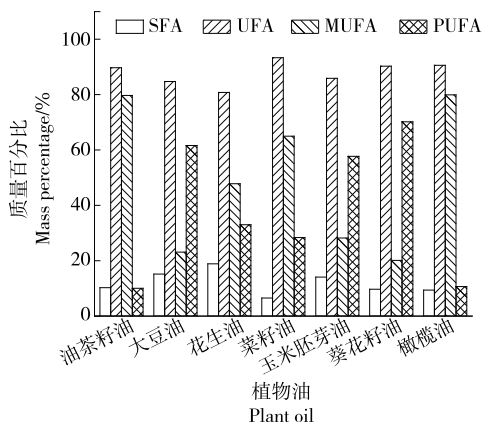


图2 7种植物油中SFA、UFA、MUFA和PUFA的相对百分含量

Figure 2 Relative percentage content of SFA, UFA, MUFA and PUFA in seven vegetable oils

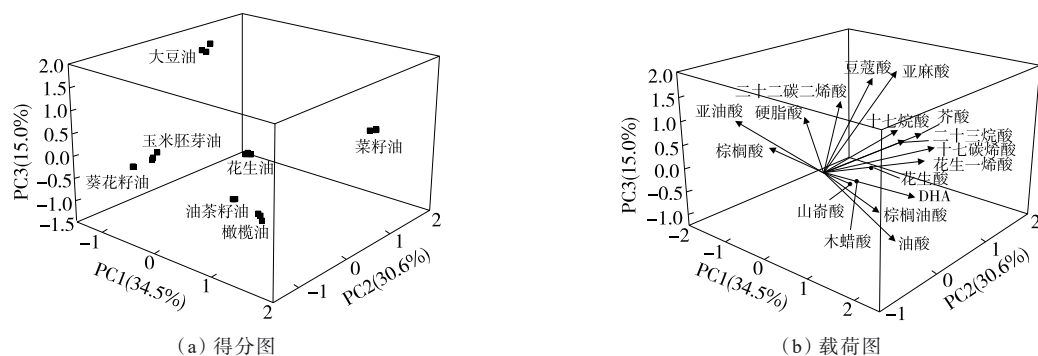


图 3 7 种植物油脂脂肪酸的 PCA 得分图和载荷图
Figure 3 PCA score and loading plots of seven vegetable oils

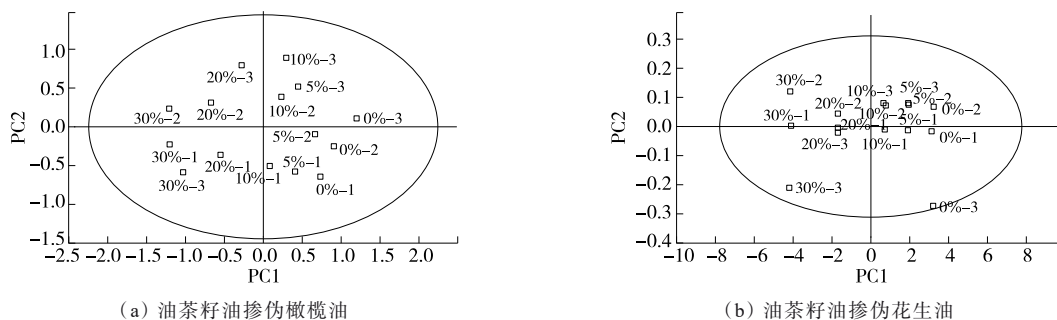


Figure 4 Score scatter plot from PLS-DA model for the identification of adulterated camellia seed oil

的聚类分离趋势。掺伪橄榄油模型 $R_X^2 = 0.896$, $Q^2 = 0.596$, 掺伪花生油模型 $R_X^2 = 0.989$, $Q^2 = 0.564$, 表明两个模型的解释率与预测能力均较为理想, 可用于进一步的特征脂肪酸筛选与掺伪判别分析。

为确保 PLS-DA 模型判别结果的可靠性, 避免因过拟合导致结论偏差, 对模型进行置换检验^[23], 结果如图 5 所示。掺伪橄榄油模型置换检验得到 $R^2 = 0.0858$, $Q^2 = -0.206$; 掺伪花生油模型置换检验得到 $R^2 = 0.0703$, $Q^2 = -0.163$ 。在置换检验图中, R^2 回归线在 Y 轴上的截距均 < 0.3 , Q^2 回归线在 Y 轴上的截距均 < 0.05 , 表明所建模型未出现过拟合现象, PLS-DA 分析结果稳定可靠, 能

够有效判别油茶籽油中掺入 5%~30% 的橄榄油或花生油。

VIP 值用于衡量变量在分类模型中的贡献程度, 通常认为 $VIP > 1$ 的变量在判别过程中起关键作用^[23]。由图 6 可知, 在掺伪橄榄油的判别中, $VIP > 1$ 的特征脂肪酸包括棕榈酸、山萘酸、亚油酸、棕榈油酸和硬脂酸。特征脂肪酸中棕榈酸的 VIP 值最高, 其次为山萘酸、亚油酸、棕榈油酸和硬脂酸。其中, 棕榈酸在油茶籽油中含量约为 8.6%, 在橄榄油中约为 5.9%, 显著低于油茶籽油, 因此随着橄榄油掺伪比例的增加, 棕榈酸含量呈下降趋势。油茶籽油中不含有山萘酸^[24-25], 但在橄榄油和花生油中含量约为 0.62% 和 2.87%, 因此可作为特征脂肪酸。山萘酸在其他

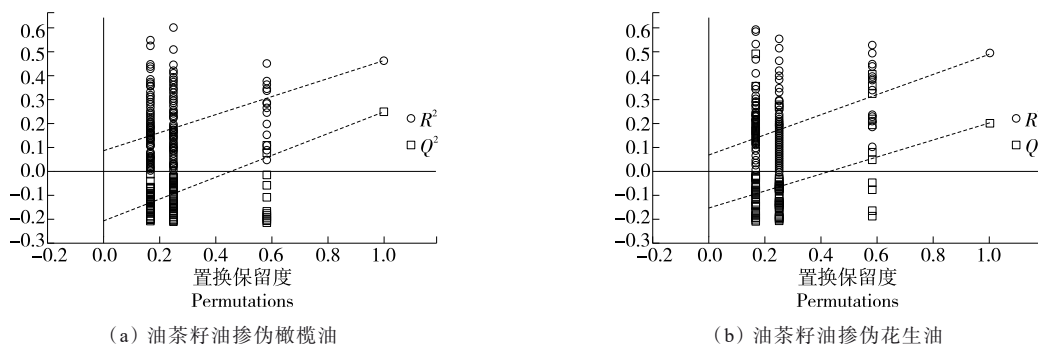


图 5 掺伪油茶籽油鉴别的 PLS-DA 模型置换检验图

Figure 5 Replacement inspection chart from PLS-DA model for the identification of adulterated camellia seed oil

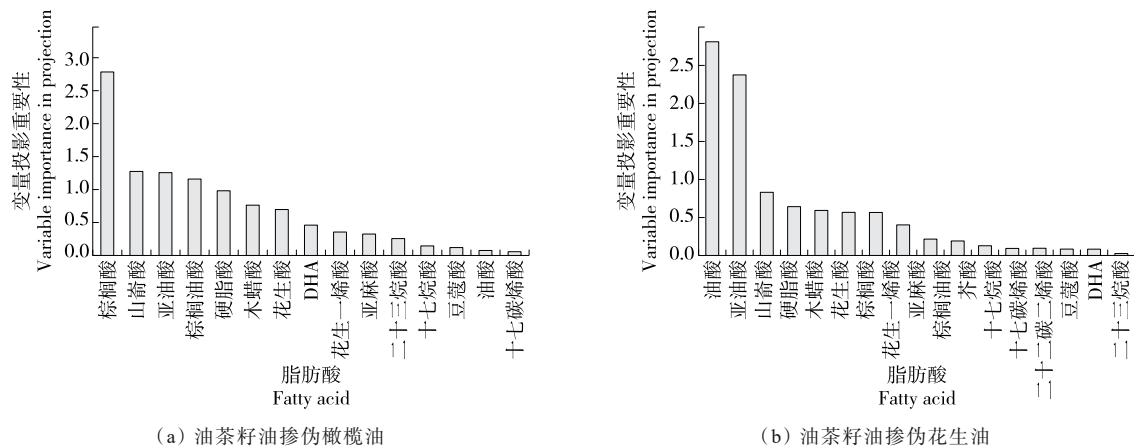


图6 掺伪油茶籽油脂肪酸PLS-DA模型VIP得分图

Figure 6 VIP score diagram from PLS-DA model for fatty acids in the identification of adulterated camellia seed oil

植物油中普遍存在,该指标也可用于其他植物油掺伪的非靶向判别分析。

在掺伪花生油的判别中,VIP>1的特征脂肪酸包括油酸、亚油酸和棕榈酸,为鉴别花生油掺伪的特征指标。花生油与油茶籽油在脂肪酸组成上存在明显差异,当掺入花生油后,油酸含量显著降低,亚油酸含量显著升高,呈现出最为明显且规律性的变化趋势。棕榈酸是油茶籽油中主要的饱和脂肪酸,约占饱和脂肪酸总量的50%。因此,基于油酸、亚油酸和棕榈酸3种脂肪酸进行掺伪判别,其结果与国标判别结果基本一致。

2.4 基于多元线性逐步回归分析的定量分析

2.4.1 模型建立 采用多元线性逐步回归分析方法构建掺伪定量预测模型。该方法可通过逐步筛选变量,剔除

不显著的影响因素建立最优回归方程。以掺伪橄榄油和掺伪花生油的油茶籽油样品为对象,分别将其特征脂肪酸含量作为自变量,掺伪百分比作为因变量,构建回归模型,结果见表2。由表2可知,两个鉴别模型的决定系数(R^2)均>0.9,且模型整体显著性水平平均<0.05,表明所建模型具有较高的解释能力和统计可靠性,能够有效用于油茶籽油中上述两类掺伪含量的定量预测与判别。

2.4.2 模型验证 采用误差分析评估模型的预测能力,结果如表3所示。由表3可知,在掺伪橄榄油鉴别模型中,模型的掺假检出限(灵敏度)为5%,方法重复性为0.7%~6.0%,预测值与真实值误差分别为-1.93%~2.08%。在掺伪花生油模型中,掺伪检出限(灵敏度)为2%,RSD为0.8%~3.3%;预测值与真实值误差为-0.79%~

表2 多元线性逐步回归分析模型[†]

Table 2 Multiple linear stepwise regression analysis model

掺伪植物油品种	模型回归方程
掺伪橄榄油	$Y=190.98-10.175X_1+161.309X_2-9.33X_3-9.545X_5+11.428X_6$
掺伪花生油	$Y=838.638-9.917X_1-8.635X_4-7.390X_5$

[†] Y为掺伪百分含量(%); X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别为棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、山萘酸。

表3 油茶籽油掺伪模型预测能力评价

Table 3 Evaluation of model prediction ability for camellia seed oil adulteration

%

实际掺伪量	预测值	RSD	误差值	实际掺伪量	预测值	RSD	误差值
2% 橄榄油	-1.49 ± 0.19	—	—	2% 花生油	1.36 ± 0.05	3.3	-0.64
4% 橄榄油	0.54 ± 0.05	—	—	4% 花生油	3.31 ± 0.04	1.0	-0.69
5% 橄榄油	5.05 ± 0.14	2.6	+0.05	5% 花生油	5.12 ± 0.09	1.8	+0.12
8% 橄榄油	6.07 ± 0.06	6.0	-1.93	8% 花生油	7.21 ± 0.08	1.1	-0.79
10% 橄榄油	10.65 ± 0.22	2.1	+0.65	10% 花生油	9.84 ± 0.13	1.3	-0.16
15% 橄榄油	17.08 ± 0.14	0.8	+2.08	15% 花生油	15.15 ± 0.12	0.8	+0.15
25% 橄榄油	25.24 ± 0.61	2.4	+0.24	25% 花生油	24.79 ± 0.28	1.1	-0.21
35% 橄榄油	33.41 ± 0.24	0.7	-1.59	35% 花生油	34.95 ± 0.76	2.6	-0.05

0.15%。相较于彭思敏等^[26-28]的 Fisher 判别模型, 试验所建模型检出限低, 建模过程更为简洁高效, 仅需一次拟合即可获得稳定、准确的结果。

3 结论

结合气相色谱与化学计量学, 基于脂肪酸组成构建了油茶籽油真实性鉴别的分析策略。主成分分析显示, 橄榄油和花生油因脂肪酸构成与油茶籽油高度相似, 掺假风险较高。PLS-DA 判别模型表现出良好的解释力与区分效果; 逐步线性回归模型能准确识别掺伪比例 >5% 的掺伪橄榄油样品和 >2% 的掺伪花生油样品。相比国标及相关研究, 试验方法弥补了橄榄油掺伪鉴别技术的不足, 检出限降低 10%~15%。未来将开展实际掺伪样品验证, 拓展其他植物油掺假识别能力, 推进非靶向筛查技术, 完善脂肪酸信息库, 为油茶籽油真实性检测与市场监管提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 冯小刚, 骆文进, 王丽英. 山茶油脂肪酸组成及微量活性物质测定[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 61-65.
Feng X G, Luo W J, Wang L Y. Determination of fatty acid composition and trace active substance in camellia oil[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12): 61-65.
- [2] Dou X J, Wang X F, Ma F, et al. Geographical origin identification of camellia oil based on fatty acid profiles combined with one-class classification[J]. Food Chemistry, 2024, 433: 137306.
- [3] Deng Z W, Fu J S, Yang M M, et al. Geographical origin identification of Hainan camellia oil based on fatty acid composition and near infrared spectroscopy combined with chemometrics[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 125: 105730.
- [4] 李庆杨, 沈丹玉, 莫润宏, 等. 基于脂质组学的油茶籽油脂质轮廓与功能特性分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(7): 133-139.
Li Q Y, Shen D Y, Mo R H, et al. Lipid profile and functional analysis of camellia oil based on lipidomics[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(7): 133-139.
- [5] Jin C Y, Wang X, Meng X H, et al. Phenolics-abundant *Camellia oleifera* Abel oil exhibited potential functions of atopic dermatitis amelioration[J]. Food Bioscience, 2025, 73: 107754.
- [6] 谭传波, 田华, 赖琼玮, 等. 不同工艺山茶油中生物活性物质含量的比较[J]. 中国油脂, 2018, 43(12): 41-44, 49.
Tan C B, Tian H, Lai Q W, et al. Comparison of contents of bioactive substances in oil-tea camellia seed oils from different processes[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(12): 41-44, 49.
- [7] Wang X R, Gu Y, Lin W Q, et al. Rapid quantitative authentication and analysis of camellia oil adulterated with edible oils by electronic nose and FTIR spectroscopy[J]. Current Research in Food Science, 2024, 8: 100732.
- [8] 蒋涵, 李大鹏, 文韬, 等. 基于电子鼻的茶油掺伪定性和定量检测[J]. 食品与机械, 2023, 39(4): 65-70.
Jiang H, Li D P, Wen T, et al. Qualitative and quantitative detection of camellia oil adulteration based on electronic nose[J]. Food & Machinery, 2023, 39(4): 65-70.
- [9] 滕爽, 鄢永红, 沈娟, 等. 气相色谱-质谱法结合气相色谱法鉴别山茶籽油真实性[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(17): 267-273.
Teng S, Yan Y H, Shen J, et al. Identification of real properties of camellia seed oil based on gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(17): 267-273.
- [10] Wang R N, Fang Y, Luo W F, et al. Quantitative analysis of camellia oil binary adulteration using near infrared spectroscopy combined with chemometrics[J]. Microchemical Journal, 2025, 217: 115018.
- [11] 张笑斐, 彭新颜. 茶籽油掺杂辨识指标研究进展[J]. 食品与机械, 2025, 41(11): 209-214.
Zhang X F, Peng X Y. Research progress of adulteration identification indexes for camellia seed oil[J]. Food & Machinery, 2025, 41(11): 209-214.
- [12] 陈通, 陈鑫郁, 谷航, 等. 气相离子迁移谱对山茶油掺假的检测[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 275-279.
Chen T, Chen X Y, Gu H, et al. Detection of adulterated camellia oil using gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2019, 40(8): 275-279.
- [13] Yang X M, Zhang M J, Koidis A, et al. Identification and quantitation of multiplex camellia oil adulteration based on 11 characteristic lipids using UPLC-Q-Orbitrap-MS[J]. Food Chemistry, 2025, 468: 142370.
- [14] Wang J H, Qian J J, Xu M T, et al. Adulteration detection of multi-species vegetable oils in camellia oil using Raman spectroscopy: comparison of chemometrics and deep learning methods[J]. Food Chemistry, 2025, 463: 141314.
- [15] 李雪婷, 伊雄海, 樊祥, 等. 基于多元素含量分析结合化学计量学技术的橄榄油等级鉴别方法[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 317-323.
Li X T, Yi X H, Fan X, et al. Grade identification of olive oil based on multi-element analysis and chemometrics[J]. Food Science, 2022, 43(8): 317-323.
- [16] 张九凯, 徐冰冰, 韩建勋, 等. 基于脂质组学的沙棘油及其掺假油的甘油酯组成比较分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 144-158.
Zhang J K, Xu B B, Han J X, et al. Comparative analysis of the glyceride composition of sea buckthorn oil and its adulterated oil based on lipidomics[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(11): 144-158.
- [17] 吴史博, 刘延奇, 李超, 等. 气相色谱结合化学计量在核桃

- 油、菜籽油掺伪混合物含量判别分析中的应用[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 63-68, 73.
- Wu S B, Liu Y Q, Li C, et al. Application of gas chromatography combined with stoichiometry in discriminant analysis of pseudo mixtures of walnut oil and rapeseed oil[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 63-68, 73.
- [18] GB 5009.168—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S].
- GB 5009.168—2016 National food safety standard determination of fatty acids in food[S].
- [19] 曹蓉露, 陈小娥, 宋诗军, 等. 基于脂肪酸组成特征的沙丁鱼油掺伪检测[J]. 核农学报, 2023, 37(2): 338-345.
- Cao J L, Chen X E, Song S J, et al. Adulteration detection of sardine oil based on fatty acid composition characteristics[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(2): 338-345.
- [20] Deng B E, Kong W M, Suo H Y, et al. Oleic acid exhibits anti-proliferative and anti-invasive activities *via* the PTEN/AKT/mTOR pathway in endometrial cancer[J]. Cancers, 2023, 15(22): 5 407.
- [21] Chen C Y, Lee Y H, Chang S H, et al. Oleic acid-loaded nanostructured lipid carrier inhibit neutrophil activities in the presence of albumin and alleviates skin inflammation[J]. International Journal of Nanomedicine, 2019, 14: 6 539-6 553.
- [22] 应美蓉, 杜文凯, 章程, 等. 气相色谱法测定脂肪酸含量判定山茶油纯度[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 132-136.
- Ying M R, Du W K, Zhang C, et al. Judgement of purity of oil-tea camellia seed oil by determining fatty acid content with gas chromatography[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(1): 132-136.
- [23] 孙坤秀. 基于显微和化学指纹特征的香菇粉掺假检测方法研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022: 23-26.
- Sun K X. Methodology research on detection of adulteration of shiitake powder based on microscopic and chemical fingerprint characteristics[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022: 23-26.
- [24] 郭丽, 赵锋, 吕海鹏, 等. 市售山茶油的脂肪酸组成及含量分析[J]. 食品工业, 2020, 41(5): 333-336.
- Guo L, Zhao F, Lü H P, et al. Fatty acid compositions and contents of marketed tea oils[J]. The Food Industry, 2020, 41(5): 333-336.
- [25] 叶敏倩, 吴峰华, 芮鸿飞, 等. 不同产地油茶籽油主要特征组分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 222-226.
- Ye M Q, Wu F H, Rui H F, et al. Comparative analysis of major characteristic components of tea seed oils (*Camellia oleifera* Abel.) from different geographic regions[J]. Food Science, 2020, 41(20): 222-226.
- [26] 彭思敏, 吴卫国. 基于回归方程式定量定性分析茶籽油掺伪的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(7): 125-131.
- Peng S M, Wu W G. Research on qualitative and quantitative analysis of the adulteration detection of camellia oils based on regression equation[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(7): 125-131.
- [27] 李桂仙, 李晔, 张春丹. 基于脂肪酸谱法分析山茶油掺伪[J]. 食品工业科技, 2019, 40(22): 277-281.
- Li G X, Li Y, Zhang C D. Adulteration analysis of camellia oil based on fatty acid spectrometry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(22): 277-281.
- [28] 周波, 冯纳, 廖泽鹏, 等. 基于特征脂肪酸和不同等价碳数甘油三酯的油茶籽油掺伪鉴别模型的建立[J]. 中国油脂, 2018, 43(11): 73-79, 88.
- Zhou B, Feng N, Liao Z P, et al. Establishment of oil-tea camellia seed oil adulteration model based on characteristic fatty acids and different equivalent carbon of triglycerides[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(11): 73-79, 88.