

基于紫外可见光谱技术和色素组成区分 橄榄油与其他食用油

卢聪慧^{1,2}, 胥玲花³, 黄新异^{1,2*}, 裴栋⁴, 邸多隆^{1,2}

(1. 中国科学院兰州化学物理研究所中科院西北特色植物资源化学重点实验室/甘肃省天然药物重点实验室, 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 陇南市经济林研究院, 陇南 742500; 4. 云南橄榄油大健康产业创新研究发展有限公司, 丽江 674100)

摘要: **目的** 通过紫外可见光谱技术和色素组成, 探究区分橄榄油与其他食用油的方法。**方法** 选择市售橄榄油(特级初榨橄榄油、混合橄榄油)和其他食用油(菜籽油、玉米油、葵花籽油、大豆油、花生油、调和油)作为研究对象, 分别在220~800 nm的波长范围内进行全光谱扫描以及在波长为450 nm和670 nm处进行光度测量; 通过比较不同食用油的紫外可见吸收光谱并结合主成分分析(principal component analysis, PCA)和偏最小二乘法判别(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)对不同橄榄油和其他食用油进行比较区分。**结果** 通过观察比较各食用油紫外可见吸收光谱的最大吸收波长所在位置, 可以对不同食用油进行初步区分。并且PCA和PLS-DA结果显示, 以波长450 nm和670 nm处的吸光度 A_{450} 和 A_{670} 以及 A_{450}/A_{670} 为变量, 可用于区分不同橄榄油和其他食用油。**结论** 基于紫外可见光谱技术对不同食用油中色素的检测结果可以对食用油进行分类, 并且 A_{450} 、 A_{670} 和 A_{450}/A_{670} 可以作为区分橄榄油与其他食用油的标记。

关键词: 紫外可见光谱; 食用油; 色素; 主成分分析; 偏最小二乘法判别

Distinguishing olive oil from other edible oils based on ultraviolet-visible spectroscopy and pigment compositions

LU Cong-Hui^{1,2}, XU Ling-Hua³, HUANG Xin-Yi^{1,2*}, PEI Dong⁴, DI Duo-Long^{1,2}

(1. Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Chemistry of Northwestern Plant Resources and Key Laboratory of Natural Medicine of Gansu Province, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Longnan Economic Forestry Research Institute, Longnan 742500, China; 4. Yunnan Olive Health Industry Innovation Research and Development Co., Ltd., Lijiang 674100, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the method of distinguishing olive oil from other edible oils by ultraviolet-visible spectroscopy and pigment compositions. **Methods** Several commercially available olive oils (extra virgin olive oil and blend olive oil) and other edible oils (rapeseed oil, corn oil, sunflower oil, soybean oil, peanut oil, and blended oil) were selected as the subjects in this study. Meanwhile, full spectral scans in the wavelength range of 220-800 nm and photometric measurements at 450 nm and 670 nm were performed, respectively.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1002403)、甘肃省重大专项(21ZD4NK045)、甘肃省重点研发计划项目(20YF3FA022)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2019YFD1002403), the Major Special Project of Gansu Province (21ZD4NK045), and the Key Research and Development Program of Gansu Province (20YF3FA022)

***通信作者:** 黄新异, 博士, 研究员, 主要研究方向为天然产物多组分复杂体系分离、分析新方法和新技术。E-mail: huangxy@licp.cas.cn

***Corresponding author:** HUANG Xin-Yi, Ph.D, Professor, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China. E-mail: huangxy@licp.cas.cn

By comparing the ultraviolet-visible spectra of different edible oils and combining with the principal component analysis (PCA) and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), different olive oil and other edible oils were compared and distinguished. **Results** Different edible oils could be preliminarily distinguished by observing and comparing the location of the maximum absorption wavelengths of the ultraviolet-visible absorption spectra. Besides, the results of PCA and PLS-DA showed that the absorbances (A_{450} and A_{670}) at 450 nm and 670 nm and A_{450}/A_{670} could be used as variables to distinguish olive oil from other edible oils. **Conclusion** Based on the detection results of pigments in different edible oils by ultraviolet-visible spectroscopy, edible oils can be classified, and A_{450} , A_{670} and A_{450}/A_{670} can be used as markers to distinguish olive oil from other edible oils.

KEY WORDS: ultraviolet-visible spectroscopy; edible oil; pigments; principal component analysis; partial least squares discriminant analysis

0 引言

食用油作为我国居民日常饮食生活中的必需食品, 具有很高的营养价值, 能够为人体提供必需的营养物质^[1-3]。目前, 我国市售的食用油主要有菜籽油、玉米油、葵花籽油、大豆油、花生油、调和油等。然而, 随着我国人民生活水平的不断提升和对健康生活方式的追求, 越来越多的人开始选择更高品质的食用油^[1]。

橄榄油作为一种直接由新鲜油橄榄果实冷榨得到的木本植物油, 具有极高的营养价值^[4-7], 在我国的需求量逐渐增加^[8]。特级初榨橄榄油是品质最好的橄榄油, 被誉为“液体黄金”^[9]。在冷榨过程中, 油橄榄果实中富含的天然脂溶性色素(类胡萝卜素和叶绿素)转移至油相, 并决定了橄榄油独特的颜色特征——黄绿色^[10]。除橄榄油之外, 菜籽油中也富含类胡萝卜素和叶绿素^[11-12], 而其他食用油(如: 玉米油、葵花籽油、大豆油、花生油等)则几乎不含有色素或仅含有少量类胡萝卜素^[13]。因此, 认识食用油中的色素特征对于区分橄榄油与其他食用油具有重要意义^[14]。

研究表明, 特级初榨橄榄油的色素特征与其真实性相关^[15]。CARRANCO 等^[16]采用具有紫外检测指纹的高效液相色谱法分析了 130 多种食用油(包括橄榄油和其他食用油), 采集并记录在 190~600 nm 波长范围内的紫外光谱, 同时结合色谱指纹数据与化学计量学分析, 发现橄榄油与其他食用油之间有明显的区别。橄榄油中色素的测定通常通过高效液相色谱技术来完成^[10,17]。然而, 尽管色谱技术强大的分离和定量能力可以实现对色素中单一成分的定性和定量, 但是由于食用油样品基质的复杂性, 必须对其进行样品前处理后才能进行色谱分析。但是样品前处理过程往往较为耗时且所选的处理方法会在一定程度上造成色素的损失^[18-20]。因此, 分析速度快、无需进行样品预处理和仪器成本较低的光谱技术被不断开发并应用于色素的检测^[21-22]。

紫外可见光谱技术作为一种快速无损的检测技术, 近年来被越来越多地应用于橄榄油中色素信息的分析与检

测^[23-25]。由于紫外可见光谱在所选定检测波长下具有唯一的吸光度值, 因此采用该技术仅能够对在特定波长下具有吸收特性的化合物总量进行量化^[26]。并且随着化学计量学的发展, 紫外可见光谱数据与化学计量学相结合被越来越多地用于橄榄油的真实性和质量鉴定, 包括单品种橄榄油鉴定、橄榄油年份鉴定以及橄榄油掺入其他油鉴定等^[27-30]。但是, 目前很少有报道直接利用色素在特定波长的吸光度与其特征比值用于橄榄油与其他食用油的区分。因此, 本研究在选定波长下测定了类胡萝卜素和叶绿素的总吸光度, 并根据吸光度比值关系, 同时结合主成分分析(principal component analysis, PCA)和偏最小二乘法判别(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)对橄榄油和其他食用油进行了分类与验证, 建立了用于区分橄榄油与其他食用油的分类模型, 以期为探究色素与食用油种类之间的关系提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

食用油: 26 种特级初榨橄榄油、8 种混合橄榄油(精炼橄榄油与特级初榨或初榨橄榄油混合油)、3 种菜籽油、6 种玉米油、5 种葵花籽油、2 种大豆油、2 种花生油、2 种调和油(中国不同食用油生产商家的市售食用油); β -胡萝卜素(纯度 98%, 成都埃法生物科技有限公司); 叶绿素(油溶, 纯度 10%, 北京德航五洲科技有限公司); 正己烷(分析纯, 天津市大茂化学试剂厂)。

1.2 仪器与设备

TU-1901 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); H1650 台式高速离心机(湘仪离心机仪器有限公司); SQP 万分之一电子天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]。

1.3 实验方法

1.3.1 叶绿素与 β -胡萝卜素标准溶液的配制

分别精确称量 0.01 g 叶绿素和 0.001 g β -胡萝卜素,

用正己烷溶解并定容至 10 mL。然后在转速为 5000 r/min 下离心 5 min。于黑暗中 -18°C 冷冻储存,防止正己烷挥发,经稀释至合适浓度后采用紫外可见光谱仪采集叶绿素与 β -胡萝卜素的紫外可见吸收全光谱图。

1.3.2 样品溶液配制

精准称量 1.5 g 食用油,用正己烷溶解并定容至 10 mL。然后在转速为 5000 r/min 下离心 5 min,以减小由悬浮物质引起的光散射^[31]。将制备的样品避光放置,待紫外可见分光光度计检测。

1.3.3 紫外可见分光光度计检测

将样品溶液倒入 1 cm 比色皿,采用波长为 450 nm 和 670 nm 进行光度测量,并在 220~800 nm 的波长范围内进行全光谱扫描,以得到各食用油在波长为 450 nm 和 670 nm 处的吸光度值和 220~800 nm 范围内的紫外可见吸收光谱。每个样品平行检测 3 次。

1.4 数据分析

将所有食用油样品随机分为测试集和训练集样本,采用 SIMCA (v.14.1)软件对吸光度数据进行 PCA 和 PLS-DA 分析;采用 Origin Pro 2021 进行图表的绘制与处理。

2 结果与分析

2.1 不同食用油紫外可见吸收光谱

通过对特级初榨橄榄油、混合橄榄油、菜籽油、花生油、调和油、玉米油、葵花籽油和大豆油等食用油在波长范围为 220~800 nm 进行紫外可见吸收光谱扫描,得到了各食用油的紫外可见吸收光谱图,结果见图 1。特级初榨橄榄油在波长为 414、448、474 和 670 nm 处有 4 个较强的特征吸收峰,对应于类胡萝卜素和叶绿素的特征吸收^[32](见图 2)。混合橄榄油也显示出与特级初榨橄榄油相同的特征吸收峰,但是吸收强度较特级初榨橄榄油明显减小,这是由于精炼过程会导致橄榄油中的色素(类胡萝卜素和叶绿素)含量减少^[33]。菜籽油的吸收光谱呈现出与特级初榨橄榄油相似的吸收特征,在 414、446、474 和 668 nm 处有 4 个较强的特征吸收峰。除此之外,花生油在 430、452、474 nm 有 3 个特征吸收峰,且其吸收强度小于特级初榨橄榄油,与李辰等^[34]研究结果相一致,但花生油在 670 nm 处基本无吸收,表明花生油中基本不含有叶绿素。调和油的吸收光谱在 400~500 nm 波长范围内呈现出与花生油相似的光谱特征,且在 670 nm 处出现吸收,可能是由于调和油中含有花生油及其他含有少量叶绿素的食用油引起的,但调和油中的所有特征吸收强度均小于特级初榨橄榄油。而玉米油、葵花籽油和大豆油在 220~800 nm 基本无特征吸收,说明这 3 种油中几乎不含有类胡萝卜素和叶绿素。如图 1 所示,基于不同种类食用油的紫外可见吸收光谱可以对含有

色素和几乎不含色素的食用油进行区分,但是由于含有色素的不同种类食用油紫外可见吸收光谱具有相似特征,因此结合其他有效数据对含有色素的食用油进行区分是十分必要的。

2.2 不同食用油吸光度的测定及分析

在 450 nm 处时类胡萝卜素吸收基本不受叶绿素吸收的影响,在 670 nm 处时叶绿素吸收基本不受类胡萝卜素影响,见图 2。因此选择在波长为 450 和 670 nm 处进行光度测量以获得在所选择波长下对应的总类胡萝卜素光度测量值和总叶绿素光度测量值。根据测量得到各食用油的吸光度 A_{450} 和 A_{670} ,并计算了 A_{450}/A_{670} 的比值,见表 1。尽管不同特级初榨橄榄油在 450 和 670 nm 处的吸光度值存在差别,但 A_{450}/A_{670} 比值较为接近,其范围为:1.455~1.964。经显著性分析,不同混合橄榄油在 450 和 670 nm 处的吸光度值存在差别且明显低于特级初榨橄榄油($P<0.05$),表明精炼过程导致橄榄油中类胡萝卜素和叶绿素含量减少, A_{450}/A_{670} 比值范围为:2.352~3.319。菜籽油在 450 和 670 nm 的吸光度值高于混合橄榄油但低于特级初榨橄榄油, A_{450}/A_{670} 比值范围为:4.075~4.722。玉米油、葵花籽油、大豆油、花生油和调和油在 450 和 670 nm 处基本无吸收或有较弱吸收,吸光度值明显低于特级初榨橄榄油($P<0.05$),同时这些食用油的 A_{450}/A_{670} 也较为接近,其范围为:1.075~1.377。通过比较橄榄油与其他食用油在 450 和 670 nm 处的吸光度值(A_{450} 和 A_{670})以及 A_{450}/A_{670} 比值范围,发现尽管不同食用油的 A_{450} 、 A_{670} 以及 A_{450}/A_{670} 存在差异,但是相同种类食用油的 A_{450} 、 A_{670} 和 A_{450}/A_{670} 值存在相似特征。因此,不同食用油在 450 和 670 nm 处的吸光度值 A_{450} 和 A_{670} 及其比值 A_{450}/A_{670} 有望成为区分橄榄油与其他食用油的标记。

2.3 PCA 和 PLS-DA

基于 2.2 部分分析结果可知,特级初榨橄榄油、混合橄榄油、菜籽油、花生油、调和油、玉米油、葵花籽油和大豆油在 450 和 670 nm 处吸光度 A_{450} 和 A_{670} 存在区别,且 A_{450}/A_{670} 也存在差异。为了进一步验证上述结果的可靠性,确定区分特级初榨橄榄油与其他食用油分类的主要标志,本部分采用 PCA 对样本进行了聚类 and 相似性分析;并采用 PLS-DA 对样本进行准确分类和预测,同时筛选出了差异标记。

以 A_{450} 、 A_{670} 和 A_{450}/A_{670} 为变量进行 PCA。图 3 显示了特级初榨橄榄油、混合橄榄油与其他食用油(包括:菜籽油、花生油、调和油、玉米油、葵花籽油、大豆油)的主成分,且主成分 1 ($R^2X[1]$)和主成分 2 ($R^2X[2]$)的累积贡献率达到 99.7%,可以反映其特征吸光度值的信息。从图 3A 可以看出,在相对独立的空间内,含有色素的 3 种食用油(包括:特级初榨橄榄油、混合橄榄油、菜籽油)区分明显;几

乎不含色素或仅含有极少量色素的其他食用油(包括: 葵花籽油、花生油、玉米油、大豆油、调和油)被分为一个类别, 可以与含有色素的食用油明显区分。荷载图(图 3B)中

的每一个点代表一个变量, 与原点的距离代表该变量对样本的贡献。距离越远, 代表对分类模型的贡献越大, 故 A_{450}/A_{670} 对该分类模型贡献最大。

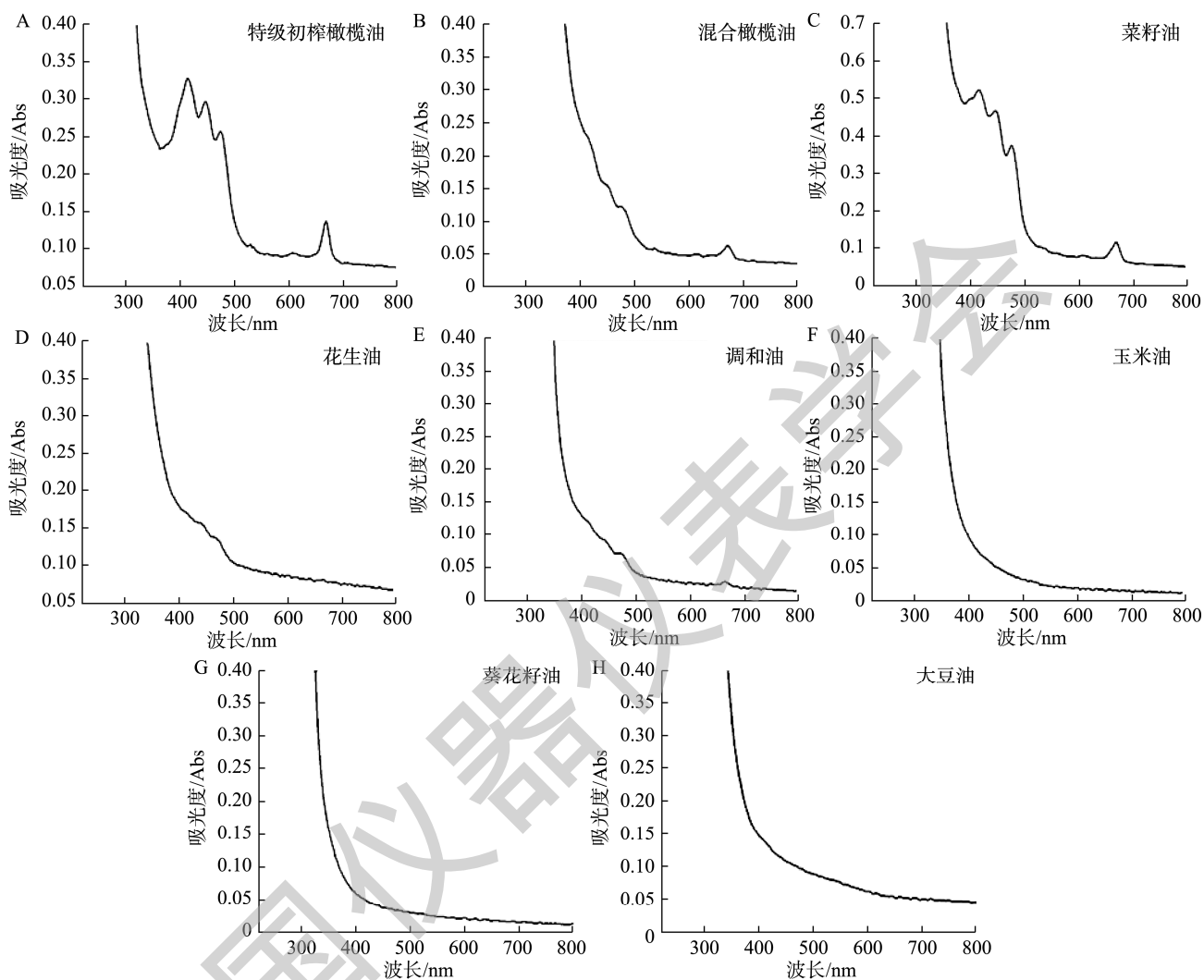


图 1 不同食用油的紫外可见吸收光谱

Fig.1 Ultraviolet-visible absorption spectras of different edible oils

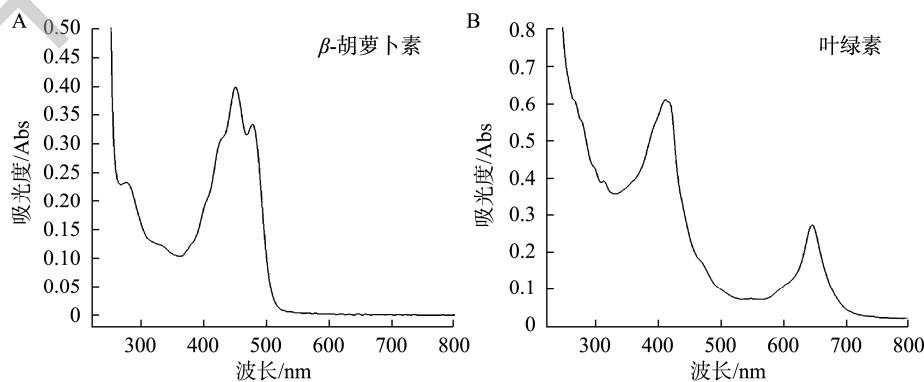


图 2 β -胡萝卜素和叶绿素溶解在正己烷中的紫外可见吸收光谱

Fig.2 Ultraviolet-visible absorption spectras of β -carotene and chlorophyll dissolved in *n*-hexane

表1 不同食用油在波长为450和670 nm处的吸光度 A_{450} 、 A_{670} 以及 A_{450}/A_{670} 和训练集与测试集样本分类
 Table 1 Absorbance A_{450} , A_{670} , and A_{450}/A_{670} of different edible oil at the wavelength of 450 and 670 nm and the classification of training set and test set

食用油分类	样品	A_{450}	A_{670}	A_{450}/A_{670}	样本分类
特级初榨橄榄油	EVOO-01	0.447	0.292	1.531	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-02	0.512	0.325	1.575	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-03	0.482	0.300	1.607	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-04	0.479	0.285	1.681	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-05	0.591	0.367	1.610	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-06	0.669	0.349	1.917	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-07	0.524	0.307	1.707	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-08	0.422	0.276	1.529	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-09	0.568	0.345	1.646	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-10	0.568	0.342	1.661	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-11	0.536	0.299	1.793	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-12	0.541	0.320	1.691	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-13	0.560	0.369	1.518	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-14	0.410	0.248	1.653	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-15	0.451	0.310	1.455	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-16	0.505	0.300	1.683	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-17	0.500	0.303	1.650	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-18	0.466	0.269	1.732	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-19	0.473	0.271	1.745	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-20	0.589	0.323	1.824	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-21	0.495	0.252	1.964	测试集
特级初榨橄榄油	EVOO-22	0.559	0.343	1.630	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-23	0.678	0.388	1.747	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-24	0.644	0.355	1.814	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-25	0.622	0.414	1.502	训练集
特级初榨橄榄油	EVOO-26	0.593	0.373	1.590	训练集
混合橄榄油	OO-01	0.122	0.047	2.589	训练集
混合橄榄油	OO-02	0.088	0.035	2.548	训练集
混合橄榄油	OO-03	0.107	0.036	2.936	测试集
混合橄榄油	OO-04	0.096	0.036	2.676	训练集
混合橄榄油	OO-05	0.125	0.053	2.352	训练集
混合橄榄油	OO-06	0.097	0.039	2.479	测试集
混合橄榄油	OO-07	0.101	0.030	3.319	训练集
混合橄榄油	OO-08	0.145	0.057	2.535	测试集
菜籽油	RO-01	0.379	0.080	4.722	训练集
菜籽油	RO-02	0.436	0.107	4.075	训练集
菜籽油	RO-03	0.365	0.081	4.506	测试集
葵花籽油	SFO-01	0.163	0.137	1.124	训练集
葵花籽油	SFO-02	0.155	0.131	1.175	训练集
葵花籽油	SFO-03	0.140	0.121	1.151	训练集
葵花籽油	SFO-04	0.135	0.119	1.134	测试集
葵花籽油	SFO-05	0.131	0.108	1.209	测试集
花生油	PO-01	0.142	0.115	1.235	测试集

表 1(续)

食用油分类	样品	A_{450}	A_{670}	A_{450}/A_{670}	样本分类
花生油	PO-02	0.248	0.182	1.358	训练集
玉米油	CO-01	0.167	0.139	1.193	训练集
玉米油	CO-02	0.199	0.161	1.211	训练集
玉米油	CO-03	0.183	0.142	1.280	训练集
玉米油	CO-04	0.201	0.172	1.160	训练集
玉米油	CO-05	0.198	0.149	1.318	测试集
玉米油	CO-06	0.195	0.165	1.168	测试集
大豆油	SO-01	0.205	0.190	1.075	训练集
大豆油	SO-02	0.128	0.109	1.161	测试集
调和油	BO-01	0.195	0.142	1.377	训练集
调和油	BO-02	0.163	0.141	1.148	测试集

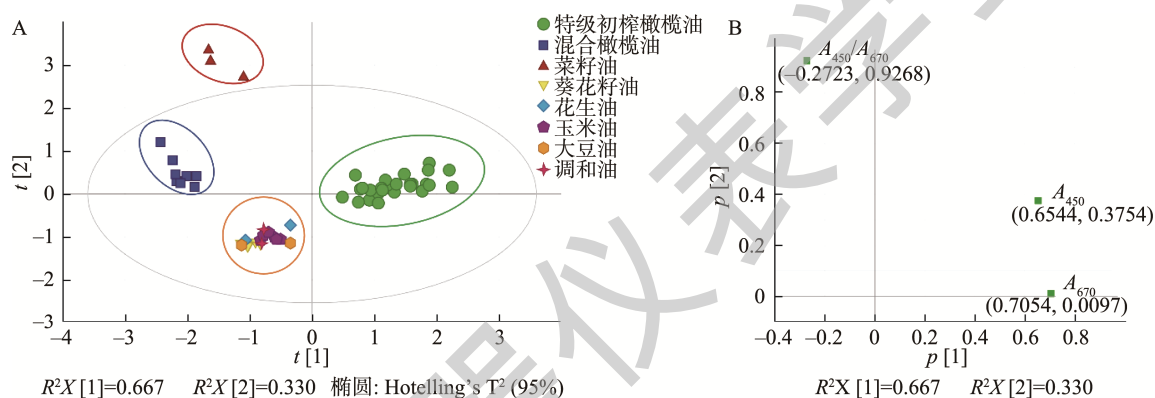


图 3 基于 A_{450} 、 A_{670} 和 A_{450}/A_{670} 为变量的 PCA 图(A)和荷载图(B)
 Fig.3 Principal component analysis plot (A) and load plot (B) based on A_{450} , A_{670} and A_{450}/A_{670}

PLS-DA 分析作为一种监督分离模型, 被用于进一步阐明样品之间的区别。为了进一步解释不同食用油之间的区别, 使用训练集样本(见表 1)建立了 PLS-DA 模型(图 4A), 从图 4 中可以看到含有色素的食用油包括特级初榨橄榄油、混合橄榄油和菜籽油能够明显区分, 并能够与聚类的几乎不含色素的食用油(包括: 葵花籽油、花生油、玉米油、大豆油、调和油)完全区分。同时, 为了评价并验证该模型的可靠性和有效性, 对其进行了 200 次随机置换检验, 结果如图 4B 所示。从图 4B 可以看出, $R^2=(0.0, -0.0682)$, $Q^2=(0.0, -0.24)$, 其中 R^2 代表 Y 变量的可解释性, Q^2 代表模型的可预测性。除此之外, 原始模型(最右边)中的 R^2 和 Q^2 高于置换模型(左边)中的 R^2 和 Q^2 , 并且置换后的 Q^2 与垂直轴相交于 0 点以下, 表明了该 PLS-DA 模型的有效性, 同时也表明本研究所建立的 PLS-DA 模型具有良好的拟合和预测能力。

在波长为 450 和 670 nm 处的吸光度的大小与食用油中总类胡萝卜素和总叶绿素含量有关, 并且 A_{450}/A_{670} 的大小反映出不同食用油中色素的差异。在建立的 PLS-DA 模型中, 变量投影重要性(variable important for projection,

VIP)值大于 1.0 说明是重要变量; VIP 值小于 0.5 说明是不重要变量, VIP 值在 0.5~1.0 之间说明该变量具有一定重要程度。因此 A_{450}/A_{670} 是区分橄榄油和其他食用油的重要变量, 同时变量 A_{450} 和 A_{670} 在区分橄榄油与其他食用油方面也发挥着重要作用(图 5)。此外, 利用所建立的 PLS-DA 模型对测试集中的食用油样品(见表 1)进行了种类预测, 结果表明所有食用油种类都被正确归类, 该模型能够很好地实现对橄榄油与其他食用油的区分。

3 结论

本研究基于紫外可见吸收光谱技术对不同食用油进行了快速测定和分析并结合 PCA 和 PLS-DA 建立了橄榄油和其他食用油的区分方法。研究结果表明, 基于 220~800 nm 波长范围内的各食用油紫外可见吸收光谱可以使含有色素的食用油和几乎不含色素的食用油进行区分, 但是不能够实现含有色素的食用油种类之间的区分。因此, 本研究利用不同食用油在波长为 450 和 670 nm 处光度测量值 A_{450} 和 A_{670} 以及其比值 A_{450}/A_{670} 与 PCA 和 PLS-DA 分析结合, 建立了橄榄油与其他食用油的分类模型。该模型实

现了对特级初榨橄榄油、混合橄榄油、菜籽油和其他不含色素食用油的准确区分。同时,验证结果表明, A_{450} 、 A_{670} 和 A_{450}/A_{670} 可以作为橄榄油与其他食用油的标记。综

上所述,本研究为快速区分橄榄油和其他食用油提供了一种有效方法,同时为特级初榨橄榄油与混合橄榄油的区分提供了科学依据。

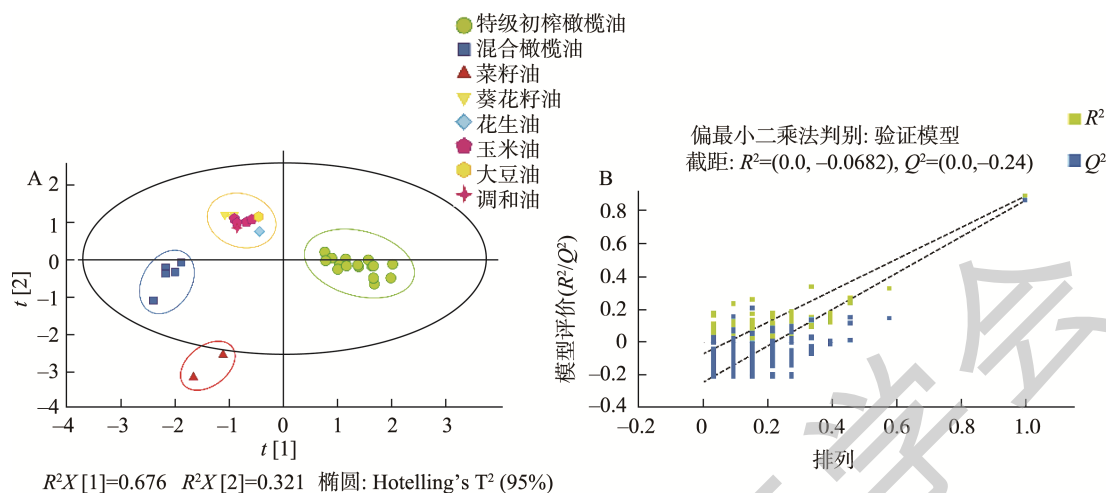


图 4 PLS-DA 分析模型(A)和预测结果(B)
Fig.4 PLS-DA analysis model (A) and prediction results (B)

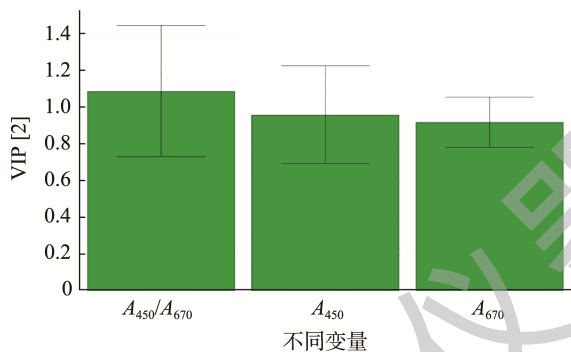


图 5 每个变量在置信区间为 95% 的 VIP 预测图
Fig.5 Plots of VIP predictions for each variable at a confidence interval of 95%

参考文献

- [1] 胡伟楠, 薛雨婷, 王小磊, 等. 食用油的存储研究进展[J]. 当代化工研究, 2022, 13: 16-18.
HU WN, XUE YT, WANG XL, *et al.* Research progress in edible oil storage [J]. Mod Chem Res, 2022, 13: 16-18.
- [2] 陈静茹, 赵瑾凯, 王晨, 等. 食用油营养研究进展与健康声称管理现状[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 1-9.
CHEN JR, ZHAO JK, WANG C, *et al.* Research progress of edible oil nutrition and management statue of their health claims [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(12): 1-9.
- [3] 张根旺. 油脂的营养与健康[J]. 中国油脂, 2008, 33(5): 4-7.
ZHANG GW. Nutrition and health of fats and oils [J]. China Oils Fats, 2008, 33(5): 4-7.
- [4] CRESPO MC, TOMÉ-CARNEIRO J, DÁVALOS A, *et al.* Pharma-
- nutritional properties of olive oil phenols. transfer of new findings to human nutrition [J]. Foods, 2018, 7(6): 90.
- [5] COVAS MI, FITÓ M, TORRE R. Minor bioactive olive oil components and health: Key data for their role in providing health benefits in humans [J]. Olive Olive Oil Bioact Constit, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-041-2.50008-2>
- [6] UNCU O, OZEN B. Importance of some minor compounds in olive oil authenticity and quality [J]. Trends Food Sci Technol, 2020, 100: 164-176.
- [7] 王艳, 方恩华. 特级初榨橄榄油基本质量指标及要求[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(6): 1995-2002.
WANG Y, FANG ENH. Basic quality indicators and requirements of extra virgin olive oil [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(6): 1995-2002.
- [8] 薛雅琳, 张蕊. 《橄榄油, 油橄榄果渣油》国家标准解读[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(6): 1-7.
XUE YL, ZHANG R. Interpretation of national standard of olive oil and olive-pomace oil [J]. Cere Oils, 2022, 35(6): 1-7.
- [9] STAVRAKAKIS G, PHILIPPIDIS A, VELEGRAKIS M. Application of optical spectroscopic techniques and multivariate statistical analysis as a method of determining the pp ercentage and type of adulteration of extra virgin olive oil [J]. Food Anal Method, 2022, 15: 285-293.
- [10] LAZZERINI C, CIFELLI M, DOMENICI V. Pigments in extra-virgin olive oil: Authenticity and quality [J]. Prod Olive Tree, 2016. DOI: 10.5772/64736
- [11] 段卓, 郭浩昱, 刘也嘉, 等. 油菜籽中类胡萝卜素及其抗氧化研究进展 [J/OL]. 中国油脂: 1-8. [2023-02-06]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210565
DUAN Z, GUO HY, LIU YJ, *et al.* Research progress on carotenoids and their antioxidantproperties in rapeseed [J/OL]. China Oils Fats: 1-8. [2023-02-06]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210565

- [12] 李雪, 杨瑞楠, 原喆, 等. 油菜籽叶绿素含量近红外光谱快速检测[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(1): 126–129.
LI X, YANG RN, YUAN Z, *et al.* Rapid detection of chlorophyll content in rapeseed based on near infrared spectroscopy [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2019, 41(1): 126–129.
- [13] 高桂珍, 伍晓明, 陆光远, 等. 几种油料作物种子中类胡萝卜素含量的分析[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 312–315.
GAO GZ, WU XM, LU GY, *et al.* Analysis of carotenoids content in seeds from several oil crops [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2008, 30(3): 312–315.
- [14] UNCU O, OZEN B, TOKATLI F. Authentication of Turkish olive oils by using detailed pigment profile and spectroscopic techniques [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(5): 2153–2165.
- [15] GANDUL-ROJAS B, CEPERO MR, MINGUEZ-MOSQUERA MI. Use of chlorophyll and carotenoid pigment composition to determine authenticity of virgin olive oil [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2000, 77(8): 853–858.
- [16] CARRANCO N, FARRES-CEBRAN M, SAURINA J, *et al.* Authentication and quantitation of fraud in extra virgin olive oils based on HPLC-UV fingerprinting and multivariate calibration [J]. *Foods*, 2018, 7: 44.
- [17] MATEOS R, GARCIA-MESA JA. Rapid and quantitative extraction method for the determination of chlorophylls and carotenoids in olive oil by high-performance liquid chromatography [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2006, 385: 1247–1254.
- [18] LAZZERINI C, CIFELLI M, DOMENICI V. Pigments in extra virgin olive oils produced in different mediterranean countries in 2014: Near UV-vis spectroscopy versus HPLC-DAD [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 84: 586–594.
- [19] ARRIZABALAGA-LARRANAGA A, RODRIGUEZ P, MEDINA M, *et al.* Simultaneous analysis of natural pigments and E-141i in olive oils by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2019, 441(21): 5577–5591.
- [20] GANDUL-ROJAS B, GALLARDO-GUERRERO L, ROCA M, *et al.* Chromatographic methodologies: Compounds for olive oil color issues [Z].
- [21] MOYANO MJ, MELENDEZ-MARTINEZ AJ, ALBA J, *et al.* A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes (I): CIEXYZ non-uniform colour space [J]. *Food Res Int*, 2008, 41: 505–512.
- [22] REBOREDO-RODRIGUEZ P, GONZALEZ-BARREIRO C, CANCHO-GRANDE B, *et al.* Characterization of virgin olive oils produced with autochthonous Galician varieties [J]. *Food Chem*, 2016, 212: 162–171.
- [23] BORELLO E, RONCUCCI D, DOMENICI V. Study of the evolution of pigments from freshly pressed to ‘on-the-shelf’ extra-virgin olive oils by means of near-UV visible spectroscopy [J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1891.
- [24] 王泓鹏, 万雄. 基于植物油可吸吸收光谱的相关系数鉴别特级初榨橄榄油[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(9): 2814–2819.
WANG HP, WAN X. Identification of extra virgin olive oil based on the correlation coefficient of visible absorption spectra of vegetable oils [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2018, 38(9): 2814–2819.
- [25] DOMENICI V, ANCORA D, CIFELLI M, *et al.* Extraction of pigment information from near-UV vis absorption spectra of extra virgin olive oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(38): 9317–9325.
- [26] CAYUELA JA, YOUSFI K, MARTINEZ MC, *et al.* Rapid determination of olive oil chlorophylls and carotenoids by using visible spectroscopy [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2014, 91: 1677–1684.
- [27] REGINA AS, MIGUEL LM, CANCELLA JC, *et al.* Intelligent modelling to monitor the evolution of quality of extra virgin olive oil in simulated distribution conditions [J]. *Biosyst Eng*, 2018, 172: 49–56.
- [28] KRUZLCOVA D, MOCÁK J, KATSOYANNOS E, *et al.* Classification and characterization of olive oils by UV-Vis absorption spectrometry and sensorial analysis [J]. *J Food Nutr Res*, 2008, 47(4): 181–188.
- [29] AROCA-SANTOS R, CANCELLA JC, PEREZ-PEREZ A, *et al.* Quantifying binary and ternary mixtures of monovarietal extra virgin olive oils with UV-vis absorption and chemometrics [J]. *Sens Actuators B Chem*, 2016, 234: 115–121.
- [30] LAZZERINI P, DOMENICI V. Pigments in extra-virgin olive oils produced in Tuscany (Italy) in different years [J]. *Foods*, 2017, 6: 25.
- [31] BORELLO E, DOMENICI V. Determination of pigments in virgin and extra-virgin olive oils: A comparison between two near UV-vis spectroscopic techniques [J]. *Foods*, 2019, 8: 18.
- [32] FERREIRO-GONZALEZ M, BARBERO GF, ALVAREZ JA, *et al.* Authentication of virgin olive oil by a novel curve resolution approach combined with visible spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2017, 220: 331–336.
- [33] ROODAKI MSM, SAHARI MA, TARZI BG, *et al.* Effect of refining and thermal processes on olive oil properties [J]. *J Agric Sci Technol*, 2016, 18(3): 629–641.
- [34] 李辰, 梁添旺, 杨伟杰, 等. 红外和紫外可见分光光谱法初步鉴别餐饮废油[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(5): 1371–1376.
LI C, LIANG TW, YANG WJ, *et al.* Preliminary identification of waste cooking oil by the infrared spectrum and ultraviolet-visible spectrum [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(5): 1371–1376.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



卢聪慧, 硕士研究生, 主要研究方向为分离分析科学。

E-mail: luconghui@licp.cas.cn



黄新异, 博士, 研究员, 主要研究方向为天然产物多组分复杂体系分离、分析新方法和新技术。

E-mail: huangxy@licp.cas.cn