

## 基于植物油三维荧光光谱的茶油鉴定模型

卢先勇<sup>1</sup>, 何文绚<sup>2, 3\*</sup>, 陈昊聪<sup>2</sup>, 黄睿<sup>2</sup>, 张燕杰<sup>2</sup>

1. 福建省测试技术研究所, 福建 福州 350003
2. 闽江学院材料与工程系, 福建 福州 350108
3. 福建省中国漆新型材料工程研究中心(闽江学院), 福建 福州 350108

**摘要** 茶油的脂肪酸组成与被誉“黄金液体”的橄榄油相似, 有着“东方橄榄油”的美称, 一些不法商家在高价油中掺入低价油、地沟油等来谋取暴利, 严重侵犯了消费者的权益。建立快速、高效的茶油鉴定方法对于防止茶油掺伪、维护消费者权益具有重要意义。首先分析了不同品牌、加工工艺的茶油、大豆油、玉米油等共 54 个样本的三维荧光光谱等高线图, 分析结果表明: 不同加工工艺获取的茶油, 它们的三维荧光光谱差异较大, 而茶油与大豆油及玉米油的三维荧光光谱则差异较小, 因此仅通过观察样本的三维荧光光谱很难进行茶油鉴定。通过编写小程序, 并在 9.4 版 SAS 软件平台上运行该程序, 将样本三维荧光光谱的二维函数  $z=f(\text{激发}, \text{发射})$  表达, 转换成一维函数  $z=f(\text{激发-发射})$  表达, 在此基础上, 获取训练集样本三维荧光光谱数据矩阵, 再在 simca 15.0.2 软件平台上, 采用正交偏最小二乘判别分析 (OPSL-DA), 基于训练集样本数据, 构建茶油鉴定模型。代表该模型拟合能力的参数  $R^2=0.84$ ; 代表模型预测能力的参数  $Q^2=0.72$ , 变量数=2, 上述参数表明所构建的模型是一个质量好的模型。设计具有良好代表性的由 7 个不同品牌茶油, 18 个掺伪茶油, 2 个盲样构成的检验集, 其中掺伪茶油的掺杂物是大豆油或玉米油或棕榈油或棉籽油或低价混合油, 掺杂物添加水平分别是 4%, 10% 和 16%。上述构建的茶油鉴定模型, 对检验集 27 个样本的预测结果全部正确, 能够鉴别添加量仅为 4%, 且掺杂物三维荧光光谱与茶油三维荧光光谱非常相似的 (如玉米油、大豆油、混合油) 掺伪茶油。因此该模型可以快速、有效地进行茶油鉴定。该研究为应用三维荧光光谱进行快速、有效的植物油鉴定, 提供了一种新的途径。

**关键词** 茶油; 三维荧光光谱; 正交偏最小二乘判别分析; 鉴定

**中图分类号:** O657.39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)12-3854-06

## 引言

高价植物油有橄榄油、茶油等, 低价植物油如大豆油、玉米油、棕榈油、棉籽油等。茶油的脂肪酸组成与被誉“黄金液体”的橄榄油相似, 有着“东方橄榄油”的美称<sup>[1]</sup>, 是联合国粮农组织推荐的优质食用油之一, 在中国和亚洲一些国家越来越受欢迎。一些不法商家在高价油中掺入低价油、地沟油等来谋取暴利, 严重侵犯了消费者的权益, 也危害了食用者的安全。建立高效的茶油鉴定方法对于防止茶油掺伪、维护消费者权益具有重要意义。植物油鉴定主要基于对特征成分如脂肪酸构成、甾醇、生育酚检测<sup>[2-4]</sup>进行判定。主要的检测方法有荧光光谱、红外光谱、拉曼光谱、色谱、核磁共振等<sup>[5]</sup>。近年来也发展了化学计量学方法与上述检测方法结合的植物油鉴定技术。荧光光谱灵敏度高, 选择性强。植物油的主要荧光物质是不饱和脂肪酸、维生素 E 和色素<sup>[6]</sup>。方晓明等<sup>[7]</sup>利用同步荧光光谱仪在 250~720 nm 的激发波长下, 采集分析了多种掺杂特级初榨橄榄油的同步荧光光谱图, 研究结果显示: 依据同步荧光光谱能将大部分掺杂特级初榨橄榄油与橄榄油区分, 但由于大豆油与特级初榨橄榄油的同步光谱基本相同, 该法无法鉴别掺入大豆油的掺假橄榄油。三维荧光光谱描述了荧光强度同时随激发波长和发射波长变化的关系, 因此能完整地描述物质的荧光特征。方惠敏和黄秀丽等分别对多种植物油的同步荧光光谱和三维荧光光谱进行了分析研究, 研究结果表明: 三维图谱具有指纹识别能力, 比同步荧光光谱提供的信息更加直观, 但三维荧光光

收稿日期: 2019-08-25, 修订日期: 2019-12-13

基金项目: 福建省重点项目(2017Y4013), James and Susan He Foundation, 国家自然科学基金项目(21503105)资助

作者简介: 卢先勇, 1963 年生, 福建省测试技术研究所高级工程师 e-mail: wj87814664@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: 706828346@qq.com

谱除了与植物油品种有关外,还与植物油加工工艺、果实原料来源等因素有很大关系。多个研究表明:植物油脂中的荧光物质具有高度相似性,本研究团队研究了多品牌茶油、大豆油、玉米油以及掺伪茶油的三维荧光光谱,发现很难通过观察三维荧光光谱直观地区别茶油与其掺伪油。三维荧光光谱的指纹识别能力,对于植物油鉴定,有明显优势,一些学者已经应用荧光光谱结合化学计量学方法对植物油的分类及掺杂进行了研究<sup>[8]</sup>,其中平行因子分析法(PARAFAC)是目前最常用的三维荧光光谱数据分析方法<sup>[9]</sup>。考虑到掺假茶油与茶油的三维荧光光谱差异较小,PARAFAC 数据分析方法还有不足,限制了其进一步应用。瑞典 Umetrics 公司开发的一款多元变量统计分析软件 SIMCA,其最新版本 SIMCA15.0.2 中的 Orthogonal partial least squares discriminate analysis(OPSL-DA)非常适合于植物油类别鉴定。本研究利用自编小程序,将三维荧光的二维函数表达转换成一维函数表达,尝试用这种新的方法表达三维荧光光谱数据,在 SIMCA15.0.2 软件平台上,利用 OPSL-DA 构建特异性、敏感性符合实际应用要求的茶油鉴定模型,为基于植物油三维荧光光谱数据,构建植物油快速鉴定模型,提供了一种新的思路。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器、试剂、样本

F-4600 型荧光分光光度计,日本株式会社日立高新技术公司;石油醚 30~60 °C(分析纯),常熟市鸿盛精细化工有限公司。

(1)训练集样本:54 个训练集样本都购于大型超市,其中 14 个品牌茶油的 17 个样本(购自福建、江西、广西、浙江;制作工艺全部是压榨);10 个品牌玉米油的 19 个样品(购自黑龙江、广东、福建、甘肃、陕西、河南等六个省份;制作工艺全部是压榨;19 个玉米油样本中 14 个样本标注非转基因,5 个样本未标注非转基因);11 个品牌大豆油的 19 个样品(购自黑龙江、山东、福建、吉林、陕西、河南等六个省份;9 个压榨,10 个浸出;10 个样本标注转基因,9 个样本标注非转基因)。以上这些植物油样本,经气相色谱(GC/T 17377—2008)验证,其脂肪酸组成都符合相应植物油的中国国家标准。训练集样本概况见表 1。

表 1 训练集样本概况

Table 1 Training set sample overview

样本类别	样本个数	品牌个数	购买省份个数	压榨个数	浸提个数	转基因个数	非转基因个数
大豆油	19	11	6	9	10	10	9
玉米油	19	10	6	19	0	—	14
茶油	17	14	4	17	0	0	17

(2)检验集样本:27 个检验集样本包括 7 个购于大型超市且与训练集样本非同品牌同批次的茶油样本;18 个掺伪

茶油样本,它们是以茶油为主体油,在实验室中分别掺入大豆油、玉米油、棕榈油、棉籽油、混合油 1(由大豆油、棕榈油、棉籽油、玉米油按 1:1:1:1 体积比混合)和混合油 2(由大豆油:玉米油:花生油按 1:1:1 体积比混合),配制成掺伪浓度分别为 4%,10%和 16%(体积比)的掺伪茶油;2 个购于乡村小店的盲样(Camellia-rural-1 和 Camellia-rural-2),这两个盲样经气相色谱鉴定,它们的脂肪酸构成不符合茶油设定值,是假茶油。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 植物油样本荧光光谱采集

10 mm 石英样品池用石油醚清洗干净,加入约 1 mL 植物油样。荧光光谱采集实验参数:激发波长范围 200~580 nm,间隔 10 nm;发射波长范围 250~700 nm,间隔 10 nm;扫描速度 2 000 nm·min<sup>-1</sup>;激发狭缝 10 nm;发射狭缝 10 nm;光电倍增管电压 400 V;响应时间 0.5 s。

#### 1.2.2 荧光光谱数据获取

(1)样本荧光光谱数据设定:激发位置数=(580-200)÷10=38(个),构成矩阵横坐标;发射位置数=(700-250)÷10=45(个),构成矩阵纵坐标。由此条件获取样本荧光光谱矩阵二元数据集,共有对应激发-发射位置变量值=38×45=1 710 个。

(2)通过 SAS 9.4 版软件编程方法,将样本荧光光谱矩阵数据集转化为 1 710 个变量值的一元数据集。主要程序模块:

①按样本矩阵横坐标的激发位置数分解数据集,本案例生产 38 个分解数据集。

②将样本上述分解数据集,追加汇总,再转换为一元关系数据库。

#### 1.2.3 茶油鉴定模型构建及评价

将各集样本数据导入 Umetrics SIMCA15.0.2 软件。采用 OPLS-DA 算法,基于训练集样本构建茶油鉴定模型。根据训练集样本茶油类别得分值,设定茶油得分值范围。然后依据该模型预测检验集样本分值,基于检验集样本的预测结果,获取模型特异性及敏感性数据。

## 2 结果与讨论

### 2.1 各集样品设计

各种植物油主要成分相似,大豆油和玉米油的价格相对较低,是最可能的掺伪茶油掺杂物。因此,训练集样本由茶油、大豆油、玉米油三类植物油构成。考虑到植物油的成分除了与其种类有关,还与植物的种植地和植物油的加工工艺有关。多个品牌大豆油样本、购买地点涵盖我国东南、东北、西北、华中,加工工艺包含压榨与浸提这两种大豆油主要加工工艺,还包含 10 个转基因与 9 个非转基因样本;多个品牌玉米油样本、购买地点涵盖我国东南、东北、西北、华中,19 个加工工艺是压榨,14 个标注非转基因,5 个未标注;市面上茶油都是采用压榨工艺得到的,所以茶油只有压榨工艺的样本,一般南方较多使用茶油,北方很少使用,多个品牌茶油购买地点都在南方。经过以上设计的样本能较好

地代表大豆、玉米、茶油。模型特异性与敏感性数据来源于检验集的测试结果。检验集样本与实际越符合，相关的数据越有代表性。掺伪茶油通常是在茶油中掺入低价油或它们的混合油，分别选取大豆油、玉米油、棕榈油、棉籽油以及这四种低价油按等体积比混合得到混合油 1，花生油是我国使用量最大的植物油之一，厨余油中花生油可能性大，因此选取大豆油、玉米油、花生油按等体积比混合得到混合油 2，以上油添加到茶油中，配制成三个(4%，10%和 16%)掺伪水平共 18 份掺伪茶油样本。此外，在掺伪相对严重的乡村小店购买 2 个茶油命名为 Camellia-rural-1 和 Camellia-rural-2。再加上 7 个不同品牌的茶油(保证其与训练集茶油样本非同品牌同批次)。这样，检验集中共有 27 个样本，如此设计的检验集样本能很好地代表目前植物油市场中茶油及掺伪茶

油。

### 2.2 植物油三维荧光光谱图分析

图 1 为训练集中某个茶油、大豆油、玉米油样本的荧光等高线图，由图 1 可知茶油、大豆油、玉米油样本谱图相似，三者比较，茶油没有明显的特征。图 2 为茶油、添加 6% 低价混合油 1 的掺伪茶油、添加 12% 玉米油的掺伪茶油的三维荧光光谱图，由图 2 可知添加 12% 玉米油的掺伪茶油与茶油的谱图几乎相同，添加 6% 低价混合油 1 的掺伪茶油与茶油谱图有差异。图 3 为三个品牌茶油的荧光等高线图，其中福建建郎乡茶油(a)与广西巴马茶油(c)颜色较浅是经过精炼的茶油，福建丰达牌茶油(b)颜色深是未精炼的，其谱图在色素位置有较强荧光峰，图 3 提示不同品牌茶油的荧光等高线图有差异，由于加工工艺不同或植物产地不同导致不饱和脂肪

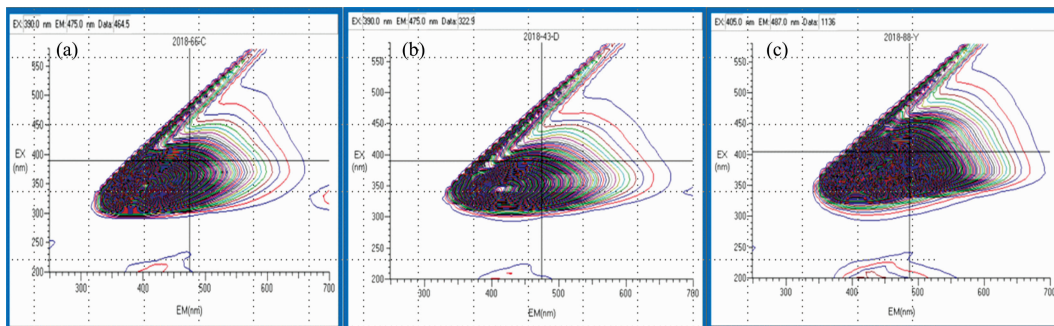


图 1 茶油(c)、大豆油(b)、玉米油(a)荧光等高线

Fig. 1 Camellia oil (c), soybean oil (b), corn oil (a) fluorescence contour

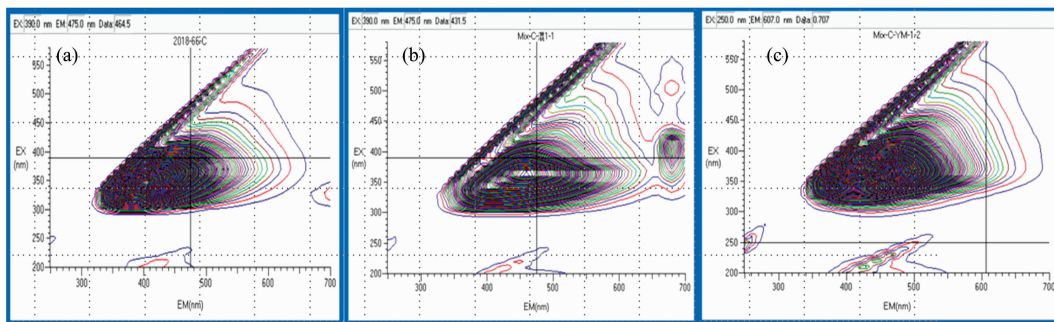


图 2 茶油(c)、掺伪茶油(b, 添加混合油 1 添加量 6%)、掺伪茶油(a, 添加玉米油添加量 12%)荧光等高线

Fig. 2 Camellia oil (c), adulterated tea oil (b, added 6% mixed oil 1), adulterated tea oil (a, added 12% corn oil) fluorescence contour

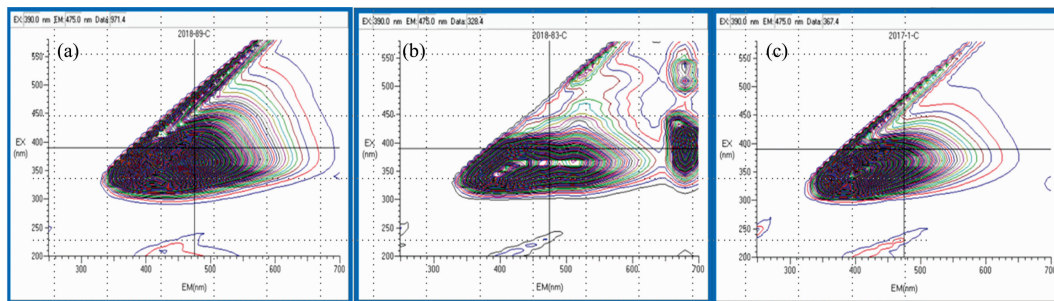


图 3 沈郎乡茶油(c)、丰达茶油(b)、巴马茶油(a)荧光等高线

Fig. 3 Fluorescence contours of Shenlang Xiang Camellia oil (c), Fengda Camellia oil (b), Bama Camellia oil (a)

酸、生育酚、色素等类别荧光物质的构成不同,使得茶油样本之间三维荧光光谱有差异。茶油、玉米油、大豆油最强荧光峰位置见表 2。表 2 的 17 个茶油样本中有 3 个样本含有两个较强荧光峰,这 3 个样本都是颜色较深的未精炼茶油,其他 14 个样本是经过精炼的茶油只有一个较强峰。总结图 1、图 2、图 3 以及表 2 得出:①茶油与玉米油尤其大豆油的谱图差异小;②添加 12%玉米油的掺伪茶油其谱图与茶油基本相同;③不同加工工艺的茶油其谱图有较大差异。本文收集了大量样本,样本涵盖不同加工工艺、不同植物种植地,与已发表的文献相比,较全面地展示了三类植物油的三维荧光光谱。通过以上分析结果,可以得出仅通过观察样本的三维荧光光谱很难进行茶油鉴定。

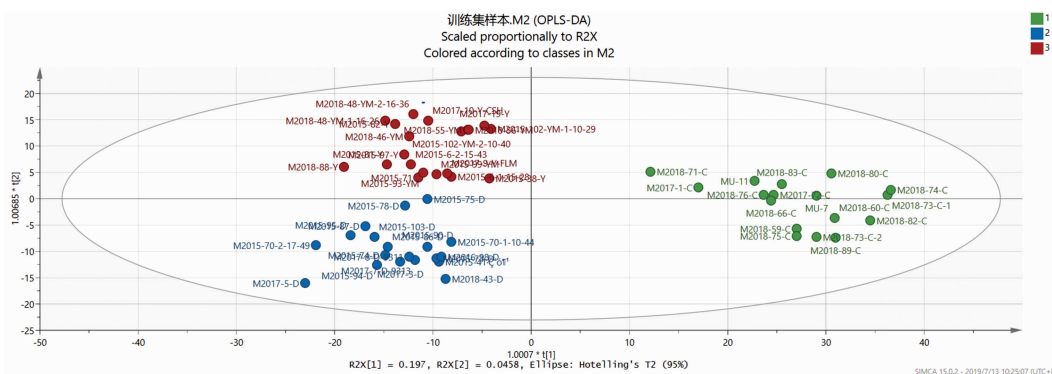
**表 2 茶油、玉米油、大豆油最强荧光峰位置及其强度值**  
**Table 2 The strongest fluorescence peak position and intensity range of camellia oil, corn oil and soybean oil**

植物油	样本个数	最强荧光峰位置范围/nm		荧光强度范围
		激发波长	发射波长	
茶油	17	342~367	398~463	500~6 000
玉米油	19	347~375	413~442	1 200~4 000
大豆油	19	339~386	396~463	500~1 500

**2.3 基于三维荧光光谱数据的茶油鉴定模型构建及评价**

为了更好地应用三维荧光光谱鉴定茶油,引入化学计量学方法。三维荧光光谱的数据是以 EEM 矩阵表达,表征了特定激发波长、发射波长位置处的荧光强度。每个样本用二元函数  $z=f(EI, EM)$  表达。本研究探究用一元函数  $z=f(EI-EM)$  来表达样本三维荧光光谱,在此基础上在 SIMCA15.0.2 软件平台上应用 OPLS-DA 方法构建茶油鉴定模型。为此,编写了小程序,在 SAS 软件平台运行该小程序将二元函数  $z=f(EI, EM)$  转换成一元函数  $z=f(EI-EM)$ ,每个样本用一维数据表示。这样可用矩阵数据来表达各样本,矩阵中第一行是 EX200-EM250 EX200-EM260 EX200-EM270 ... EX200-EM700 EX210-EM250 EX210-EM260 EX210-EM270 ... EX210-EM700 第一行的最后是 EX580-EM250 EX210-EM250 EX580-EM260 EX580

-EM270 ... EX580-EM700 共 1 710 个(EX \* \* \* -EM \* \* \*)位置值,第一列是样本号,其他单元格数值是各样本在对应位置的荧光强度值。将训练集样本矩阵数据导入 SIMCA15.0.2 软件中,采用 OPLS-DA 构建茶油鉴定模型。图 4 为 OPLS-DA 模型的二维得分图,图 4 显示茶油区域与大豆油、玉米油区域距离较远,茶油可以很好地与玉米油、大豆油区分,玉米油区域与大豆油区域很接近。模型关键参数如图 5,由图 5 可知代表拟合能力的参数  $R^2=0.84$ ;代表预测能力的参数  $Q^2=0.72$ ,变量数=2,提示该模型是一个优秀的模型。训练集样本中茶油在其类别的得分值都在 0.70~1.15 范围,因此将该得分值范围定为茶油的设定值。用该模型对检验集样本进行预测,预测结果见表 3。表 3 显示模型对检验集样本的 7 个茶油得分值都在 0.70~1.15 范围,判定为茶油,判定结果全部正确;掺伪茶油包括掺伪水平只有 4%的混合油 1、混合油 2 的掺伪茶油,它们的分值都不在 0.70~1.15 范围,判定为非茶油或掺假茶油,判定结果也全部正确;两个购买于乡村小店的茶油分值不在 0.70~1.15 范围,判定为非茶油或掺假茶油,经过气相色谱分析,这两个样本的油酸及亚油酸浓度都不符合茶油国家标准(GB/T 11765-2018 油茶籽油)规定的设定值,是伪茶油,证明模型判定结果是正确的。模型的特异性、敏感性及其水平数据见表 4。模型的主要参数值及检验集样本的预测结果都表明,用本文首次提出的一维函数表达的三维荧光光谱结合正交偏最小二乘判别分析,可以构建特异性、敏感性符合实际要求的茶油鉴定模型。目前最通用的三维荧光光谱数据降维、提取方法是平行因子法,其处理数据时收敛非常慢,完成三维荧光光谱的数据分析需要太长的程序;此外需要精确的估计组分数,否则将导致模型产生很大偏差<sup>[10-11]</sup>,由于本文研究的茶油鉴定模型对检验集 27 个样本的预测全部正确,且对掺入与茶油脂肪酸构成极为相似的玉米油、大豆油以及各种混合油,掺入量 4%即可检出;对于两个盲样的预测结果也是正确的,说明用一元函数  $z=f(EI-EM)$  替代目前通用的二元函数  $z=f(EI, EM)$  来表征三维荧光数据,既简单、方便又可以很好地体现茶油的类别特征,结合正交偏最小二乘判别分析,可以构建符合市场要求的茶油鉴定模型。



**图 4 训练集样本二维得分图**  
 红色玉米油;蓝色大豆油;绿色茶油  
**Fig. 4 Two-dimensional score map of training set samples**  
 red corn oil; blue soybean oil; green tea oil

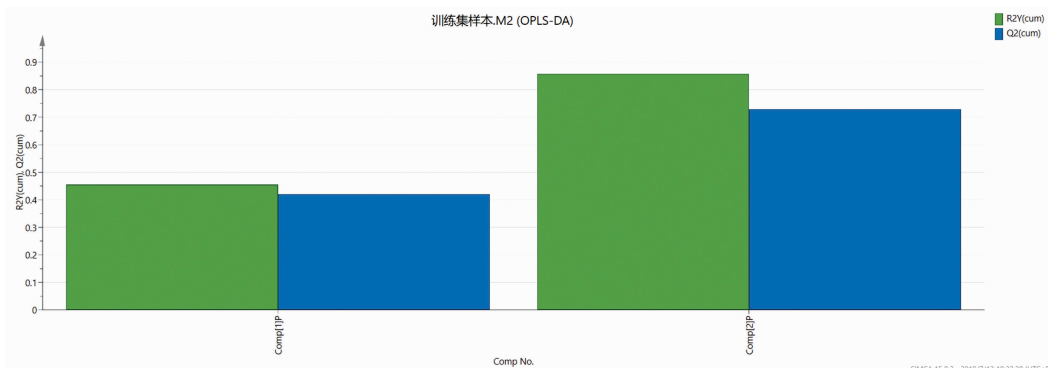
图 5 模型主要参数值 ( $R^2$ 、 $Q^2$ 、组分数)Fig. 5 Model main parameter values ( $R^2$ ,  $Q^2$ , Comp. No.)

表 3 检验集样本茶油类别得分值  
Table 3 Camellia oil category score values of the samples in test set

样本编号 <sup>1</sup>	得分值	判定结果 <sup>2</sup>	样本编号 <sup>1</sup>	得分值	判定结果 <sup>2</sup>
Mix-C-D-I	0.32	T	Mix-C-混 1-III	0.38	T
Mix-C-D-II	0.45	T	Mix-C-混 2-I	0.39	T
Mix-C-D-III	0.25	T	Mix-C-混 2-II	0.35	T
Mix-C-MZ-I	0.45	T	Mix-C-混 2-III	0.41	T
Mix-C-MZ-II	0.44	T	Camellia-rural-1	0.45	T
Mix-C-MZ-III	0.40	T	Camellia-rural-2	0.63	T
Mix-C-YM-I	0.29	T	M2019-9-C	1.14	T
Mix-C-YM-II	0.25	T	M2019-10-C	1.05	T
Mix-C-YM-III	0.14	T	M2017-72-C	0.72	T
Mix-C-Z-I	0.37	T	M2018-59-C	1.13	T
Mix-C-Z-II	0.16	T	M2018-76-C	0.80	T
Mix-C-Z-III	0.05	T	M2018-80-C	0.91	T
Mix-C-混-1-I	0.37	T	M2018-8-C	0.86	T
Mix-C-混 1-II	0.38	T			

注: 1: 样本编号仔 C 代表茶油、D 大豆油、MZ 棉籽油、YM 玉米油、Z 棕榈油; 样品名中的 I, II, III 分别表示掺伪浓度 4%, 10%, 16%; 2: T 表示判定正确

Note: 1: In the sample No., C stands for camellia oil, D for soybean oil, MZ for cottonseed oil, YM for corn oil, Z for palm oil. The I, II, and III in the sample No. represent the adulterated concentration of 4%, 10%, and 16% respectively; 2: T = ture

表 4 OPLS-DA 茶油鉴定模型特异性、敏感性及其水平  
Table 4 Specificity, sensitivity and its level of camellia oil identification model (OPLS-DA)

样本概况	敏感性	特异性	掺伪浓度水平/%
茶油	—	100% (7/7)	—
掺入大豆油的茶油	100% (3/3)	—	4
掺入棉籽油的茶油	100% (3/3)	—	4
掺入玉米油的茶油	100% (3/3)	—	4
掺入棕榈油的茶油	100% (3/3)	—	4
掺入混合油 1 的茶油	100% (3/3)	—	4
掺入混合油 2 的茶油	100% (3/3)	—	4
乡村小店购买的茶油	100% (2/2)	—	—

### 3 结 论

通过编写小程序将样本三维荧光光谱的二维函数表达转换成一维函数表达, 形成训练集、检验集样本数据矩阵, 再结合正交偏最小二乘判别分析, 构建基于植物油三维荧光光谱数据的茶油鉴定模型, 该模型对 27 个检验集样本的鉴定结果全部正确, 能够鉴别添加量仅为 4%, 且掺杂物主要成分与茶油非常相似的 (如玉米油、大豆油、混合油) 掺伪茶油, 为应用植物油三维荧光光谱进行快速植物油鉴定, 提供了一种新的思路。与现有的平行因子数据处理方法相比, 本文建立的处理方法, 过程简单、模型预测效果好, 但在解释各成分贡献方面不如平行因子法。本法适用于筛查掺伪植物油, 不适用于分析掺伪量及其掺伪成分。今后将通过分析更多的植物油种类, 探究有效数据区域, 进一步扩大应用领域。

### References

- [1] Chen H, Geng D C, Chen T, et al. CyTA - Journal of Food, 2018, 16(1): 747.
- [2] Tu A Q, Du Z X, Qu S P. Anal. Methods-UK, 2016, 8(21): 4226.
- [3] Bakre S M, Gadmale D K, Toche R B, et al. J. Food Sci. Technol., 2015, 52(5): 3093.
- [4] JIN Jun, ZHANG Jun-hui, JIN Qing-zhe, et al(金俊, 张俊辉, 金青哲, 等). Journal of the Chinese Cereals and Oils Association (中国粮油学报), 2013, (6): 118.

- [ 5 ] Hong E, Lee S Y, Jeong J Y, et al. *J. Sci. Food Agric.*, 2017, 97(12): 3877.
- [ 6 ] HUANG Xiu-li, HUANG Fei, CHEN Jia-cong, et al(黄秀丽, 黄 飞, 陈嘉聪, 等). *Science and Technology of Food Industry(食品工业科技)*, 2014, 35(14): 64.
- [ 7 ] FANG Xiao-ming, ZHANG Xin, FENG Chun-ye, et al(方晓明, 张 欣, 冯春野, 等). *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association(中国粮油学报)*, 2015, 30(9): 112.
- [ 8 ] Xu Y, Li H H, Chen Q S, et al. *Int. J. Food Prop.*, 2015, 18: 2085.
- [ 9 ] XU Jing, WANG Yu-tian, WU Xi-jun, et al(徐 婧, 王玉田, 吴希军, 等). *Chinese Journal of Luminescence(发光学报)*, 2017, 38(9): 1240.

## Identification Model of Camellia Oil Based on 3D Fluorescence Spectra of Vegetable Oils

LU Xian-yong<sup>1</sup>, HE Wen-xuan<sup>2, 3\*</sup>, CHEN Hao-cong<sup>2</sup>, HUANG Rui<sup>2</sup>, ZHANG Yan-jie<sup>2</sup>

1. Fujian Institute of Testing and Technology, Fuzhou 350003, China

2. Department of Materials and Engineering, Minjiang University, Fuzhou 350108, China

3. Engineering and Research Center of New Chinese Lacquer Materials, Minjiang University, Fuzhou 350108, China

**Abstract** The fatty acid composition of camellia oil is similar to olive oil which is known as the “golden liquid”. The price of camellia oil is high. Some unscrupulous merchants add some cheap oils or waste oil in the high-priced oil to make huge profits, which seriously infringes on the rights and interests of consumers. To establish an efficient method for the identification of camellia oil is of great significance for preventing camellia oil from adulteration and safeguarding consumer rights. In this paper, three-dimensional fluorescence spectra of 54 samples including camellia oils, soybean oils and corn oils from different brands and processing techniques were analyzed. The analytical results show that the three-dimensional fluorescence spectra of camellia oils by different processing techniques are quite different; however, the difference between three-dimensional fluorescence spectra of camellia oils and soybean oils or camellia oils and corn oils is small. So, it is difficult to distinguish camellia oil from soybean oil or corn oil only by observing the three-dimensional fluorescence spectrum of camellia oil. A small program was written, and then the program was run on the 9.4 SAS software platform to transfer the two-dimensional function  $z=f(\text{excitation}, \text{emission})$  into a one-dimensional function  $z=f(\text{excitation-emission})$ . The samples data matrix of the training set based on the one-dimensional function of the three-dimensional fluorescence spectra of plant oils was obtained. Orthogonal partial least squares discriminate analysis (OPSL-DA) on Simca 15. 0.2 software platform was used to construct the model for identification of camellia oil based on the training set. The parameter  $R^2$  representing the fitting ability of the model is 0.84; the parameter  $Q^2$  representing the predictive ability is 0.72, and the number of variables is 2. So the model is excellent. On this basis, a well-represented testing set is designed. There are 7 different brands of camellia oil, 18 adulterated camellia oils and 2 blind samples at the test set. The adulterants are soybean oil or corn oil or palm oil or cottonseed oil or cheap mixed oils, and the added levels are 4%, 10% and 16% respectively. Using the constructed model for identification of camellia oil, the 27 samples in the test set are predicted. The predicted results are all correct. The model can identify the adulterated camellia oil in the level of 4% adulterant, whose main components are very similar to camellia oil such as corn oil or soybean oil or mixed oil. Therefore, the model can quickly and effectively carry out the identification of camellia oil. The research of this paper provides a new way to apply three-dimensional fluorescence spectroscopy for rapid and effective identification of vegetable oil.

**Keywords** Camellia oil; Three-dimensional fluorescence spectroscopy; Orthogonal partial least squares discriminate analysis (OPSL-DA); Identification

(Received Aug. 25, 2019; accepted Dec. 13, 2019)

\* Corresponding author