

红外光谱结合偏最小二乘法快速检测油茶籽油 脂肪酸组成的模型建立与评价

陈品杰¹, 吴雪辉^{1,2}

(1. 华南农业大学 食品学院, 广州 510642; 2. 广东省油茶工程技术研究中心, 广州 510642)

摘要:为建立快速检测油茶籽油中脂肪酸组成的方法,利用傅里叶红外光谱仪扫描 86 个油茶籽油样品,红外光谱数据分别通过 Savitzky - Golay 平滑(SG)、多元散射校正(MSC)、标准正态变换(SNV)、一阶导数(FD)和二阶导数(SD)等 5 种方法进行降噪处理,然后以气相色谱测定的脂肪酸组成作为标准值,采用全波长偏最小二乘法(PLS)、区间偏最小二乘法(iPLS)和联合区间偏最小二乘法(siPLS)分别构建油茶籽油中主要脂肪酸(油酸、棕榈酸、亚油酸)的定量回归模型。结果表明:油酸、棕榈酸、亚油酸的红外光谱数据预处理分别以 SG、SNV、SD 较好;siPLS 通过有效波段的选择可去掉更多的噪声,比 PLS 和 iPLS 建立的模型精确度高,油酸、棕榈酸、亚油酸的校正集和预测集的相关系数(R)分别为 0.947 9 和 0.853 9、0.900 8 和 0.910 1、0.979 3 和 0.950 5。红外光谱结合 siPLS 更适用于油茶籽油脂肪酸组成的快速测定。

关键词:油茶籽油;脂肪酸组成;红外光谱;数据预处理方法;偏最小二乘法

中图分类号:TS227; O657 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)12-0112-07

Establishment and evaluation of a model for rapid determination of fatty acid composition of oil - tea camellia seed oil by infrared spectroscopy combined with partial least squares

CHEN Pinjie¹, WU Xuehui^{1,2}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Guangdong Engineering Research Center for Oil - Tea Camellia, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to establish a method for rapid determination of fatty acid composition in oil - tea camellia seed oil, 86 oil - tea camellia seed oil samples were scanned by Fourier transform infrared spectrometer, and the infrared spectrum data were denoised by Savitzky - Golay (SG) smoothing, multiple scattering correction (MSC), standard normal transformation (SNV), first derivative (FD) and second derivative (SD), respectively. Then the quantitative regression model of main fatty acids (oleic acid, palmitic acid and linoleic acid) in oil - tea camellia seed oil was established by full - wavelength partial least square (PLS), interval partial least square (iPLS) and synergy interval partial least square (siPLS), respectively with fatty acid composition determined by gas chromatography as the standard value. The results showed that SG, SNV and SD were the best pretreatment methods for infrared spectral data of oleic acid, palmitic acid and linoleic acid, respectively, and siPLS could remove more noise through the selection of effective bands, which was more accurate than the models established by PLS and

收稿日期:2021-10-12;修回日期:2022-08-31

基金项目:广东省林业科技计划项目(2019-02);河源市科技计划(河科 2021007)

作者简介:陈品杰(2001),男,在读本科,研究方向为粮油食品加工(E-mail)835636165@qq.com。

通信作者:吴雪辉,教授,博士(E-mail)xuehu@scau.edu.cn。

iPLS. The correlation coefficients (R) of the correction set and prediction set of oleic acid, palmitic acid and linoleic acid were 0.947 9 and 0.853 9, 0.900 8 and 0.910 1, 0.979 3 and 0.950 5, respectively. Infrared spectroscopy combined with synergy interval partial least square

method is more feasible for the rapid determination of the fatty acid composition of oil – tea camellia seed oil.

Key words: oil – tea camellia seed oil; fatty acid composition; infrared spectrum; data preprocessing method; partial least square

油茶籽油是从山茶科植物油茶 (*Camellia oleifera* Abel.) 种子中提取的油脂,是我国特有的木本食用油,具有较高的营养价值。油茶籽油的脂肪酸组成与橄榄油极为相似,主要有油酸、亚油酸和棕榈酸等,其中油酸含量为 75% ~ 87%,亚油酸含量为 7.4% ~ 14%,棕榈酸含量为 6.9% ~ 14.5%^[1]。油茶籽油富含单不饱和脂肪酸油酸,有研究发现膳食中的单不饱和脂肪酸含量与冠心病的死亡率之间呈明显的负相关。此外,油茶籽油中还富含多种功能活性成分,如角鲨烯、植物甾醇、多酚、脂溶性维生素等^[1-2],对预防动脉硬化、降血压、降血脂、抗肝炎、防癌抗癌等有重要作用^[3-7]。

脂肪酸是油脂的特征指标,是油脂品质评价的指标之一。目前,油脂中的脂肪酸组成检测方法主要为气相色谱法,但该方法样品前处理过程烦琐,时间长,成本高,不能满足快速分析的需要^[8-9]。红外光谱分析技术是近年来迅速发展起来的无损检测技术,此方法样品可以不经预处理而直接进行分析,具有高效、快速、无污染的优点,被广泛应用于食品的品质检测与鉴定评价^[10-16]。红外光谱分析技术常与化学计量学方法结合使用,通过建立相关的数学模型,快速获得样品定量或定性检测结果。偏小二乘法主要研究多个自变量与因变量之间的相关关系,即在自变量空间进行线性变化的同时因变量也进行线性变化,然后再将两种变换建立一定量的关系,并使两组变量之间的协方差最大,这样各组分的贡献率最大,从而更能代表原始数据的信息。近年来,偏小二乘法在实际应用方面得到了快速发展。Kiefer 等^[12]采用傅里叶变换红外光谱与化学计量学数据分析相结合的方法,实现了纯百香果油和掺伪百香果油的区分;Zhou 等^[16]利用近红外光谱结合偏小二乘法建立了鲢鱼新鲜度的预测模型,模型的预测效果较好;高冰等^[17]采用偏小二乘判别分析(PLS – DA)方法构建了基于色谱和光谱数据融合区分不同植物油(葵花籽油、大豆油、玉米油和花生油)的模型;崔虎亮等^[18]分析了近红外光谱在油料种子脂肪酸检测中的应用现状;刘贤等^[19]应用傅里叶变换红外光谱结合 PLS – DA 法建立了陆生动物油脂中掺加反刍动物油脂的鉴别分析方法与

模型;刘燕德等^[20]利用可见/近红外光谱技术结合多种预处理方法,并利用偏小二乘法建立了水蜜桃糖度和硬度的预测模型,可预测水蜜桃的最佳贮藏期。

本文在研究红外光谱快速测定油茶籽油主要功能活性成分含量和有关指标的基础上^[21-22],进一步探究红外光谱快速测定油茶籽油的脂肪酸组成,通过傅里叶变换红外光谱仪对多个油茶籽油样品进行扫描,以油茶籽油的主要脂肪酸油酸、棕榈酸、亚油酸含量作为标准值,利用偏小二乘法建立油茶籽油中主要脂肪酸的定量回归预测模型,旨在寻找一种快速、有效、无损检测油茶籽油中脂肪酸组成的方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

86 个油茶籽油样本,采集于广东省多家油茶籽油生产企业,生产原料有普通油茶、高州油茶、广宁红花油茶等,油脂的提取方法有压榨法、浸出法、超临界 CO₂ 萃取法等。

Nicolet iS10 傅里叶变换红外光谱仪,赛默飞世尔科技有限公司;Agilent 7890B 气相色谱仪,安捷伦科技(中国)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 脂肪酸组成的气相色谱法测定

脂肪酸甲酯化的方法参照 GB 5009.168—2016 并稍作修改。称取 50 mg 油茶籽油样品于 20 mL 试管中,依次加入 1 mL 正己烷、1 mL 0.5 mol/L 氢氧化钾 – 甲醇溶液,振摇 1 min 后再加入 5 mL 水,继续振摇 1 min 左右,待溶液分层后取上清液用于气相色谱分析。

气相色谱条件:DB – 23 毛细管柱(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm);进样口温度 250 °C;进样量 1.0 μL;载气(N₂)流速 2 mL/min;燃气(H₂)流速 30 mL/min;分流比 1:10;检测器温度 250 °C;升温程序为起始温度 130 °C,以 10 °C/min 上升至 180 °C,保持 10 min,然后以 15 °C/min 上升至 215 °C,保持 5 min,最后以 5 °C/min 上升到 230 °C,保持 5 min。

1.2.2 油茶籽油红外光谱数据采集及预处理

光谱数据采集:参照何小三等^[23]的方法并稍作

修改。红外光谱数据采集范围为 $4\ 000 \sim 400\ \text{cm}^{-1}$ ，分辨率为 $4\ \text{cm}^{-1}$ ，扫描次数为 64 次，每个样品平行采集 3 次，以平均光谱数据作为样品光谱数据。

光谱数据预处理：分别采用 Savitzky - Golay 平滑 (SG)、多元散射校正 (MSC)、标准正态变换 (SNV)、一阶导数 (FD) 和二阶导数 (SD) 对原始光谱数据进行预处理，消除干扰因素，以提高模型的准确性。

1.2.3 模型的建立与评价

采用偏最小二乘法建模，包括全波长偏最小二乘法 (PLS)、区间偏最小二乘法 (iPLS) 和联合区间偏最小二乘法 (siPLS)，采用交叉验证法进行内部验证。以相关系数 (R) 和均方根差 (RMSE) 对模型进行评价。相关系数越大，均方根差越小，模型的预测精度越高，效果越好。

1.2.4 数据处理

采用 MATLAB 2016b、Unscrambler X10.1 和 Microsoft Excel 2016 等分析软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 油茶籽油的脂肪酸组成及样本分配

将 86 个油茶籽油样本随机划分为校正集和预测集，其中校正集样本 66 个，预测集样本 20 个。不同样本中 3 种主要脂肪酸油酸、亚油酸和棕榈酸的相对含量见表 1。由表 1 可见，86 个油茶籽油样品

的油酸、亚油酸和棕榈酸相对含量的范围分别为 $71.72\% \sim 83.42\%$ 、 $0.83\% \sim 13.20\%$ 和 $6.92\% \sim 11.33\%$ 。

表 1 不同油茶籽油样本主要脂肪酸的相对含量 %

脂肪酸	总体样本 (86)	校正集样本 (66)	预测集样本 (20)
油酸			
极值范围	71.72 ~ 83.42	71.72 ~ 83.42	75.49 ~ 81.58
均值	79.42	79.56	78.96
标准差	1.82	1.89	1.51
亚油酸			
极值范围	0.83 ~ 13.20	0.83 ~ 13.20	4.27 ~ 11.45
均值	7.88	7.73	8.47
标准差	1.96	1.99	1.72
棕榈酸			
极值范围	6.92 ~ 11.33	6.92 ~ 11.33	8.56 ~ 10.17
均值	9.16	9.17	9.15
标准差	0.67	0.70	0.51

2.2 油茶籽油中主要脂肪酸 PLS 模型的建立与预测

将校正集和预测集样本进行红外光谱扫描，并进行光谱数据预处理后，建立油茶籽油中主要脂肪酸的 PLS 模型。原始数据 (RAW) 以及经 5 种预处理光谱数据建模结果如表 2 所示。

表 2 不同预处理方法的油酸、棕榈酸、亚油酸 PLS 模型结果

脂肪酸	样本集	指标	RAW	SG	SNV	MSC	FD	SD
油酸	校正集	R_{cv}	0.752 4	0.867 2	0.764 6	0.736 6	0.713 0	0.704 5
		RMSECV	1.243 5	0.810 2	1.048 65	1.125 6	1.348 4	1.339 8
	预测集	R_p	0.761 8	0.771 1	0.565 6	0.701 1	0.741 2	0.688 2
		RMSEP	1.226 8	1.166 7	1.618 4	1.700 2	1.715 5	1.690 6
棕榈酸	校正集	R_{cv}	0.533 0	0.529 9	0.644 3	0.639 3	0.512 6	0.501 1
		RMSECV	0.593 4	0.595 0	0.536 6	0.537 6	0.643 0	0.654 2
	预测集	R_p	0.614 0	0.715 0	0.645 5	0.592 3	0.523 1	0.503 2
		RMSEP	0.573 9	0.370 8	0.512 6	0.612 1	0.598 1	0.651 2
亚油酸	校正集	R_{cv}	0.830 3	0.814 5	0.881 6	0.861 0	0.906 5	0.936 1
		RMSECV	1.108 4	1.153 9	0.938 5	1.010 8	0.839 5	0.699 5
	预测集	R_p	0.831 5	0.810 0	0.873 2	0.857 0	0.901 7	0.935 0
		RMSEP	1.112 4	1.358 1	0.965 4	1.042 8	0.840 1	0.623 7

注： R_{cv} 、 R_p 分别为校正集和预测集的相关系数；RMSECV、RMSEP 分别为校正集和预测集的均方根差

由表 2 可知，不同的预处理方法对 3 种脂肪酸的原始光谱数据处理的效果不同，在 5 种预处理方法中，油酸、棕榈酸、亚油酸分别以 SG、SNV 和 SD 预处理得到的模型，校正集的相关系数最大，均方根

差最小，效果最好。其他预处理方法处理后的红外光谱图，在消除基线漂移影响和颗粒散射的同时也消除了一部分有用的光谱信息。

为了验证模型的泛化能力，分别应用 SG - PLS、

SNV-PLS 和 SD-PLS 模型对油酸、棕榈酸和亚油酸校正集和预测集样本进行仿真预测分析,结果见图 1。

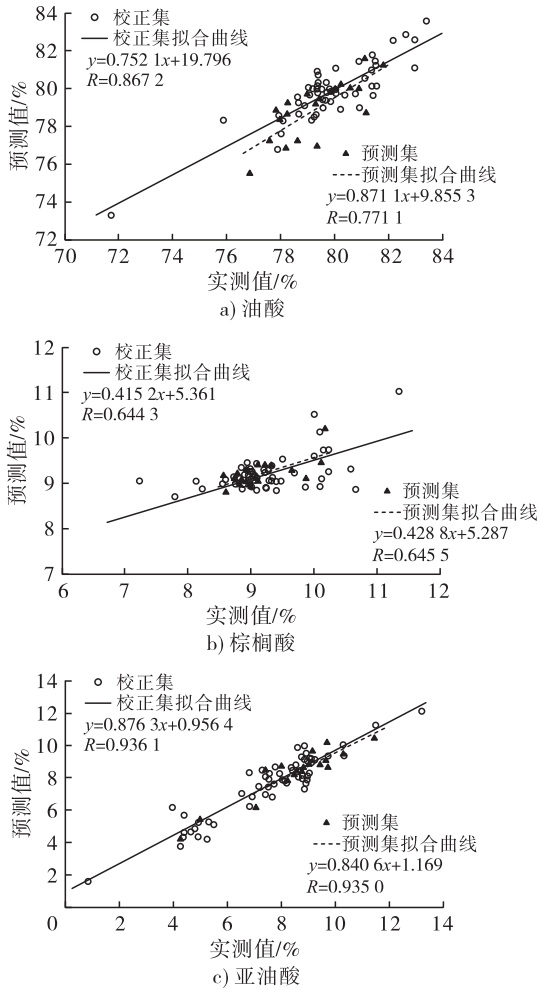


图 1 PLS 模型的实测值与预测值的校正集、预测集样本散点分布图

从图 1 可以看出,拟合散点基本均匀地分布在回归线的两侧,油酸、棕榈酸、亚油酸校正集的 R 值分别为 0.867 2、0.644 3、0.936 1,预测集 R 值分别为 0.771 1、0.645 5、0.935 0,可以看出,仅亚油酸的预测效果较好,而棕榈酸和油酸的预测效果较差。

2.3 油茶籽油中主要脂肪酸 iPLS 模型的建立与预测

由 2.2 可知,采用 PLS 模型会造成信息冗杂,模型预测效果和泛化能力较差,因此考虑对建模波段进行选择,采用 iPLS 建立模型。

为了更好地去除光谱噪声,采用主成分分析 (PCA) 法对油酸、棕榈酸以及亚油酸的红外光谱进行分解,将油酸、棕榈酸和亚油酸的红外光谱分别划分为 20、10、10 个子区间 (见图 2 ~ 图 4),当每个区间点数为 47、94、94 时,RMSECV 最小,其消噪效果最优。在此基础上,利用 iPLS 建立每个子区间模型,采

用交叉验证,筛选出最优子区间波数范围 (见图 5 ~ 图 7),并在各自的最优子区间下建立 iPLS 回归模型。

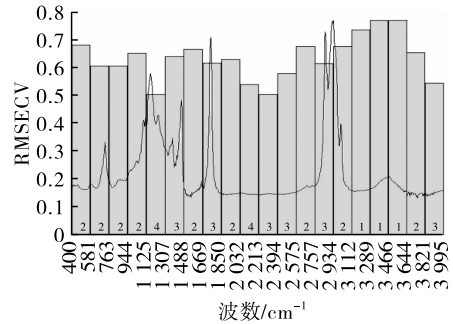


图 2 油酸 SG-iPLS 的 RMSECV

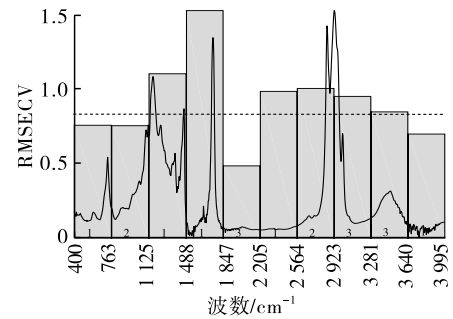


图 3 棕榈酸 SNV-iPLS 的 RMSECV

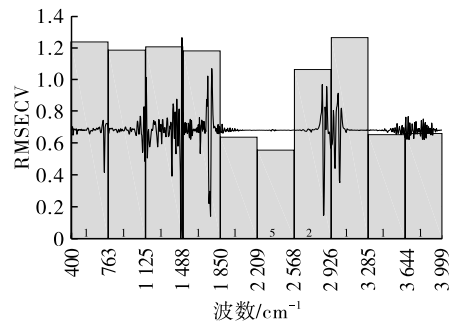


图 4 亚油酸 SD-iPLS 的 RMSECV

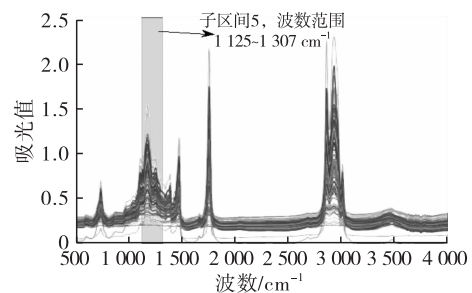


图 5 油酸的 SG 处理最优子区间

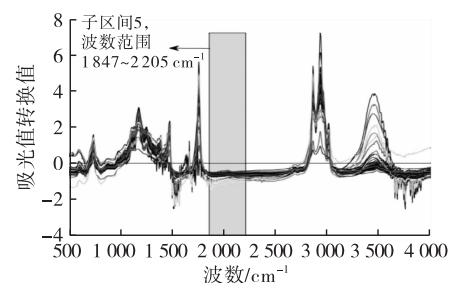


图 6 棕榈酸的 SNV 处理最优子区间

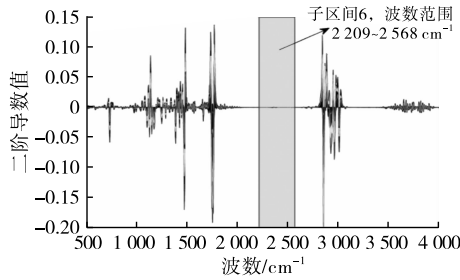


图7 亚油酸的SD处理最优子区间

将3种主要脂肪酸的iPLS模型对校正集和预测集样本进行仿真预测分析,结果如图8所示。

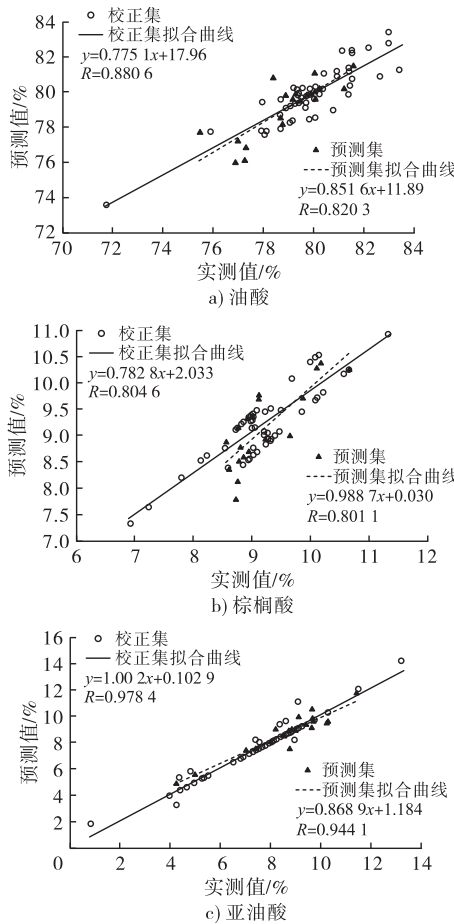


图8 iPLS模型的实测值与预测值的校正集、预测集样本散点分布图

由图8可知,油酸、棕榈酸、亚油酸校正集的R值分别为0.8806、0.8046、0.9784,预测集R值分别为0.8203、0.8011、0.9441,相比PLS模型,各相关系数都有一定的增大,表明模型的预测效果有所提升,但由于只选择了单个子区间作为建模波段,造成部分信息丢失,模型有待进一步改善。

2.4 油茶籽油中主要脂肪酸 siPLS 模型的建立与预测

将油茶籽油的红外光谱4000~400 cm⁻¹分为10个子区间,见表3。

区间	波数范围	区间	波数范围
1	400~763	6	2209~2568
2	763~1125	7	2568~2926
3	1125~1488	8	2926~3285
4	1488~1850	9	3285~3644
5	1850~2209	10	3644~3999

按照3种主要脂肪酸iPLS模型的最优预处理方式,考虑到模型复杂性,联合区间个数选择为3,同时采用交叉验证建立模型,3种脂肪酸的最优联合子区间组合如表4所示。

从表4可以看出,油酸的3个子区间2、7和10联合建模其RMSECV最小,棕榈酸和亚油酸的最优联合子区间分别为1、2、5和2、3、5,油酸、棕榈酸和亚油酸的最优主成分数分别为4、4、3,各自最优建模区间如图9所示。

应用油酸、棕榈酸、亚油酸的siPLS模型对校正集和预测集进行仿真预测分析,结果如图10所示。

表4 siPLS法波段筛选结果

油酸			棕榈酸			亚油酸		
联合子区间	潜变量因子数	RMSECV	联合子区间	潜变量因子数	RMSECV	联合子区间	潜变量因子数	RMSECV
[2,7,10]	4	0.4303	[1,2,5]	4	0.3051	[2,3,5]	3	0.2870
[2,5,7]	4	0.4365	[1,2,3]	3	0.3083	[2,3,6]	2	0.2871
[2,6,7]	4	0.4391	[2,3,5]	3	0.3087	[1,2,3]	2	0.2871
[2,3,7]	4	0.4486	[2,3,4]	5	0.3088	[2,3,9]	2	0.2876
[2,4,7]	4	0.4660	[1,3,5]	1	0.3088	[1,3,6]	2	0.2884
[1,7,10]	3	0.4680	[1,3,4]	3	0.3089	[1,3,5]	2	0.2884
[1,5,10]	3	0.4705	[2,3,6]	2	0.3090	[3,5,6]	2	0.2884
[3,4,10]	4	0.4711	[2,3,8]	3	0.3090	[2,3,10]	2	0.2889
[1,6,10]	3	0.4785	[2,3,7]	2	0.3090	[3,6,9]	2	0.2890
[3,5,7]	4	0.4787	[1,3,6]	1	0.3091	[1,3,9]	2	0.2890

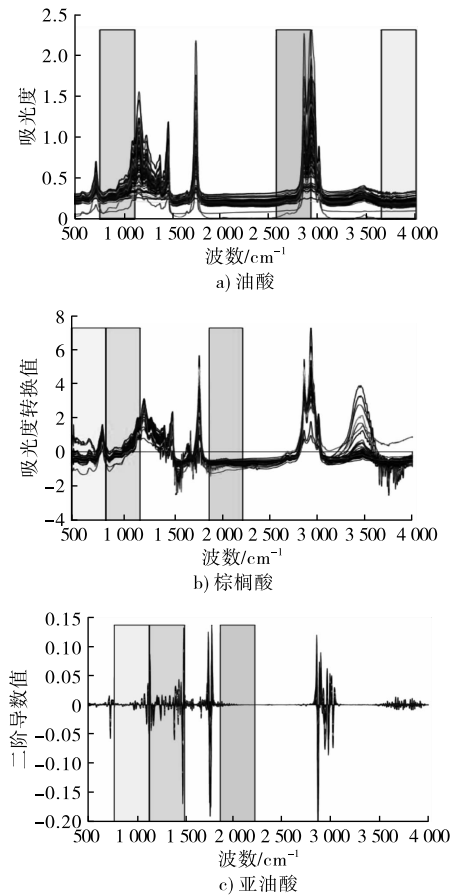


图9 siPLS模型最优联合区间

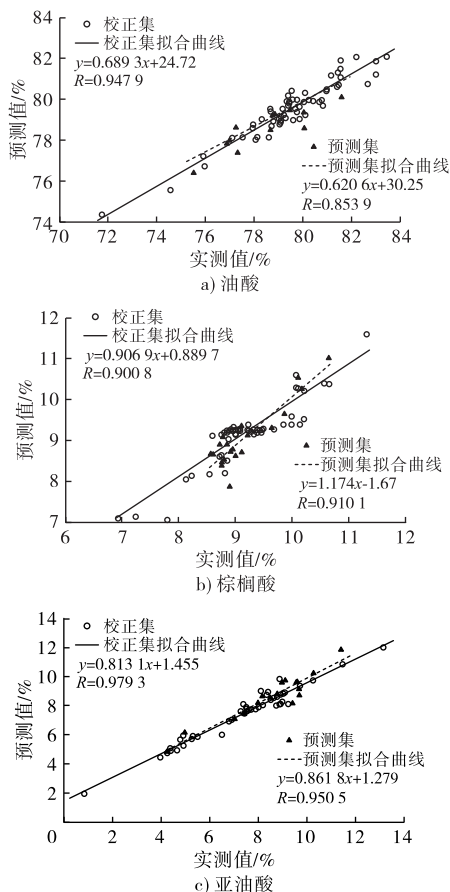


图10 siPLS模型的实测值与预测值的校正集、预测集样本散点分布图

由图10可知,油酸、棕榈酸、亚油酸校正集的 R 值分别为0.9479、0.9008、0.9793,预测集的 R 值分别为0.8539、0.9101、0.9505,表明模型预测值与实测值比较接近,模型的预测效果较好。相对于PLS和iPLS,siPLS模型的准确度和泛化能力均有一定程度的提升,预测效果基本达到应用检测水平,相对标准偏差小于10%。

3 结论

通过对86个油茶籽油样品的红外光谱扫描,运用SG、MSC、SNV、FD和SD等5种方法对红外光谱数据进行预处理,根据相关系数和均方根差,筛选出油茶籽油中的主要脂肪酸油酸、棕榈酸和亚油酸的红外光谱数据最优预处理方法分别为SG、SNV和SD。油茶籽油中3种主要脂肪酸的定量回归模型的精确度顺序为siPLS>iPLS>PLS;油酸、棕榈酸和亚油酸的siPLS最优建模区间分别为763~1125、2568~2926、3644~3999 cm^{-1} ,400~763、763~1125、1850~2209 cm^{-1} ,763~1125、1125~1488、1850~2209 cm^{-1} ;3种主要脂肪酸siPLS模型校正集和预测集的相关系数分别为0.9479和0.8539、0.9008和0.9101、0.9793和0.9505,相对标准偏差均小于10%,在化学分析值所允许的误差范围内,说明红外光谱结合siPLS可用于油茶籽油脂脂肪酸组成的快速测定。

参考文献:

- [1] SHI T, WU G, JIN Q, et al. Camellia oil authentication: a comparative analysis and recent analytical techniques developed for its assessment. A review[J]. Trends Food Sci Tech, 2020,97:88-99.
- [2] YANG R, ZHANG L, LI P, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China[J]. Trends Food Sci Tech, 2018, 74: 26-32.
- [3] LI C X, SHEN L R. New observations on the effect of camellia oil on fatty liver disease in rats[J]. J Zhejiang Univ Sci B, 2020,21(8):657-667.
- [4] CHOU T, LU Y, INBARAJ B S, et al. Camellia oil and soybean-camellia oil blend enhance antioxidant activity and cardiovascular protection in hamsters[J]. Nutrition, 2018, 51-52:86-94.
- [5] GUO L, GUO Y, WU P, et al. Camellia oil lowering blood pressure in spontaneously hypertension rats[J]. J Funct Foods, 2020, 70: 103915 [2021-10-12]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103915>.
- [6] LEI X, LIU Q, LIU Q, et al. Camellia oil (*Camellia oleifera* Abel.) attenuates CCl_4 -induced liver fibrosis via

- suppressing hepatocyte apoptosis in mice[J]. *Food Funct*, 2020,11(5):4582–4590.
- [7] ZHANG T, QI Q F, CHEN L, et al. Identification and in vitro anti-inflammatory activity of different forms of phenolic compounds in *Camellia oleifera* oil[J/OL]. *Food Chem*, 2021,344:128660[2021–10–12]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128660>.
- [8] DU Q, ZHU M, SHI T, et al. Adulteration detection of corn oil, rapeseed oil and sunflower oil in camellia oil by in situ diffuse reflectance near-infrared spectroscopy and chemometrics [J/OL]. *Food Control*, 2021, 121: 107577 [2021–10–12]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107577>.
- [9] 褚璇, 王伟, 赵昕, 等. 近红外光谱和特征光谱的山茶油掺假鉴别方法研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2017,37(1):75–79.
- [10] WANG L, SUN D W, PU H, et al. Quality analysis, classification, and authentication of liquid foods by near-infrared spectroscopy: a review of recent research developments [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2017, 57(7):1524–1538.
- [11] LI X, ZHANG L, ZHANG Y, et al. Review of NIR spectroscopy methods for nondestructive quality analysis of oilseeds and edible oils [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2020,101:172–181.
- [12] KIRFER J, LAMPE A I, NICOLI S F, et al. Identification of passion fruit oil adulteration by chemometric analysis of FTIR spectra[J]. *Molecules*, 2019,24(18):3219–3231.
- [13] GOH K M, MAULIDIANI M, RUDIVANTO R, et al. Rapid assessment of total MCPD esters in palm-based cooking oil using ATR-FTIR application and chemometric analysis[J]. *Talanta*, 2019,198:215–223.
- [14] KARNATHILAKA S R, FARRIS S, MOSSOBA M M. Rapid prediction of low (< 1%) *trans* fat content in edible oils and fast food lipid extracts by infrared spectroscopy and partial least squares regression [J]. *J Food Sci*, 2018, 83(8):2101–2108.
- [15] AHRTO J H, HUANG X, TIAN X, et al. Combination of spectra and image information of hyperspectral imaging data for fast prediction of lipid oxidation attributes in pork meat[J/OL]. *J Food Eng*, 2019, 42(6):e13225[2021–10–12]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13225>.
- [16] ZHOU J, WU X, CHEN Z, et al. Evaluation of freshness in freshwater fish based on near infrared reflectance spectroscopy and chemometrics [J]. *Food Sci Tech*, 2019, 106:145–150.
- [17] 高冰, 吴鹏飞, 许晓栋, 等. 基于色谱和光谱数据融合的不同植物源食用油判别方法与模型[J]. *分析测试学报*, 2020,39(11):1398–1403.
- [18] 崔虎亮, 张亚楠, 贺霞, 等. 近红外光谱技术测定油料种子脂肪酸的研究进展[J]. *中国种业*, 2020(2):13–18.
- [19] 刘贤, 徐凌芝, 高冰, 等. 红外光谱的陆生动物油脂中反刍动物成分鉴别分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2019,39(10):3189–3192.
- [20] 刘燕德, 张雨, 姜小刚, 等. 不同贮藏期水蜜桃硬度及糖度的检测研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2021,41(1):243–249.
- [21] 吴雪辉, 王泽富. 红外光谱快速测定油茶籽油中主要功能活性成分含量的模型建立与评价[J]. *中国油脂*, 2018,43(10):140–143.
- [22] 王泽富, 吴雪辉, 江盛宇, 等. 红外光谱快速检测油茶籽油有关指标的研究[J]. *中国粮油学报*, 2018,33(3):119–125.
- [23] 何小三, 李博, 符树根, 等. 茶油脂肪酸组分近红外模型构建研究[J]. *南方林业科学*, 2018,46(5):13–19.
- (上接第 89 页)
- [42] YAHAYA B, SULAIMAN S A, YUSOP R M. Apoptosis in lung cancer cells induced by virgin coconut oil [J]. *Regen Res*, 2015, 4(1):30–36.
- [43] CALDERON J, BRILLANTES J, BUENAFE M, et al. Virgin coconut oil inhibits SKBr-3 breast cancer cell proliferation and synergistically enhances the growth inhibitory effects of *Trastuzumab* (Herceptin (TM)) [J/OL]. *Eur J Med Res*, 2009, 14: 43[2021–09–07]. <https://doi.org/10.2174/2210289201304010290>.
- [44] VERMA P, NAIK S, NANDA P, et al. In vitro anticancer activity of virgin coconut oil and its fractions in liver and oral cancer cells [J]. *Anticancer Agents Med Chem*, 2019,19(18):2223–2230.