

基于中红外光谱结合化学计量法快速检测 油炸食品用油品质

Rapid determination of the quality of frying oils using mid-infrared
spectroscopy coupled with chemometrics methods

宁海花¹ 周啟佳¹ 杜 桢¹ 苗军舰^{1,2} 赖克强^{1,2}

NING Hai-hua¹ ZHOU Qi-jia¹ DU Rui¹ MIAO Jun-jian^{1,2} LAI Ke-qiang^{1,2}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学食品热加工工程技术研究中心, 上海 201306)

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Engineering Research Center of Food Thermal-Processing Technology,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:目的:保障食品工业化生产过程中最终油炸食品的安全。方法:以某大学食堂油炸食品用油为研究对象,以国标法为依据,测定油样酸价、过氧化值、羰基价,通过配备多点衰减全反射的傅里叶变换红外光谱仪获取其红外图谱,并采用偏最小二乘回归法分别建立控制油样、随机油样及所有油样的数学模型。结果:模型对油样酸价的测定均有很好的预测性,但对过氧化值的预测能力较弱。此外,控制油样模型比随机油样模型的预测性更强。结论:采用衰减全反射附件的傅里叶变换中红外光谱结合化学计量法有望实现快速、同时检测油炸食品工业化生产过程中油炸用油的酸价、过氧化值和羰基价。

关键词:傅里叶变换中红外光谱;酸价;过氧化值;羰基价;食用油

Abstract: Objective: Ensure the safety of final fried food in the process of industrial food production. **Methods:** The acid values, peroxide values and carbonyl values of the frying oil samples collected from a university cafeteria were determined based on the standard methods of China. Their infrared spectra were obtained with a Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) equipped with multi-point attenuated total reflection (ATR). Partial least squares regression (PLS) was employed to build mathematical models for control oil samples, random oil samples, and all samples, respectively. **Results:** The models had good predictability

for the determination of acid values of frying oils, but did not perform well for peroxide values. In addition, the PLS models for control oil samples had better predictability than that for random oil samples. **Conclusion:** Fourier transform mid-infrared spectroscopy with attenuated total reflection attachment combined with the chemometric method is expected to achieve rapid and simultaneous detection of acid value, peroxide value and carbonyl value of oil used for frying in the industrial production process of fried foods.

Keywords: fourier transform mid-infrared; acid value; peroxide value; carbonyl value; edible oil

油炸食品在生活中随处可见,因其香酥可口,深受消费者喜爱。然而,油炸时用的食用油因长时间处于高温状态,易发生一系列复杂的化学反应^[1-2]。这些化学反应不仅会使食用油本身产生异味、影响货架期,还会降油炸低食品的营养价值,甚至产生有毒有害的物质,如反式脂肪酸、丙烯酰胺、苯并芘等^[3-5]。目前检测油脂品质的常规方法多为根据油脂氧化过程中 1~2 项指标的变化,如酸价、过氧化值、羰基价、极性组分等来评价油脂品质,而油脂氧化反应过程的复杂多样性,若要全面评价油脂的品质,则需要同时检测多项指标,增加了对油脂品质监控的难度^[6]。

近红外因具有快速、简便、高效、成本低等优点,常被用于样品分析,但近红外光谱存在光谱特征性不强、光谱强度低等缺陷,且其光谱信息主要由合频、泛频振动引起,对含量低于 0.1% 的物质检测的灵敏度欠佳^[7-8]。中红外光谱信息是由分子的基频振动引起的,较近红外更灵敏,而基于衰减全反射(attenuated total reflectance,

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(编号:2017YFC1600706)

作者简介:宁海花,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:赖克强(1976—),男,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: kqlai@shou.edu.cn

收稿日期:2022-05-06

ATR)附件采集红外谱图,对液体样品前处理无特殊要求,具有非破坏性、操作简单等特点,因此结合 ATR 附件的中红外光谱检测法在液态或半固态食品快速分析中的应用前景将越来越广泛^[9-11]。

酸价、过氧化值和羰基价为评价食用油质量安全的重要指标。酸价用来衡量油脂中游离脂肪酸以及油脂氧化分解产生的小分子有机酸,油脂酸价一般随其质量的下降而增加^[12]。过氧化值则用来表示油脂中氢过氧化物含量^[13],是油脂氧化的初级产物,其进一步分解可生成小分子的醛、酮等脂肪氧化的次级产物,因此测量油脂中总的羰基化合物(羰基价),常用于评价油脂劣变程度^[14]。

研究拟基于傅里叶变换中红外光谱(fourier transform mid-infrared, FT-IR)-ATR 技术,结合化学计量学方法,对油炸食品用油的酸价、过氧化值、羰基价进行定量分析,以其达到快速、同时检测多项油脂品质指标的目的,为加强对油炸食品用油品质的监控以保障最终油炸食品的安全提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试剂与仪器

硫代硫酸钠、甲醇、异丙醇等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

正丁醇、己醛:色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司;

傅里叶变换红外光谱仪:Nicolet 6700 型,美国 Thermofisher 公司;

紫外分光光度计:UV3000 型,上海美谱达仪器有限公司。

1.1.2 试验原料

(1) 控制油样:在上海某大学食堂,使用 8 L 左右该食堂常用的市购一级大豆油连续油炸麻球,麻球重量约 2.5 kg,每锅炸 20 min,共 18 锅,油炸温度控制在 120~150 ℃。油炸过程中,第一锅每隔 2 min 取一次油样,共取 11 个样品;此后 17 锅每隔 5 min 取一次油样,共取 68 个样品,总油炸时间 360 min,加上未加热豆油,共计 80 个油样。

(2) 随机油样:以 1,4,7,15 d 为取样周期,在同一食堂连续 6 个月对当天所用炸油进行取样,每天油炸时间约 90 min,油炸温度 120~220 ℃,每隔 3~6 min 取约 40 mL 油,共取 136 个样品,加 2 个未加热油样,共计 138 个油样。

该食堂主要使用万家宴转基因四级大豆油(上海帝海粮油有限公司)及烹饪佳精致转基因大豆油(嘉吉粮油有限公司),油炸的食物包括麻球、素鸡、虾、大排、排骨、小黄鱼、土豆、鲫鱼、白鱼块、牛肉、鲳鱼等十余种,每日炸 5~8 种食物,每种食物重量约 2 kg。油炸过程中,根据实

际情况,不定时、不定量添加不同品牌的新油或简单过滤后的陈油。采集到的油样盛于 50 mL 玻璃烧杯,待冷却后,转移到 60 mL 具塞样品瓶,贴好标签于 4 ℃ 冰箱贮藏。

1.2 试验方法

1.2.1 油脂指标的测定 所有采集的 218 个油样均用于酸价分析,因油样过氧化值和羰基价的测试方法耗时较长,且经比较同一锅控制油样过氧化值和羰基价之间相差较小,因此只对控制油样的第 1 锅选择 3 个样品,其余 17 锅选择 2 个样品,加未加热油样,共 38 个样品以及随机油样的第 1 月 17 个样品,其余月份选择 15 个样品,2 个未加热油样,共 94 个样品进行过氧化值和羰基价分析。

(1) 酸价:参照 GB 5009.229—2016。

(2) 过氧化值:参照 GB 5009.227—2016。

(3) 羰基价:参照 GB 5009.230—2016。

1.2.2 红外谱图的采集 采用傅里叶变换光谱仪采集油样的红外谱图,其扫描波数范围为 500~4 000 cm^{-1} ,扫描次数为 16 次,分辨率为 4 cm^{-1} 。以空气参比作为空白背景,用滴管滴加油样,使其充满整个 11 点反射槽式 ATR 硒化锌晶体表面。每次样品测试结束后,用异丙醇清洗干净。

1.2.3 建模方法及模型的评价参数 应用 Delight 3.2 软件,选择偏最小二乘回归法(PLS)将油样的红外光谱图与控制油样、随机油样、所有油样(二者加起来)的酸价、过氧化值、羰基价建立数学模型,基于留一交叉验证法对模型的预测性进行评估,并确定模型的最佳参数(如潜变量个数)。模型的评价指标包括预测值与真实值的相关系数(R^2),预测标准差(SEP),样品集的标准偏差与预测标准偏差的比值(RPD)^[15]。 R^2 越大、SEP 越小,模型的效果越好,RPD>5.0 说明模型具有良好的预测性;RPD 为 2.5~5.0 说明模型具有一定的预测性,适合低、中、高浓度的筛选;RPD<2.5,说明模型预测能力较差^[16]。建立 PLS 模型前,红外光谱图进行平滑(smooth)、二阶导(2nd derivative)预处理,以消除噪音和背景干扰来获得预测性好的模型^[15]。

2 结果与讨论

2.1 样品信息

由表 1 可知,控制油样的酸价、过氧化值和羰基价分别为 0.09~0.59 mg KOH/g,22.02~106.70 meq/kg 和 4.08~11.99 meq/kg,而随机油样的酸解、过氧化值和羰基价分别为 0.12~2.00 mg KOH/g,1.14~47.27 meq/kg 和 1.18~9.53 meq/kg。油样的酸价和羰基价均在 GB 5009.229—2016 和 GB 5009.230—2016 允许的范围内,而控制油样的过氧化值均超过 GB 5009.227—2016 规定的

表 1 油炸食品所用油样的酸价、过氧化值和羰基价

Table 1 Summary of acid values (AV), peroxide values (PO) and carbonyl values (CV) of frying oil samples

项目	控制油样			随机油样		
	酸价/ (mg KOH · g ⁻¹)	过氧化值/ (meq · kg ⁻¹)	羰基价/ (meq · kg ⁻¹)	酸价/ (mg KOH · g ⁻¹)	过氧化值/ (meq · kg ⁻¹)	羰基价/ (meq · kg ⁻¹)
最小值	0.09	22.02	4.08	0.12	1.14	1.18
最大值	0.59	106.70	11.99	2.00	47.27	9.53
平均值	0.27	49.59	9.19	1.20	10.39	3.07
中值	0.23	47.39	10.42	1.40	5.07	2.98
标准偏差	0.14	18.17	2.61	0.56	9.04	1.14

20 meq/kg,16 个随机油样的过氧化值也超标。对 3 个指标进行线性分析,发现其中任何两个指标之间无明显的线性关系,表明 3 个指标是独立的。

2.2 FT-IR 谱图特征

由图 1 可知,油样的主要特征峰有 966,1 159,1 743, 2 852,2 922 cm⁻¹,其中 1 743 cm⁻¹处最强吸收峰是由脂肪族酯类的 C=O 的伸缩振动引起的^[17]; 2 922, 2 852 cm⁻¹处吸收峰分别由 CH₂ 基团中 C-H 的对称与非对称伸缩振动引起的^[17];位于指纹区的 1 159 cm⁻¹处吸收峰可能是脂肪族酯类的 C-O 的伸缩振动引起的^[18]。此外,966 cm⁻¹处特征峰可能是由反式脂肪酸中反式碳碳双键 C-H 的面外振动引起的^[19]。随着油炸时间的增长,966 cm⁻¹处吸收峰的强度出现微弱的增加,在油样的红外光谱二阶导数图中可明显观测到(图 1 右上角),可能是因为大豆油富含多不饱和脂肪酸 C_{18:2} 亚油酸及 C_{18:3} 亚麻酸,高温下不稳定,容易被异构化形成反式脂肪酸^[20]。

2.3 酸价模型

由图 2 可知,对于酸价的分析,当控制油样、随机油样、所有油样模型的潜变量个数分别为 6,12,13 时,若继续增加模型的潜变量数目,预测标准差无明显的减低,由此判断 3 种油样酸价模型的最优潜变量个数分别为 6,

12,13。由于食用油中游离脂肪酸、过氧化物和羰基化合物含量较少,其对应的 FT-IR 光谱特征被油脂中的主要成分甘油三酯的光谱特征掩盖。因此,酸价模型的建立需要较多的潜变量个数。此外,由于控制油样的油炸食物和所用油品种相对简单,同一种油反复炸一种食品,所以控制油样的酸价模型需要用的潜变量数目相对较少;而随机油样的油炸食物品种较多,所用油的品种多样,所含成分复杂,因此随机油样的酸价模型需要较多的潜变量个数。

由图 3 可知,控制油样、随机油样、所有油样酸价的模型预测值与真实值之间的相关系数 R² 均≥0.980,SEP 为 0.02~0.08 mg KOH/g,RPD 为 6.98~8.73,表明 3 种油样的酸价模型均有很好的预测性。

随机油样和所有油样模型中,起主要作用的为甘油三酯中 C=O 双键所引起 1 743 cm⁻¹ 的吸收峰,可能是油炸过程中,三酰甘油酯的 C-O 键断裂,油脂中 C=O 引起的吸收峰强度变弱,降解生成少量的游离脂肪酸;而酸中的 C=O 双键与酯中的 C=O 的吸收峰的位置并不相同,羧酸羰基 C=O 伸缩振动频率位于 1 760 cm⁻¹^[21],因此甘油三酯中双键产生的吸收峰(1 743 cm⁻¹)对模型预测游离脂肪酸含量非常重要。控制油样模型中,对模型有贡献作用的不仅有 1 743 cm⁻¹ 处的吸收,还有指纹区 500~1 100 cm⁻¹ 处的吸收。

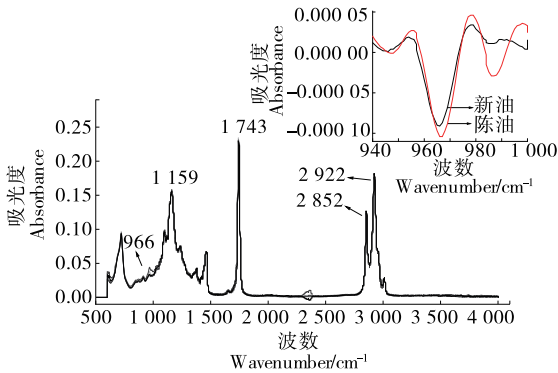


图 1 代表性油样的红外谱图

Figure 1 FT-IR spectra of some representative frying oil samples

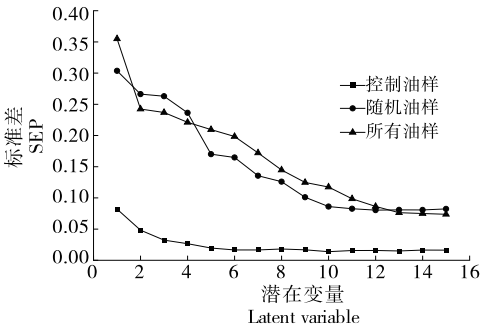


图 2 油样酸价模型的潜变量个数与预测标准差的关系

Figure 2 Standard deviation of prediction vs number of latent variables from PLS models for AV

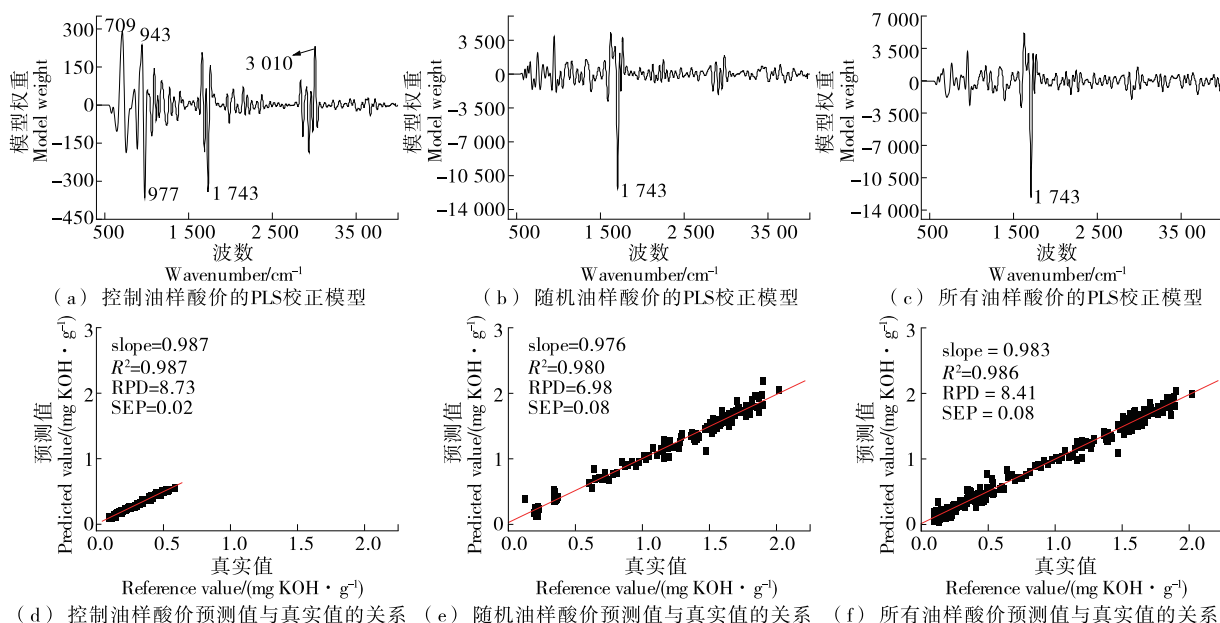


图3 油样酸价的PLS校正模型及预测值与真实值的关系

Figure 3 PLS calibration models for acid values and their predicted values against measured data for acid values in frying oil samples

2.4 过氧化值模型

过氧化值PLS模型最优潜变量个数的确定方法与酸价模型类似,控制油样、随机油样、所有油样的过氧化值模型潜变量个数分别为9,10,11,若继续增加模型的潜变量数目,预测标准差并未明显减小,由此判断3种油样过氧化值模型的最优潜变量个数分别为9,10,11。由图4

可知,过氧化值的模型预测值与真实值之间的 R^2 为0.716~0.909,SEP为4.41~6.86 meq/kg,RPD为1.87~3.32,模型的预测性较差,尤其是随机油样模型对应的RPD只有1.87,对于实际抽检油样中过氧化值的定量分析几乎无应用价值。

过氧化值模型中比重较大的峰为 $1\,720, 984\text{ cm}^{-1}$,

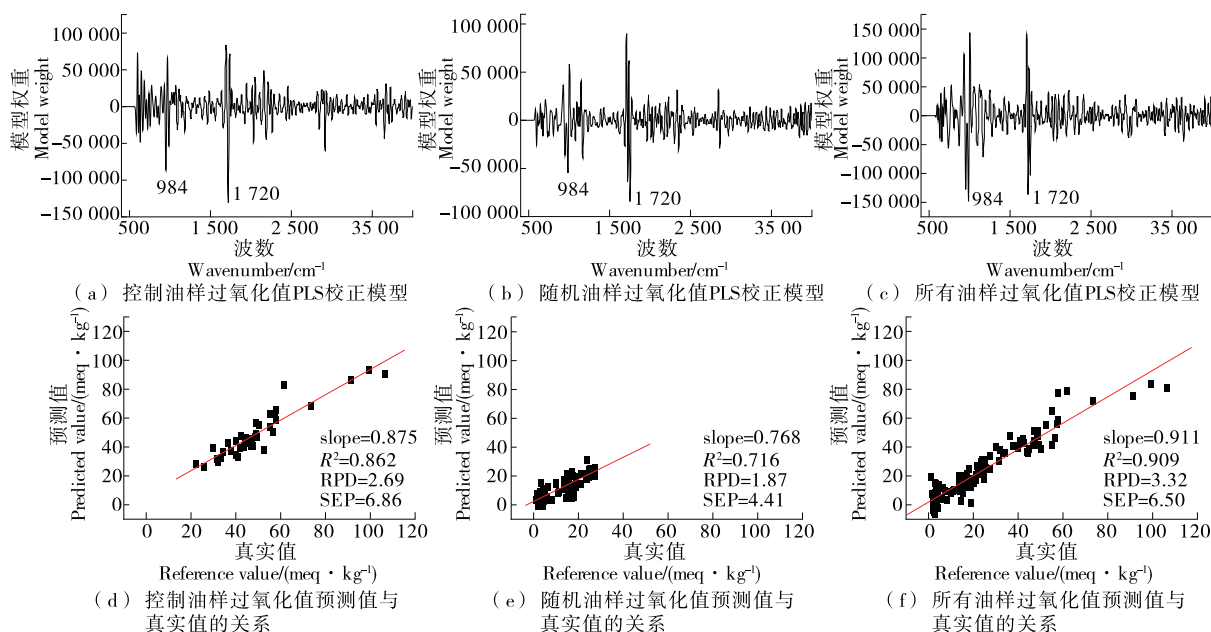


图4 油样过氧化值的PLS校正模型及预测值与真实值的关系

Figure 4 PLS calibration models for peroxide values and their predicted values against measured data for peroxide values in frying oil samples

其中 $1\,720\text{ cm}^{-1}$ 可能是由饱和脂肪酮的 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动引起的^[21], 984 cm^{-1} 可能是由油脂中的共轭不饱和脂肪酸的 $\text{C}-\text{H}$ 面外振动所引起的^[22-23]。这两个特征峰与油样中所含氢过氧化物可能无直接关系,此外,氢过氧化物成分不稳定,易受环境影响,因此红外谱图的采集与过氧化值的测定难以同步进行,分析时间的间隔也有可能造成过氧化值模型的预测性不佳。

2.5 羰基价模型

羰基价模型最优潜变量数目的确定方法与酸价、过氧化值模型类似,控制油样、随机油样、所有油样的羰基价模型最优潜变量数分别为 5, 10, 4。由图 5 可知,控制油样和随机油样的 PLS 模型有一定的预测能力,模型预测值与真实值之间的 R^2 分别为 0.936, 0.881, SEP 分别为

0.66, 0.73 meq/kg, RPD 分别为 3.95, 2.90, 但是对于所有油样,模型的预测能力较差,对应的 R^2 为 0.763, SEP 为 1.31 meq/kg, RPD 为 2.05。

控制油样 PLS 模型中比重较大的峰为 $982, 1\,165, 1\,743\text{ cm}^{-1}$, 分别归属于 $\text{C}-\text{H}$ 面外弯曲振动, $\text{C}-\text{O}$ 伸缩振动与 $\text{C}-\text{H}$ 弯曲振动, $\text{C}=\text{O}$ (酯)伸缩振动^[21-23]; 随机油样模型中比重最大的峰为 $1\,743\text{ cm}^{-1}$; 所有油样模型中无明显比重较大的峰。控制油样与随机油样的 PLS 模型都有一定的预测能力,但所有油样的 PLS 模型预测能力不及控制油样与随机油样的模型,说明两组油样的成分差别较大,无法用数学方法弥补成分差异对羰基价模型的影响。随机油样中成分复杂,油的品种不同于控制油样,两种油样的巨大差异性影响其混合油样模型的预测能力。

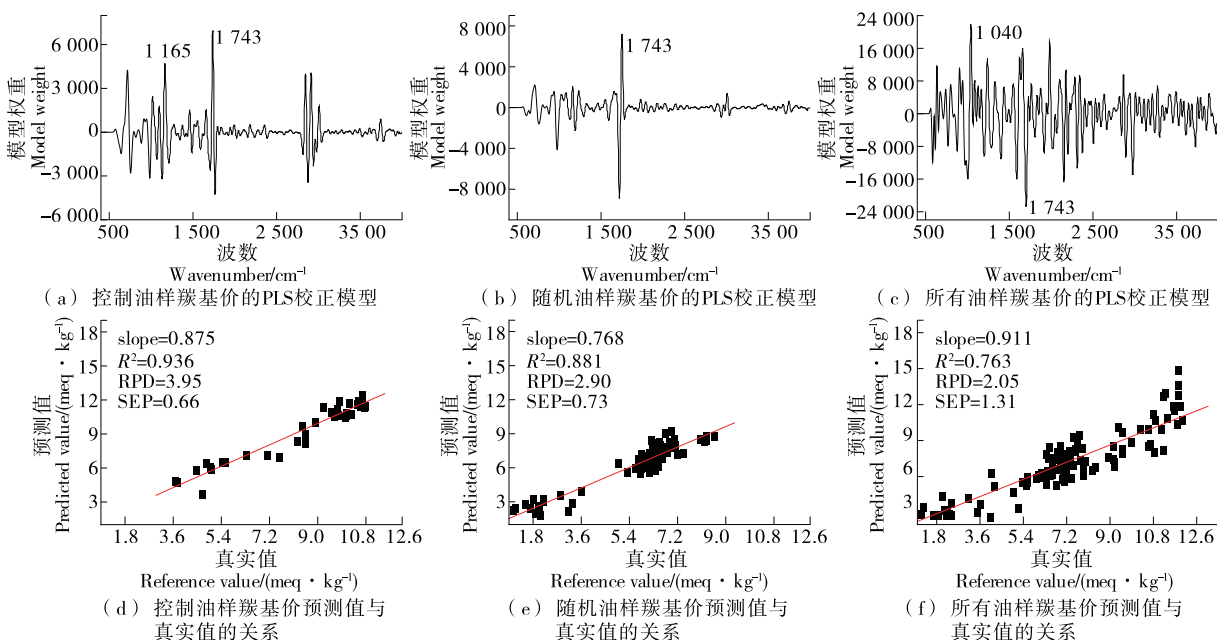


图 5 油样羰基价的 PLS 校正模型及预测值与真实值的关系

Figure 5 PLS calibration models for carbonyl values and their predicted values against measured data in frying oil samples

3 结论

试验表明,随机油样中,酸价与羰基价均在国家标准范围内,但是部分样品的过氧化值已超过了油炸食品关于食用油所含油脂含量的卫生标准,反映出油炸食品中可能存在食品安全问题。随机油样油炸时间比控制油样油炸时间更长,且油炸食物的量更多,但其过氧化值与羰基价总体上比控制油样的要低,主要是由于控制油样与随机油样所使用的食用油品种不同。此外,中红外光谱图中,反式碳碳双键的特征吸收峰强度增加,说明油炸过程中不饱和脂肪酸可能经异构化生成了反式脂肪酸,油炸用油中反式脂肪酸含量的测定有待后续研究。

通过酸价、过氧化值和羰基价 3 种指标的 PLS 模型比

较,发现模型对油脂酸价的预测能力较强($\text{RPD} \geq 6.98$),但对过氧化值的预测能力较弱,尤其对于随机油样几乎无实际应用价值($\text{RPD}=1.87$)。此外,控制油样模型比随机油样模型的预测性更强,其主要原因是随机油样炸的食物种类多、油炸温度差异性大,使得油样的成分更为复杂,从而影响其模型预测的准确性。综上,采用衰减全反射附件的傅里叶变换中红外光谱结合化学计量法有望实现快速、同时检测油炸用油的酸价、过氧化值和羰基价。

参考文献

- [1] 卫璐琦, 刘彪, 张雅玮, 等. 油炸与油炸食品中的反式脂肪酸产生、危害及消减[J]. 肉类研究, 2014, 28(7): 32-37.
- WEI Lu-qi, LIU Biao, ZHANG Ya-wei, et al. Formation, health haz-

- ards and reduction of trans fatty acids in fried foods[J]. Meat Research, 2014, 28(7): 32-37.
- [2] BELITZ H D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Food chemistry[M]. 4th ed. Heidelberg: Springer, 2009: 158-245.
- [3] FENNEMA O R. Food chemistry[M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1996: 292-295.
- [4] 石建君, 欧仕益, 黄才欢. 油脂羰基价对丙烯酰胺形成的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(6): 103-105.
SHI Jian-jun, OU Shi-yi, HUANG Cai-huan. Effects of oil carbonyl value on formation of acrylamide[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(6): 103-105.
- [5] 程正载, 龚凯, 罗灿, 等. 食用油与人体健康[J]. 化学教学, 2014(11): 81-86.
CHENG Zheng-zai, GONG Kai, LUO Can, et al. Edible oil and human health[J]. Chemistry Teaching, 2014(11): 81-86.
- [6] 程慧, 刘顺, 关洪宣. 两种滴定法测定食用油中过氧化值和酸价的不确定度评价[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 73-77.
CHENG Hui, LIU Shun, GUAN Hong-xuan. Uncertainty evaluation of two titration methods for determination peroxide and acid value in edible oil[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 73-77.
- [7] 李娟, 梁漱玉. 近红外快速无损检测食用油品质的研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 225-228.
LI Juan, LIANG Shu-yu. The research progress on near infrared spectroscopic in the non-destructive detection of the quality of edible oil[J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 225-228.
- [8] 梁光月. 近红外分析技术在食品检测中的应用进展[J]. 现代食品, 2019(18): 46-48.
LIANG Guang-yue. Progress in the application of near-infrared analysis technology in food detection[J]. Modern Food, 2019(18): 46-48.
- [9] ALEIXANDRE-TUDO J L, NIEUWOUDT H, ALEIXANDRE J L, et al. Chemometric compositional analysis of phenolic compounds in fermenting samples and wines using different infrared spectroscopy techniques[J]. Talanta, 2018, 176(1): 526-536.
- [10] DIDHAM M, TRUONG V K, CHAPMAN J, et al. Sensing the addition of vegetable oils to olive oil: the ability of UV-VIS and MIR spectroscopy coupled with chemometric analysis[J]. Food Analytical Methods, 2020, 13(3): 601-607.
- [11] GORLA G, MESTRES M, BOQUE R, et al. ATR-MIR spectroscopy to predict commercial milk major components: A comparison between a handheld and a benchtop instrument[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2020, 200(15): 103995.
- [12] 范俊燕, 张彩猛, 孔祥珍, 等. 烘烤温度对花生种子中油脂品质、蛋白质性质及内源性蛋白酶活性的影响[J/OL]. 中国油脂. (2022-05-05) [2022-05-10]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220098>.
FAN Jun-yan, ZHANG Cai-meng, KONG Xiang-zhen, et al. Effects of roasting temperature on the quality of oil and proteins and the endogenous proteases activities in peanut seeds[J/OL]. China Oils and Fats. (2022-05-05) [2022-05-10]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220098>.
- [13] UPADHYAY R, MISHRA H N. Multivariate analysis for kinetic modeling of oxidative stability and shelf life estimation of sunflower oil blended with sage (*Salvia officinalis*) extract under rancimat conditions[J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(4): 1-10.
- [14] 于梦丹, 祝婷婷, 苏沛, 等. V_E 在棕榈油煎炸过程中的损耗及其对煎炸油品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 21-26.
YU Meng-dan, ZHU Ting-ting, SU Pei, et al. V_E loss and its effect on the quality and stability of palm oil during frying[J]. Food Science, 2020, 41(18): 21-26.
- [15] QU Y H, DUAN X L, GAO H Y, et al. Quantitative retrieval of soil salinity using hyperspectral data in the region of Inner Mongolia Hetao irrigation district[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(5): 1 362-1 366.
- [16] HUANG Y Q, ROGERS T M, WENZ M A, et al. Detection of sodium chloride in cured salmon roe by SW- NIR spectroscopy[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49: 4 161-4 167.
- [17] YAN M, FRANK E M, COCHRAN E W. Effects of vegetable oil composition on epoxidation kinetics and physical properties[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2018, 95(2): 209-216.
- [18] DU R, LAI K Q, XIAO Z Q, et al. Evaluation of the quality of deep frying oils with Fourier transform near-infrared and mid-infrared spectroscopy[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(2): c261-c266.
- [19] SIVAKESAVA S, IRUDAYARAJ J. Analysis of potato chips using FTIR photoacoustic spectroscopy[J]. Journal of Science and Food Agricultural, 2000, 80(12): 1 805-1 810.
- [20] 施玉珍, 陈志春, 林贤福. 拉曼光谱与红外光谱无损检测技术新进展[J]. 分析化学, 2005, 33(2): 272-276.
SHI Yu-zhen, CHEN Zhi-chun, LIN Xian-fu. Advances of non-destructive analysis techniques of Raman spectrometry and infrared spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2005, 33(2): 272-276.
- [21] MOSSOBA M M, SEILER A, KRAMER J K G, et al. Nutrition labeling: Rapid determination of total trans fats by using internal reflection infrared spectroscopy and a second derivative procedure[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2009, 86(11): 1 037-1 045.
- [22] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2005: 77.
BI Yan-lan. Oil chemistry[M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 77.
- [23] SINELLI N, CERRETANI L, EGIDIO V D, et al. Application of near (NIR) infrared and mid (MIR) infrared spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity[J]. Food Research International, 2010, 43(1): 369-375.