

基于同色油墨红外光谱的卷烟包装纸 真伪鉴别模型

An anti-counterfeit models of cigarette packaging paper
based on same color ink by FTIR

李海燕 蔡洁云 李 郢 马慧宇 肖 燕

LI Hai-yan CAI Jie-yun LI Dan MA Hui-yu XIAO Yan

(云南省烟草质量监督检测站, 云南 昆明 650104)

(Yunnan Tobacco Quality Supervision and Test Station, Kunming, Yunnan 650104, China)

摘要:目的:利用卷烟包装上同色油墨的红外光谱差异快速区分卷烟包装纸真伪。方法:分别收集了云烟、玉溪和红塔山 3 个品牌的真假卷烟包装纸共 116 个,使用傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)衰减全反射(ATR)采集附件采集样品中红色油墨的红外光谱图。对光谱进行二阶导处理后,以光谱范围为 3 200~2 700, 1 800~1 580, 801~720 cm^{-1} , 56 个真品为模型集合,每品牌各 20 个赝品验证准确性。分别按照品牌区分和不分品牌区分,使用马氏距离判别建立卷烟包装纸真伪鉴别模型。结果:建立了真假卷烟包装纸定性鉴别模型,对云烟、玉溪和红塔山 3 个品牌的预测准确率为 100%,混合模型对随机样品的预测准确率也达到 100%。结论:该组模型将同色油墨作为总体样本,预测准确率可达 100%,并能大大提高筛查真假卷烟包装纸的工作效率。

关键词:傅里叶变换红外光谱;衰减全反射(ATR);卷烟包装纸;辨假模型

Abstract: Objective: Established a group of models used to quickly distinguish anti-counterfeit cigarette packaging paper.

Methods: The model based on the same color oil on packaging paper from 3 different brands: Yunyan, Yuxi, and Hongtashan. The Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR) spectrum were collected from 116 samples totally by Attenuated Total Reflection (ATR) accessory. 56 spectrum were used to build the models and 20 samples of each brand were used to verification. Spectrum were second derivative processed and spectral ranges

were selected as 3 200~2 700, 1 800~1 580, and 801~720 cm^{-1} . **Results:** Using Mahalanobis distance discriminant method to establish 4 models (3 brands and 1 multiple), all of the accuracy of models reached to 100%. **Conclusion:** This is the first time to use the same color oil FTIR spectrum to distinguish real and fake cigarette packaging paper which were highly improve selection efficiency for large number of samples.

Keywords: fourier transform infrared spectroscopy (FTIR); attenuated total reflection (ATR); cigarette packaging paper; anti-counterfeit model

真品卷烟商标印刷都由授权印刷企业承印,非授权企业不得印刷^[1],所用的油墨组分稳定,技术保密^[2],科技含量高^[3]。制假分子为了追求利润最大化^[4]仅通过简单的扫描仿制等手段和简陋设备来印制商标,因此根据印刷品的印刷方式和图像分布可以发展出不同的鉴别手段。张冀鹏等^[5]基于近红外光谱对浓度的敏感性,建立了基于近红外光谱法的卷烟包装材料色差分析模型,应用于包装材料外观质量检验及成品卷烟的工艺控制。潘昵琥等^[6]利用紫外灯、放大镜和显微镜等可见光学仪器,对印刷图文、防伪处理和后加工技术处理等方面进行真假比对。聂磊等^[7]基于红外光谱中衰减全反射(ATR)方法通过对多个鉴别点的光谱测试和比较,使用相关系数法和 QC 比较法进行相似度分析,建立了多个品牌卷烟的鉴别模型,实现了对假冒卷烟样品的定性鉴别。然而,随着经济的发展,大量的假冒卷烟^[8]以指数的倍率增长并涌向质检,使用传统的依靠测试人员经验的可见光观察分析法,工作量巨大,效率不高且主观性强。

卷烟材料红外光谱虽容易获得,但品牌不同,就要重新确定鉴别点,需要在 10 个鉴别点中找到至少一个分辨力较强的鉴别点^[7]。即使同一品牌不同批次的样品,因承印厂不同,其油墨红外光谱也会有所差异。因此,如何合

基金项目:中国烟草总公司云南省公司重点项目(编号:2019530000241026)

作者简介:李海燕,女,云南省烟草质量监督检测站高级工程师,硕士。

通信作者:蔡洁云(1984—),女,云南省烟草质量监督检测站工程师,硕士。E-mail:caijyk@126.com

收稿日期:2021-11-10 **改回日期:**2022-05-12

理地利用数据库模型对真品光谱进行聚类,快速区分真假样品,减少误判率是现在质检工作迫切需要解决的问题。

红色油墨在大部分卷烟包装纸印刷中均有使用。鉴于红外光谱衰减全反射(ATR)是一种无损、快速的采集方式,受启发于近红外光谱对一些农产品产地溯源的研究^[9]及产品的鉴别^[10],结合马氏距离法^[11],研究拟基于 3 个品牌香烟包装纸上的同一颜色油墨的红外光谱图建立辨假模型,以期建立快捷、准确的卷烟包装纸真假鉴别方法,为追踪制假卷烟包装纸来源渠道及鉴别卷烟真伪提供新的检验方法。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 样品采集 研究中使用的卷烟包装纸选择承印企业较多的 3 个产品:云烟(软珍品)、玉溪(软)和红塔山(软经典)。真品样品由不同承印企业提供,假烟样品由云南省烟草质量监督检测站提供。编号 J 代表假烟样品,编号 Z 代表真品样品。样品区域分别选择 3 种卷烟包装纸中的红色油墨部分。

1.1.2 主要仪器设备 傅里叶变换红外光谱仪:Thermo Fisher Nicolet iS50 型,配备内置的金刚石晶体衰减全反射(ATR)采集附件、氙化处理后的硫酸三甘肽晶体 DTGS 检测器、溴化钾分束器,光谱采集范围为 400~4 000 cm^{-1} ,赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 测试方法 云烟(软珍品)包装纸检测条形码下方红色区域,玉溪(软)包装纸检测底版红点,红塔山(软经典)包装纸检测“红”字正中,如图 1 所示。

红外光谱的采集使用傅里叶变换红外光谱仪,在图 1 中所确定的鉴别点上采集红外光谱,光谱分辨率为 4 cm^{-1} ,每个样品扫描 16 次取平均值。

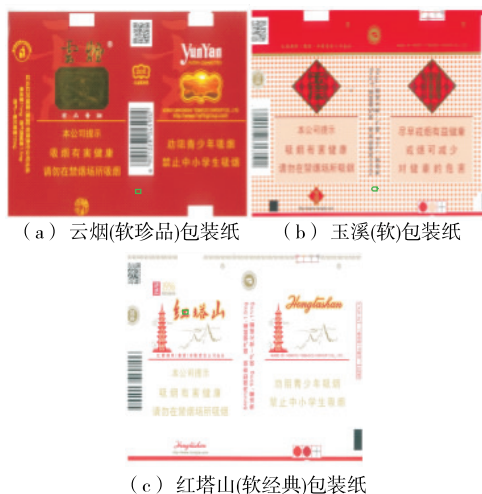


图 1 红色油墨鉴别点

Figure 1 Red ink identification points

将测试区域的红色油墨面向 ATR 晶体表面,使用压头使测试样品紧紧贴在晶体表面,采集测试直径 2 mm 区域(与晶体紧紧接触)的傅里叶变换红外光谱图。将获得的红外光谱图按照品牌真假进行赋值,利用马氏距离公式计算出每一类别的协方差矩阵,进行聚类计算形成该类型的数学投影,即形成辨假模型。再将需要判别的包装纸上同样位置采集的红外光谱使用相同的算法处理后,计算其马氏距离,该距离值用来判别一个未知样品到已知材料类别的匹配程度。

1.2.2 马氏距离计算^[12] 马氏距离是一种有效计算两种未知样本集相似性的算法,是一种独立于测量尺度表征各种特性之间联系的计算方法。马氏距离也可以定义为两个服从同一分布并且其协方差矩阵为 $\mathbf{M}$ 的随机变量之间的差异程度。

(1) 真品平均谱计算:

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n A_{ij} / n, \quad (1)$$

式中:

$\bar{A}$ ——平均谱;

A_{ij} ——光谱矩阵元素;

n ——光谱数量。

(2) 去中心化:

$$\mathbf{A}_u = \mathbf{A} - \bar{\mathbf{A}}, \quad (2)$$

式中:

$\mathbf{A}_u$ ——去中心化后的光谱矩阵;

$\mathbf{A}$ ——样品光谱;

$\bar{\mathbf{A}}$ ——平均谱。

(3) 协方差计算:

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{A}_u^T \mathbf{A}_u}{(n-1)}, \quad (3)$$

式中:

$\mathbf{M}$ ——标准光谱集的协方差矩阵;

$\mathbf{A}_u^T$ ——去中心化后的光谱矩阵的转置;

$\mathbf{A}_u$ ——去中心化后的光谱矩阵;

n ——光谱数量。

(4) 马氏距离计算:

$$D^2 = (\mathbf{A}_i - \bar{\mathbf{A}}) \mathbf{M}^{-1} (\mathbf{A}_i - \bar{\mathbf{A}})^T, \quad (4)$$

式中:

D ——马氏距离;

$\mathbf{M}$ ——标准光谱集的协方差矩阵;

$\mathbf{A}_i$ ——校正集光谱;

$\mathbf{A}$ ——样品光谱。

2 结果与讨论

2.1 真品批次间差异

将分别收集的云烟、玉溪、红塔山 3 个品牌中的真品,其中云烟真品样本 14 个、玉溪真品样本 18 个以及红塔山真品样品 24 个。按照图 1 的鉴别点分别采集红外

光谱图,依据文献[7]中所提及的 QC 比较法进行相似度比对,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,同一品牌的真品因为印刷厂不同、印刷批次不同,光谱相似度都有比较明显的差别。其中,云烟的平均相似度为 84.27%,玉溪的平均相似度为 77.51%,红塔山的平均相似度为 64.96%。由此可见,即使同一品牌的样品,因为承印的印刷厂不同,批次之间的差异也很大,印刷厂的数量越多,批次间的相似性越离散。说明 QC 比较法更适合于承印厂不多、油墨配方固定的品牌,对于生产量巨大,承印厂分布多的品牌而言,QC 比较法批次间差异较大,无法有效和快速地进行辨假。因此,引入马氏距离算法,将真品光谱进行聚类模型的建立,使用光谱数据的数学投影,达到区分真假光谱的目的。

2.2 样品模型建立和准确性验证

2.2.1 三品牌红色油墨一致性考察 如图 2 所示,云烟、玉溪和红塔山 3 个品牌的红外光谱图呈现出不同的出峰

表 1 云烟、玉溪、红塔山 3 个品牌真品包装之间的相似度

Table 1 The similarity results of real packaging the 3 brands including Yunyan, Yuxi and Hongtashan

项目	云烟	玉溪	红塔山
最大值	100.00	100.00	100.00
最小值	75.23	57.18	35.69
中位值	83.76	80.08	71.90
平均值	84.27	77.51	64.96
标准差	7.37	12.27	18.23

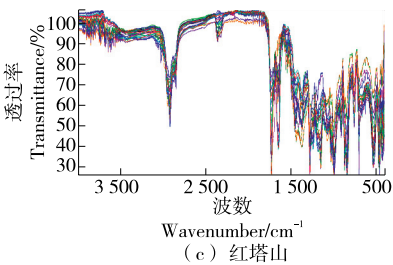
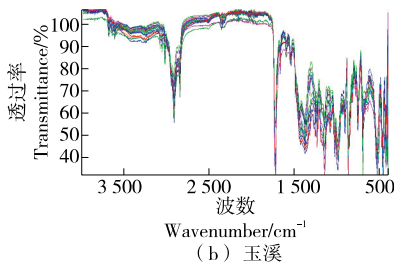
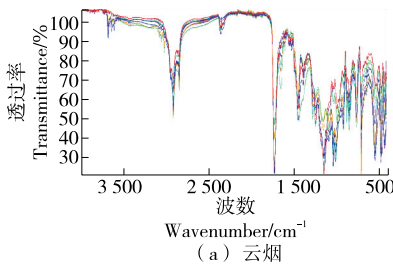


图 2 不同品牌红色油墨红外光谱

Figure 2 Red ink FTIR spectrum of different brand

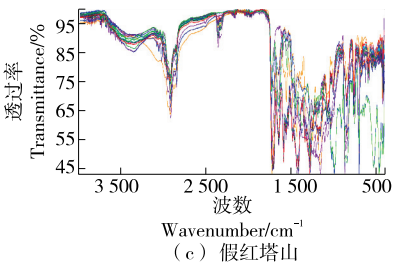
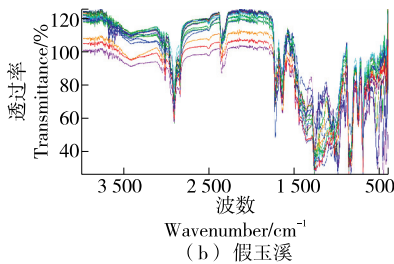
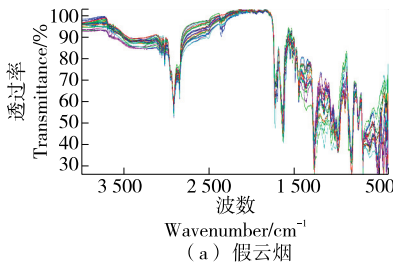


图 3 赝品红色油墨红外光谱

Figure 3 Red ink FTIR spectrum of fake

位置和分子振动吸收。其中,3 700~3 500 cm^{-1} 的吸收峰为环境中水蒸气的羟基的吸收峰和少量的磷酸盐中羟基的振动;3 500~2 800 cm^{-1} 的吸收峰为 C—H 键的吸收振动峰,峰位和峰型的不同,表明油墨的有机碳链的长短和支化类型不同;1 800~1 640 cm^{-1} 的吸收峰大多为酯基、羧基峰,此位置往往出现整个红外光谱中最强和最尖锐的吸收峰,根据该位置的峰位可以推断出所连基团的类型;1 500~800 cm^{-1} 的吸收峰为整个油墨和纸张混合谱的指纹峰,其中 1 510~1 390 cm^{-1} 的吸收峰为碳酸根的吸收峰,碳酸根来自于纸张的添加剂。

因为不同品牌所使用的红色油墨的化学结构不同,所以在设计模型的过程中,采用先分步对单一品牌建模,分别验证单一品牌模型的鉴别效果。为了提高鉴别效率,将 3 个品牌真品光谱的集合设计为粗糙集,建立混合模型。在验证步骤中,使用 60 个从市场上收集来的 3 个品牌的赝品,每个品牌各 20 张以及 3 个品牌中随机的 2 张真品分别对云烟、玉溪、红塔山 3 个单独模型和混合模型进行验证。

图 3 为 3 个品牌赝品的红外光谱图,与图 2 相比,赝品的光谱图的峰位和峰型更加杂乱,说明赝品的油墨结构差异性相当大。

2.2.2 建模及模型验证 为了除去 CO_2 [13] 和纸张中 CaCO_3 [14] 的干扰,光谱范围选取 3 段:3 200~2 700, 1 800~1 580, 801~720 cm^{-1} ,光谱经二阶导降维处理后进行聚类建模,以降维真品光谱数据的数学投影作为真集,再将验证降维光谱与真集的马氏距离代入聚类模型(见图 4)。以马氏距离判定真假,当与真集的距离为 0 时,判定为真;当距离不为 0 时,判定为假。

模型的验证集由收集到的赝品组成,其中云烟、玉溪、红塔山赝品各 20 个,随机抽取 3 个品牌的真品各两个加入到验证集中。如表 2 所示,3 个品牌单独建模的准确率均为 100%。

为提高工作效率,将 14 个云烟真品、18 个玉溪真品和 24 个红塔山真品的二阶导降维光谱载入专业的 TQ analyst 模型计算软件中,加入种类的维度,使用距离判别对样品进行聚类模型(见图 5)的建立,光谱范围选

择:3 200~2 700,1 800~1 580,801~720 cm^{-1} 。准确性的判定基于同类型的马氏距离和种类的归属,只有当两项均满足符合条件时才可判定样品是否为真品。将云烟、玉溪、红塔山赝品各 20 个包装纸油墨的红外光谱图代入模型计算,结果如表 3 所示,其判定结果准确率达到 100%。说明使用该模型可以对云烟、玉溪和红塔山 3 个品牌的样品进行快速的筛分,迅速确定未知样品的真伪。

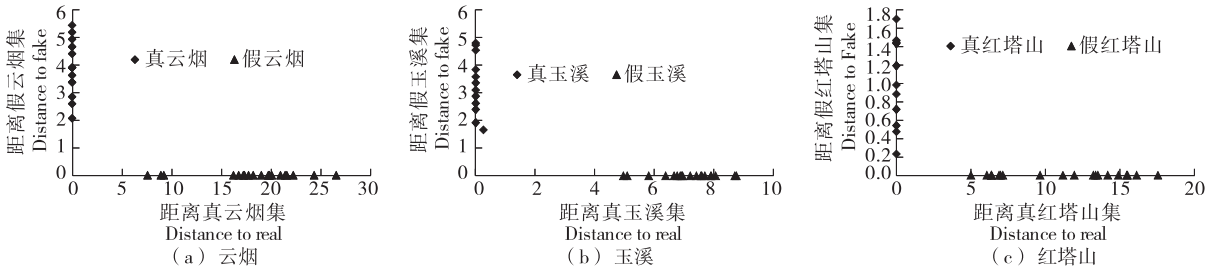


图 4 3 个品牌香烟包装纸红色油墨的单独辨假模型

Figure 4 The 3 brands' separate anti-counterfeit models of cigarette packaging paper

表 2 云烟、玉溪、红塔山 3 个品牌单独辨假模型验证结果

Table 2 Verification results of the 3 brands' separate anti-counterfeit model including Yunyan, Yuxi and Hongtashan

序号	云烟		玉溪		红塔山	
	马氏距离	判定结果	马氏距离	判定结果	马氏距离	判定结果
J-1	24.35	假	8.07	假	6.87	假
J-2	16.22	假	6.88	假	5.03	假
J-3	21.42	假	7.21	假	17.58	假
J-4	21.57	假	8.72	假	13.39	假
J-5	18.99	假	6.92	假	13.55	假
J-6	26.53	假	6.39	假	11.95	假
J-7	20.97	假	7.57	假	9.64	假
J-8	20.07	假	6.67	假	6.40	假
J-9	19.72	假	8.75	假	13.23	假
J-10	19.86	假	7.90	假	7.14	假
J-11	22.21	假	7.41	假	15.45	假
J-12	17.31	假	6.76	假	15.52	假
J-13	17.73	假	6.96	假	14.19	假
J-14	18.18	假	7.61	假	14.88	假
J-15	19.81	假	7.69	假	16.12	假
J-16	17.19	假	7.91	假	6.36	假
J-17	9.23	假	5.82	假	6.99	假
J-18	8.94	假	5.08	假	11.16	假
J-19	7.55	假	4.97	假	6.09	假
J-20	16.72	假	7.73	假	6.87	假
Z-1	0.00	真	0.00	真	0.00	真
Z-2	0.00	真	0.00	真	0.00	真

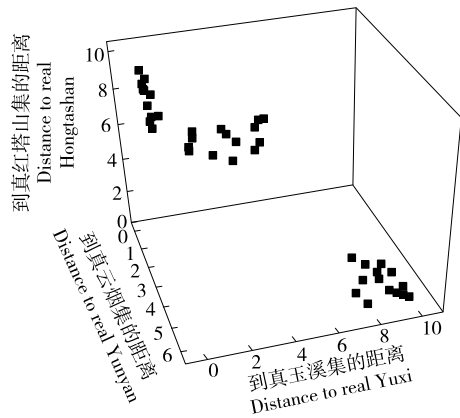


图5 3个品牌香烟包装纸红色油墨的混合辨假模型
Figure 5 The 3 brands' mix anti-counterfeit model

表3 混合辨假模型验证结果

Table 3 Verification results of the 3 brands' mix Anti-counterfeit model

编号	云烟	玉溪	红塔山	编号	云烟	玉溪	红塔山
J-1	假	假	假	J-12	假	假	假
J-2	假	假	假	J-13	假	假	假
J-3	假	假	假	J-14	假	假	假
J-4	假	假	假	J-15	假	假	假
J-5	假	假	假	J-16	假	假	假
J-6	假	假	假	J-17	假	假	假
J-7	假	假	假	J-18	假	假	假
J-8	假	假	真	J-19	假	假	假
J-9	假	假	假	J-20	假	假	假
J-10	假	假	假	Z-1	真	真	真
J-11	假	假	假	Z-2	真	真	真

3 结论

研究从承印厂较多的3个品牌的卷烟包装纸上的红色油墨入手,采用衰减全反射(ATR)方式对红色油墨部分进行红外光谱采集,使用马氏距离法分别建立了3个品牌的聚类模型和混合模型,通过每品牌各20个臆品验证其准确性后,准确率均达到100%。与传统的QC比较法相比,该组模型具有更高的准确性。

研究建立了一组具有普适性,可自动学习的辨假模型,实现了未知样品粗筛,为提高质检的工作效率提供了一种便捷的途径。在将来的工作中,可以用新品牌红色油墨的红外光谱图不断校正和扩大模型,通过模型转移和修正扩大到更广阔的品牌覆盖和质检第一线,进一步地大量采集不同厂家真品样品及不同批次假烟包装纸红外光谱,通过机器监督学习对给定的已知类别标号样本建立多分类模型,为在制售假烟新型网络案件中查获的卷烟及辅料的关联性鉴定、追踪假烟包装纸印刷窝点提供新方法。

参考文献

[1] 安舫. 包装油墨站在烟草包装防伪的第一线[J]. 中国包装工业, 2016(11): 43-44.
AN F. Packaging ink: Stand ahead of tobacco anti-falsification package[J]. China Packaging Industry, 2016(11): 43-44.

[2] 晓禾. 许昌这个印刷厂研制出的印刷磨砂烟盒技术为保密技术[J]. 广东印刷, 2020(4): 63-64.
XIAO H. The printing technology of frosted cigarette box developed by Xuchang printing factory is confidential technology[J]. Guangdong Yinshua, 2020(4): 63-64.

[3] 曾强. 烟草包装印刷的技术创新及应用[J]. 印刷质量与标准化, 2009(1): 9-11.
ZENG Q. Technological innovation and application of tobacco packaging and printing[J]. Printing Quality and Standardization, 2009(1): 9-11.

[4] 姚超恒. 制售假烟犯罪案件的侦防对策研究: 以79起案件报道和5811份裁判文书为分析样本[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2021, 18(2): 86-89.
YAO C H. Research on the investigation and prevention countermeasures of the crime of manufacturing and selling counterfeit cigarettes: Taking 79 case reports and 5 811 judgment documents as analysis samples[J]. Journal of Hubei University of Economics (Humanities and Social Sciences), 2021, 18(2): 86-89.

[5] 张翼鹏, 李超, 赵敏, 等. 基于近红外光谱法的卷烟包装材料色差分析[J]. 烟草科技, 2016, 49(2): 75-81.
ZHANG Y P, LI C, ZHAO M, et al. Analysis of color difference of cigarette packaging material based on near-infrared spectroscopy[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(2): 75-81.

[6] 潘妮琥, 姚柏松, 吴礼松, 等. 卷烟商标纸印刷技术特征在卷烟真伪鉴别中的应用[J]. 轻工科技, 2012(12): 96-98.
PAN N H, YAO B S, WU L S, et al. Application of technical characteristics of cigarette trademark paper printing in cigarette authenticity identification[J]. Light Industry Science and Technology, 2012, 169(12): 96-98.

[7] 聂磊, 别振英, 朱友, 等. 基于烟用材料的衰减全反射红外光谱无损鉴别真假卷烟[J]. 烟草科技, 2019, 52(5): 31-39.
NIE L, BIE Z Y, ZHU Y, et al. Non-destructive discrimination of genuine and fake cigarettes by attenuated total reflection infrared spectroscopy based on cigarette packaging materials[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(5): 31-39.

[8] 尹凤武. 加强烟草企业监管保障烟草市场稳定发展[J]. 老字号品牌营销, 2021(7): 15-16.
YIN F W. Strengthening the supervision of tobacco enterprises to ensure the stable development of tobacco market[J]. Time Honored Brand Marketing Magazine, 2021(7): 15-16.

[9] 白庆旭, 候英, 杨盼盼, 等. 基于近红外光谱技术的天麻产地鉴别方法[J]. 西部林业科学, 2021, 50(3): 124-130.
BAI Q X, HOU Y, YANG P P, et al. Identification method of the production site of gastrodia elata blume based on near infrared spectroscopy[J]. Journal of West China Forestry Science, 2021, 50(3): 124-130.

(下转第181页)

- [9] 耿得蓉, 刘松奇, 熊坤艳, 等. 雪莲果叶总黄酮超声波辅助酶法提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2011, 37(2): 179-185.
- JI D R, LIU S Q, XIONG K Y, et al. Ultrasonic enzymatic extraction of total flavonoids from *Saussurea involucre* leaves and its antioxidant capacity analysis[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 179-185.
- [10] QU Y, YANG Z G, LI H, et al. Ultrasound-assisted enzymatic extraction method for multi-element analysis of rice r[J]. Food Analytical Methods, 2021, 3: 1 549-1 555.
- [11] MARWAN M A, ADBULJALIL D S, LI J P. Enhancement of mass transfer intensification for essential oil release from *lavandula pubescence* using integrated ultrasonic-microwave technique and enzymatic pretreatment [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2018, 6(2): 1 639-1 649.
- [12] 汪开拓, 马莉, 卢霞. 超声波辅助提取葡萄皮渣中白藜芦醇工艺的优化研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(3): 1 201-1 206.
- WANG K T, MA L, LU X. Study on process optimization of ultrasonic-assisted extraction of resveratrol from grape Skin dreg[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(3): 1 201-1 206.
- [13] ZHOU L F, JIANG B, ZHANG T, et al. Ultrasound-assisted aqueous two-phase extraction of resveratrol from the enzymatic hydrolysates of *Polygonum cuspidatum*[J]. Food Bioscience, 2019, 31(11): 100 442-100 451.
- [14] 黄兆翔, 庞道睿, 王卫飞, 等. 超声波辅助酶法提取花生红衣中白藜芦醇的工艺优化[J]. 中国油脂, 2022, 45(2): 122-126.
- HUANG Z X, PANG D R, WANG W F, et al. Optimization of extracting resveratrol from peanut skin by ultrasound-assisted enzymolysis[J]. China Oils and Fats, 2022, 45(2): 122-126.
- [15] 李晓静, 韩宗元, 穆雪姣, 等. 超声波法提取香蕉皮单宁及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 120-123.
- LI X J, HAN Z Y, MU X J, et al. Ultrasonic extraction of tannin from banana peel and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 120-123.
- [16] O'SULLIVAN J, MURRAY B, FLYNN C, et al. Comparison of batch and continuous ultrasonic emulsification processes [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 167: 114-121.
- [17] 李嘉欣, 孟斌斌, 朱凯. 樟树叶精油组成分析及抗氧化活性研究[J]. 林产化学与工业, 2020, 40(1): 84-90.
- LI J X, MENG B B, ZHU K. Components and antioxidant activity of camphor leaves essential oil [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2020, 40(1): 84-90.
- [18] 贺银菊, 张旋俊, 杨再波, 等. 响应面优化艾叶多酚提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 278-284.
- HE Y J, ZHANG X J, YANG Z B, et al. Antioxidant activity and optimization of extraction of polyphenols in the *artemisia argyi* by response surface methodology [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(6): 278-284.
- [19] 王慧娟, 吴正奇, 黄梦萍, 等. 乙醇预处理水酶法提取牡丹籽油的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(12): 135-137.
- WANG H J, WU Z Q, HUANG M P, et al. Optimization of ethanol pretreatment of aqueous enzymatic extraction of peony seed oil[J]. Food Research and Development, 2020, 41(12): 135-137.
- [20] LIN J A, KUO C H, CHEN B Y, et al. A novel enzyme-assisted ultrasonic approach for highly efficient extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum*[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2016, 32: 258-264.
- [21] CARLOS S, NIEVES C, AGUSTÍN O, et al. Enzymatic extraction of pectin from artichoke (*Cynara scolymus* L.) by-products using Celluclast® 1.5L[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 190: 43-49.
- [22] 邓姣, 刘鑫, 郑敏, 等. 静电纺丝制备白藜芦醇固体分散体及其性能[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 80-86.
- DENG J, LIU X, ZHENG M, et al. Preparation of resveratrol solid dispersion by electrospinning and its properties[J]. Food Science, 2021, 42(21): 80-86.
- [23] 肖卓炳, 赵艺楠, 刘建兰, 等. 非等温热分析法研究白藜芦醇及其苷的熔点、热稳定性及分解动力学[J]. 分析测试学报, 2015, 34(10): 1 119-1 125.
- XIAO Z B, ZHAO Y N, LIU J L, et al. Study on melting point, thermal stability and decomposition kinetics of resveratrol and piceid by the non-isothermal analysis[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2015, 34(10): 1 119-1 125.

(上接第 135 页)

- [10] 郝勇, 温钦华, 饶敏, 等. 基于便携式近红外光谱仪的食品接触性塑料鉴别[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 124-127.
- HAO Y, WEN Q H, RAO M. Research on plastic material identification based on portable near infrared spectrometer[J]. Food & Machinery, 2018, 34(4): 124-127.
- [11] 祝诗平, 王一鸣, 张小超, 等. 近红外光谱建模异常样品剔除准则与方法[J]. 农业机械学报, 2004(4): 115-119.
- ZHU S P, WANG Y M, ZHANG X C, et al. Outlier sample eliminating criteria and methods for building calibration model of near infrared spectroscopy analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004(4): 115-119.
- [12] 刘翠玲, 胡玉君, 吴胜男, 等. 近红外光谱奇异样本剔除方法研究[J]. 食品科学技术学报, 2014, 32(5): 74-79.
- LIU C L, HU Y J, WU S N, et al. Outlier sample eliminating methods for building calibration of near infrared spectroscopy analysis[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 32(5): 74-79.
- [13] 卢涌泉, 邓振华. 实用红外光谱解析[M]. 北京: 电子工业出版社, 1989: 18-19.
- LU Y Q, DENG Z H. Practical infrared spectroscopy analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1989: 18-19.
- [14] 许昆, 王菊琳, 何秋菊. 胶矾水中明矾对宣纸中纤维素、碳酸钙和明胶的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(6): 1 829-1 833.
- XU K, WANG J L, HE Q J. The influence of alum in alum gelatin solution on cellulose, calcium carbonate and gelatin in XUAN paper[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2018, 38(6): 1 829-1 833.