

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.01.023

陈秀明, 梁浩新, 黄伟强, 等. 微晶纤维素掺假的快速鉴别方法[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(1): 181-188.

CHEN X M, LIANG H X, HUANG W Q, et al. A rapid identification method for adulteration of microcrystalline cellulose[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(1): 181-188.

微晶纤维素掺假的快速鉴别方法

陈秀明, 梁浩新✉, 黄伟强, 奚星林, 李 双, 张嘉俊

(广州海关技术中心, 广东 广州 510623)

摘 要: 研究了微晶纤维素掺假的近红外光谱快速鉴别方法。基于微晶纤维素样品及掺假物(可溶性淀粉, 小麦粉)的近红外光谱数据, 分别创建材料谱数据库及掺假物光谱数据库, 建立微晶纤维素分类模型及掺假物模型, 采用 Adulterant Screen 算法技术进行计算分析, 创建了微晶纤维素掺假快速鉴别方法。微晶纤维粉单一组份掺假的识别最低检出含量为: 可溶性淀粉 2%、小麦粉 1%, 双组分(可溶性淀粉+小麦粉)掺假量在单组份掺假检出限浓度的 2~10 倍时, 准确的识别率均为 100%, 对未知样品微晶纤维素在检出限以上的准确识别率为 100%。该方法简单、快速、可靠, 可快速鉴别微晶纤维素样品的掺假, 可以有效地应用于日常微晶纤维素样品的掺假检测和鉴定, 为海关打击逃税漏税行为提供有力的技术支持。

关键词: 微晶纤维素; 掺假; 快速; 鉴别

中图分类号: TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)01-0181-08

A Rapid Identification Method for Adulteration of Microcrystalline Cellulose

CHEN Xiu-ming, LIANG Hao-xin✉, HUANG Wei-qiang, XI Xing-lin, LI Shuang, ZHANG Jia-jun
(Guangzhou Customs Technology Center, Guangzhou, Guangdong 510623, China)

Abstract: A rapid identification method of microcrystalline cellulose adulteration by near infrared spectroscopy was studied. Based on the near-infrared spectrum data of microcrystalline cellulose samples and adulterants (soluble starch, wheat flour), the material spectrum database and the adulterant spectrum database were created respectively, and the microcrystalline cellulose classification and the adulterant models were also established. A rapid identification method for microcrystalline cellulose adulteration was established by using the Adulterant Screen algorithm technology for calculation and analysis. The minimum detected content of single component adulteration of microcrystalline fiber powder was 2% soluble starch and 1% wheat flour, and the accurate recognition rate was 100%. When the adulteration of two components (soluble starch + wheat flour) was two to ten times of the detection limit concentration of one component, the accurate recognition rate was 100%. The accurate recognition rate of unknown sample microcrystalline cellulose above the detection limit is 100%. The method is simple, rapid and reliable, and can quickly identify adulteration of microcrystalline cellulose samples. It can be effectively applied to the adulteration detection

收稿日期: 2022-09-14

基金项目: 海关总署科研项目(2020HK190)

Supported by: Research Project of General Administration of Customs (No. 2020HK190)

作者简介: 陈秀明, 女, 1979 年出生, 本科, 高级工程师, 研究方向为食品安全与检测。E-mail: amy_cxm@163.com.

通讯作者: 梁浩新, 男, 1995 年出生, 本科, 助理工程师, 研究方向为食品安全与检测。E-mail: 1439360962@qq.com.

and identification of daily microcrystalline cellulose samples, which could provide technical support for the customs to crack down on tax evasion and evasion.

Key words: microcrystalline cellulose; the adulteration; rapidly; identification

早期食品掺假掺杂鉴别多数采用感官检验方式,通过形状、气味、质地等感官特征,对食品的真实性进行检验。随着掺假掺杂的水平不断提高,原有的掺假鉴定方法已无法应对层出不穷的掺假行为。随着检测技术的不断发展,其中近红外光谱技术在食品真实性鉴别及检测方面得到广泛的应用。近红外光谱技术是一种便捷、高效、无损检测技术,广泛应用于石油、化学、制药、农业、食品等行业^[1-3],同时也有效运用于掺假鉴定领域中。

国内在真伪鉴别方面重点领域主要是中药材和药食同源的鉴别,在食品领域的鉴别报导有限,一般研究重点商品是蜂蜜、蜂胶、燕窝、水产品、畜禽肉等。对海关执法中遇到的一些特殊农食产品没有报导,根据《中国科技成果数据库》《国家科技成果库》《中文科技期刊数据库》等多种数据库查新结果,未查询到微晶纤维素等农食产品真假鉴别和品名鉴别科研成果报导。

微晶纤维素是一种纯化的、部分解聚的纤维素,白色、无臭、无味,由多孔微粒组成的结晶粉末,主要成分为以 β -1,4-葡萄糖苷键结合的直链式多糖类物质。在食品行业内,微晶纤维素是生产新型可食纤维最理想的保健食品添加剂,已得到粮农组织和世卫组织的国际食物添加剂统一认证委员会的认可与许可,应用于生产乳制品、冷冻食品、肉制品及饮料等,也广泛应用于医药卫生、化妆品、轻化工业等国民经济部门,国内市场需求量极大。因此,为牟取暴利的供应商在微晶纤维素中加入价格便宜的可溶性淀粉、小麦粉等以代替微晶纤维素的多糖成分,已达到以假乱真,从而获取差额利润的现象是极有可能出现的。

而海关作为监管部门建立技术储备方法,防范于未然,防止可能出现的掺假现象是势在必行的,也为海关打击逃税漏税行为的监管提供强有力的技术支持。因此,根据微晶纤维素的多糖组成成分分析,本文选取的掺假物为可溶性淀粉及

小麦粉。

另外,现有的微晶纤维素含量的检测方法是根据 GB 1886.103—2015《食品安全国家标准 食品添加剂 微晶纤维素》,通过测定碳水化合物含量(纤维素计算,以干基计)来计算微晶纤维素的含量,该方法为常规化学法,较为费时费力,不能达到快速完成大量样品的检测,也无法判断出是否掺假,掺了什么物质。其次,对于经济利益驱使的掺假行为来说,ppm 量级水平掺假基本上是无利可图的,确实掺假的样品中掺假物质的含量应该更高^[4],因此海关作为监管部门需做到尽快技术储备,技术防范,建立一种防止高含量经济型掺假的快速初筛方法,防止可能出现的掺假现象是迫切需要的。本文是运用近红外光谱技术创建的一种微晶纤维素掺假的快速鉴别方法,实现了可溶性淀粉,小麦粉等掺假物的快速鉴别,方法简单、快速、可靠,可以有效地应用于日常微晶纤维素样品的掺假检测和鉴定,同时为海关打击逃税漏税行为提供强有力的技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

收集微晶纤维素样品(市售),共 100 个,收集可溶性淀粉(分析纯 AR),小麦粉等 2 种掺假物。

1.2 仪器与设备

近红外光谱分析仪:美国珀金埃尔默。光源为 NIR,分光器为 CaF_2 ,检测器为 NIR TGS^[4-5],配备 NIRA II 漫反射附件。采用 Spectrum Touch 化学计量学分析软件采集数据,数据采集间隔为 8 cm^{-1} ,分辨率为 4 cm^{-1} 。

1.3 实验方法

1.3.1 样品的划分

100 个微晶纤维素样品中,分出校正用的样品 45 个,用于验证的样品 25 个,取 11 个作为模拟掺假样品,随机抽取微晶纤维素样品中的 6 份用作空白待测样品,13 个用作未知样品。

1.3.2 掺假样品的制备

取 8 个微晶纤维素样品分成两份,一份为可溶性淀粉的添加水平:2%、5%、10%、15%、20%、30%、40%,每个含量做 6 份平行样。一份为小麦粉的添加水平:1%、2%、5%、10%、15%、20%、30%、40%,每个含量做 6 份平行样。每个样品约 20 g。另外取 3 个微晶纤维素样品,模拟掺入可溶性淀粉和小麦粉双组分,添加含量水平为单组分掺假检出限 2、5、10 倍 3 个梯度水平,每个含量水平制备 6 份平行样。

1.3.3 采集样品及掺假物光谱数据

环境要求:温度(20 ± 1) °C,相对湿度为 45%±5%,光谱扫描范围为 $10\,000 \sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$,每次扫描次数 32 次,实时扣除空气中的水和二氧化碳的强吸收。取样时,在装好的样品上用特制的圆形铁块轻轻压实,可以减少样品不均匀带来的误差^[4-7],每个样品采集 2 次光谱数据。

1.3.4 光谱的预处理

为了消除样品光谱信号的基线漂移、高频噪声、杂散光、样品背景等因素^[8-10],本文采用相应的光谱预处理方法来降低非目标因素对光谱的影响。运用 Spectrum FTIR 分析软件采集微晶纤维素光谱数据后,对样品光谱数据进行一阶求导预处理,从而有效滤除各类因素产生的高频噪音。

1.3.5 建立的微晶纤维素掺假快速鉴别模型

微晶纤维素掺假物快速鉴定模式的构建。首先材料光谱模型构建:先采集 70 个微晶纤维素试样的光谱数据,分出 45 个作为校正用光谱数据,25 个作为验证用光谱数据,导入到“微晶纤维素样品模型”中即可。掺假物光谱模型构建:将采集到的两种掺假物得到的光谱图导入到“掺假物模型”中,即为掺假物光谱数据库。将以上两组光谱库导入 Spectrum FTIR 分析软件中^[6-7],采用 Adulterant Screen 算法进行计算分析,即完成微晶纤维素掺假快速鉴别模型的建立。

Adultrant screen 是专门运用于鉴别复杂基质中任意潜在掺假成分,该法保留了 SIMCA 等非靶向化学计量学方法的优点^[6-7],且通过对已建立的潜在掺杂组分光谱数据库进行计算分析,来获得更高的灵敏度^[6-7]。即当采集一个待测样品光谱

后,Adulterant Screen 先将待测样品与标准样品的主成分(PCA)模型进行比较与分析,如有可疑,该算法会将各种潜在掺假成分的光谱扩展到该模型中,如果在模型中增加某种掺假成分光谱后,待测样品光谱与其拟合程度得到明显增加,表明该样品含有某种掺假成分^[6-7,9-10,13]。该算法输出结果是掺假成分的估算浓度、检测限及置信度指标,置信度指标:可能、有可能、非常可能,显示的是该掺假成分实际存在的可能性大小,掺假物能准确识别且可信度为“可能”时,可以定义为最低检出限^[6-7,9-10,13]。

1.4 数据分析

运用 Spectrum FTIR 软件对实验样品进行采集分析,并采用 Adulterant Screen 算法对实验数据进行计算分析,建立微晶纤维素掺假快速鉴别模型。

2 结果及分析

2.1 微晶纤维素-可溶性淀粉掺假鉴别结果分析

由表 1 可见,所有模拟掺假的微晶纤维素样品光谱数据经 Adulterant Screen 计算处理后,结果为:第一、验证全部符合,均鉴别出主成分为微晶纤维素样品,第二、进行验证时,空白样品结果均为符合,并与微晶纤维素材料光谱匹配正常,而掺入可溶性淀粉含量 1%时,验证结果也为符合,与材料光谱匹配正常,错判为空白样品,无法实现含量 1%掺假可溶性淀粉的准确识别。其它均为验证不符合,与微晶纤维素材料光谱匹配异常,掺入可溶性淀粉含量 2%、5%、10%、15%、20%、30%及 40%,每个含量的 6 个平行测试样品均能准确鉴别出掺假成分为可溶性淀粉,掺假的识别率为 100%,当掺假含量为 5%、10%、15%、20%、30%时所给出的置信度指标为“很可能”,掺假含量为 40%时所给出的置信度指标为“非常可能”,而掺假含量为 2%时给出的置信度指标为“可能”,因此,根据方法置信度指标判断方法,可以确定为本方法的最低检出限为 2%。图 1 为 45 个微晶纤维素叠加近红外光谱图。掺假物光谱采集与样品光谱采集同理,图 2 为掺假物近红外光谱图。

表 1 掺入不同含量可溶性淀粉的微晶纤维素检测结果

可溶淀粉含量/%	第一	第二	掺假物	置信度指标	材料匹配性	掺假物的识别率
0 (空白)	符合	符合	无掺杂物	—	正常	6/6
1	符合	符合	无掺杂物	—	正常	0/6
2	符合	不符合	可溶性淀粉	可能	异常	6/6
5	符合	不符合	可溶性淀粉	很可能	异常	6/6
10	符合	不符合	可溶性淀粉	很可能	异常	6/6
15	符合	不符合	可溶性淀粉	很可能	异常	6/6
20	符合	不符合	可溶性淀粉	很可能	异常	6/6
30	符合	不符合	可溶性淀粉	很可能	异常	6/6
40	符合	不符合	可溶性淀粉	非常可能	异常	6/6

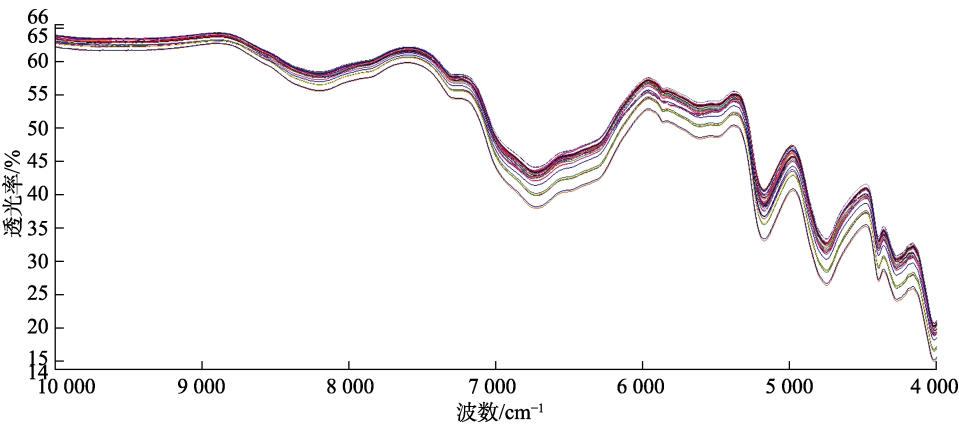


图 1 45 个微晶纤维素样品叠加近红外光谱图

Fig.1 Superimposed near infrared spectra of 45 microcrystalline cellulose sample

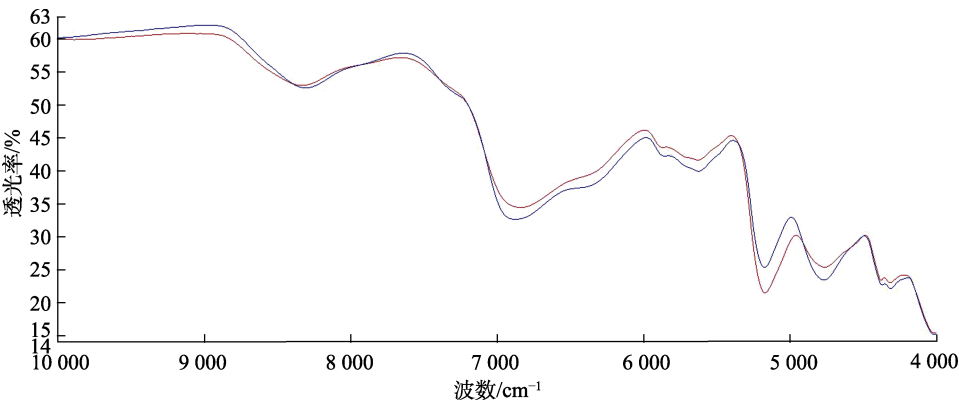


图 2 掺假物近红外光谱图

Fig.2 Near infrared spectroscopy of adulterants

以掺入 5%可溶性淀粉的微晶纤维素样品为例分析结果：首先，分析结果为符合，说明样品主成分为微晶纤维素；将模拟掺假样品光谱与微晶纤维素标准样品的主成分（PCA）模型进行比较，如图 3 所示的“拟合的掺假光谱图”，其次，验证结果不符合，掺假样品与标准样品拟合后产生较大的残差光谱，同时，Adulterant Screen 算法

会将残差光谱扩展到该模型中，如果模型扩展后，残差光谱与掺假物可溶性淀粉拟合程度有明显增大，说明该样品含有掺假成分，见图 4~5，此时 Adulterant Screen 算法还能快速将残差光谱与掺假数据库进行比较及计算分析，最后准确鉴别出掺假物为可溶性淀粉，并给出置信度指标为“很可能”，即完成了掺假物有效的鉴别。

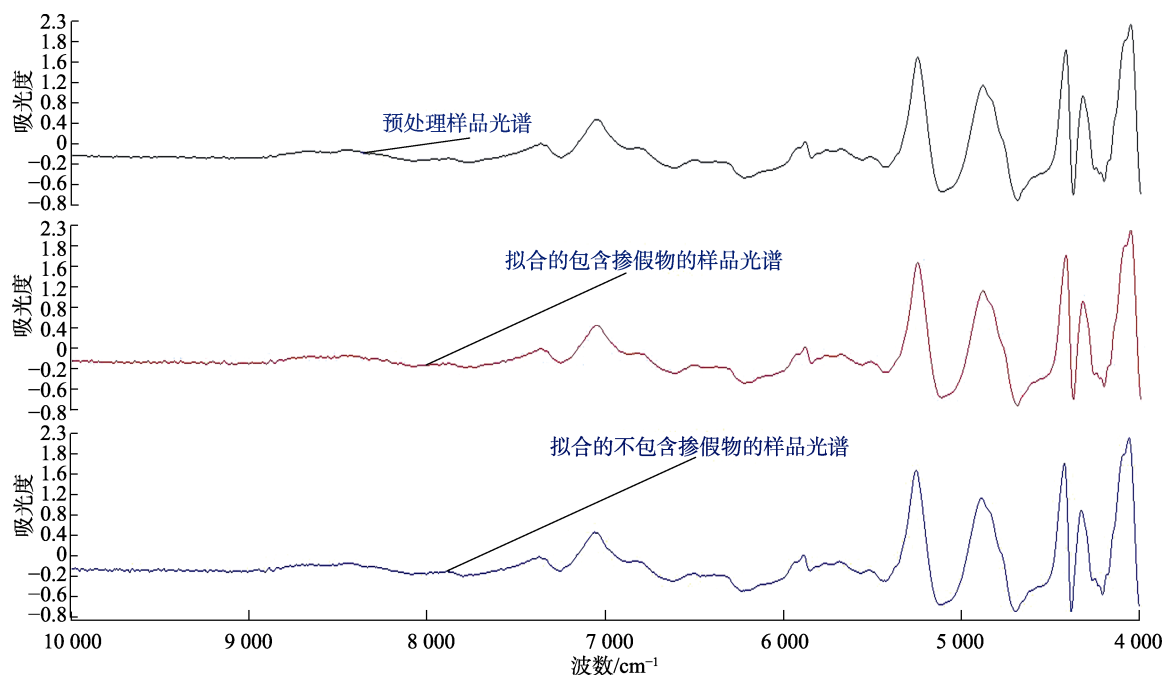


图 3 微晶纤维素样品掺假 5%可溶性淀粉拟合光谱图

Fig.3 Fitting spectrogram of adulterated 5% soluble starch of microcrystalline cellulose samples

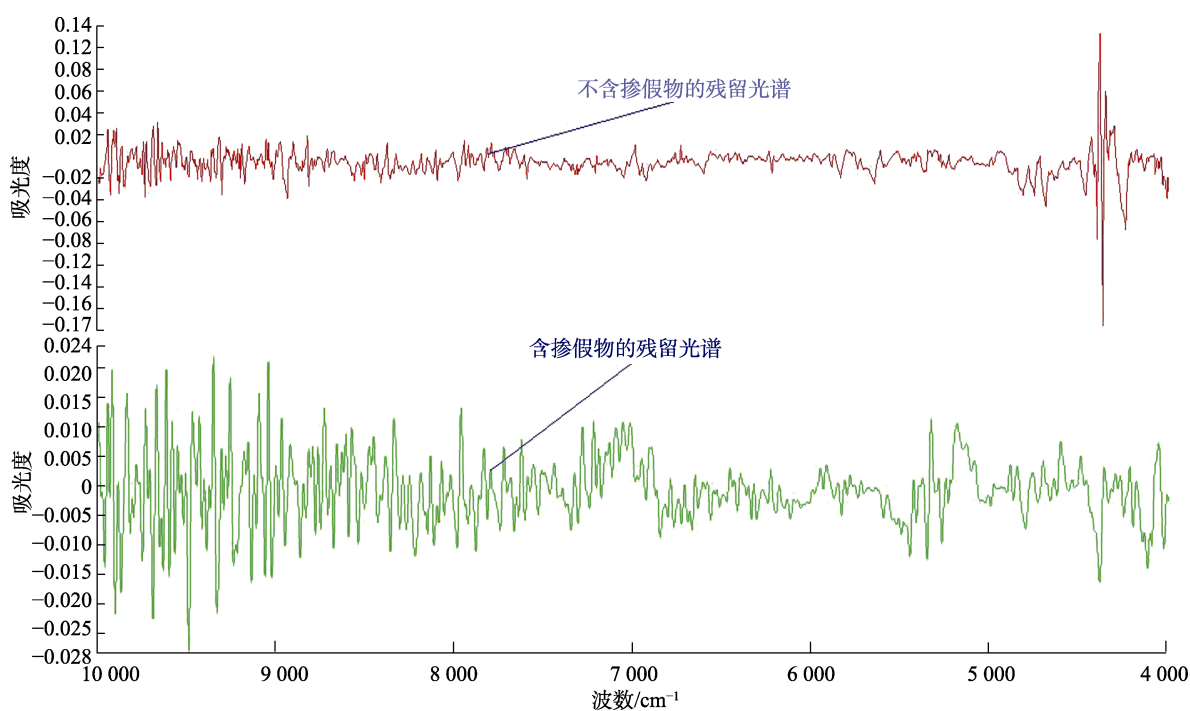


图 4 微晶纤维素样品掺假 5%可溶性淀粉的残留光谱图

Fig.4 Residual spectra of microcrystalline cellulose samples adulterated with 5% soluble starch

2.2 微晶纤维素-小麦粉掺假鉴别结果分析

由表 2 我们可以得知,模拟掺假样品光谱数据经 Adulterant Screen 计算处理后,均识别主成分为微晶纤维素样品,分析结果:第一、验证为符合。第二、验证时空白样品结果为符合,并与

微晶纤维素材料光谱匹配正常,而掺入小麦粉含量 0.5%时,验证结果也为符合,与材料光谱匹配正常,错判为无掺假样品,无法实现含量 0.5%掺假小麦粉的准确识别。其他含量掺假样品均为验证为不符合,并与微晶纤维素材料光谱匹配异

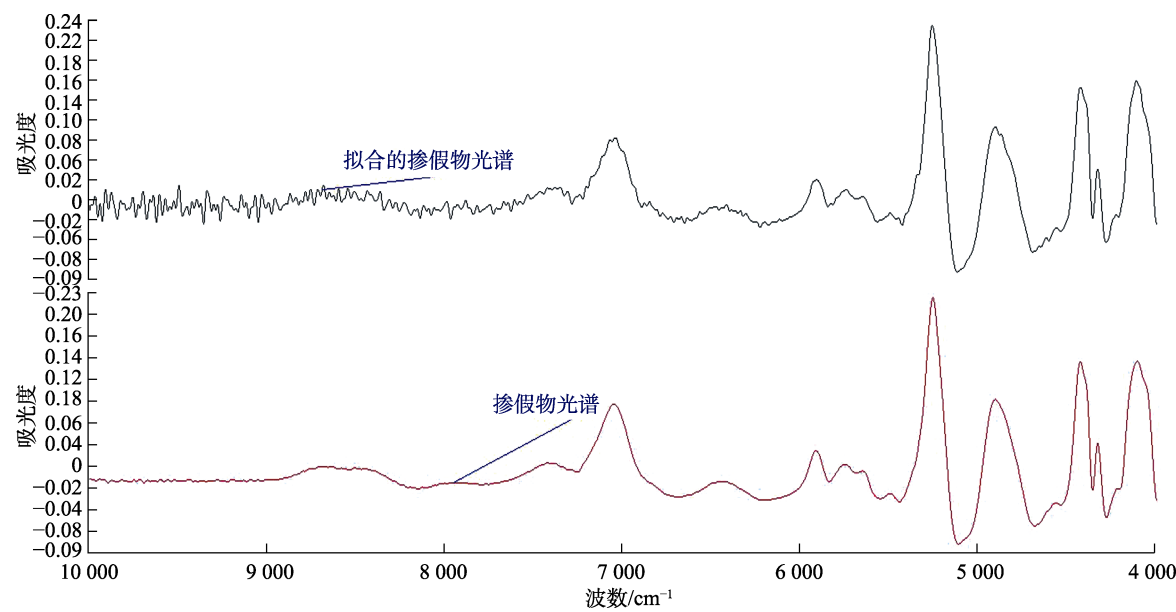


图 5 微晶纤维素样品掺假 5%可溶性淀粉光谱图
Fig.5 Spectra of microcrystalline cellulose sample adulterated with 5% soluble starch

表 2 掺入不同含量小麦粉的微晶纤维素检测结果

Table 2 Detection results of microcrystalline cellulose mixed with different contents wheat flour						
小麦粉含量/%	第一	第二	掺假物	置信度指标	材料匹配性	掺假物的识别率
0 (空白)	符合	符合	无掺假物	—	正常	6/6
0.5	符合	符合	无掺假物	—	正常	0/6
1	符合	不符合	小麦粉	可能	异常	6/6
2	符合	不符合	小麦粉	很可能	异常	6/6
5	符合	不符合	小麦粉	非常可能	异常	6/6
10	符合	不符合	小麦粉	非常可能	异常	6/6
15	符合	不符合	小麦粉	非常可能	异常	6/6
20	符合	不符合	小麦粉	非常可能	异常	6/6
30	符合	不符合	小麦粉	非常可能	异常	6/6

常，掺入小麦粉含量 1%、2%、5%、10%、15%、20%及 30%，每个含量的 6 个平行测试样品均能准确识别掺假成分，并准确的识别为小麦粉，掺假的识别率达 100%。同时，当掺假含量为 1%时，分析结果的置信度指标为“可能”，因此，根据方法置信度指标判断方法及实验结果可知，小麦粉在微晶纤维素中掺假的检出限为 1%。

2.3 双组分掺假样品的鉴别结果与分析

掺假双组分的微晶纤维素样品，为模拟掺入

可溶性淀粉和小麦粉两个组分，掺入含量水平为单组分掺假检出限的 2、5 及 10 倍 3 个梯度水平含量，每个含量做 6 次平行测试^[25]，实验方法与单组分掺假样品同理。鉴别结果如表 3 所示，3 组掺假样品的 18 个数据中，2%小麦粉+2%可溶性淀粉、5%小麦粉+5%可溶性淀粉、10%小麦粉+10%可溶性淀粉均能做到准确识别，并能准确判断为“小麦粉+可溶性淀粉”两种成分，且置信度指标为可能、非常可能，掺假的识别率为 100%，

表 3 掺有不同含量小麦粉与可溶性淀粉混合的微晶纤维素检测结果

Table 3 Detection results of microcrystalline cellulose mixed with different contents of wheat flour and soluble starch						
双组分含量	第一	第二	掺假物	置信度指标	材料匹配性	掺假的识别率
2%可溶性淀粉+2%小麦粉	符合	不符合	小麦粉+淀粉	可能	异常	6/6
5%可溶性淀粉+5%小麦粉	符合	不符合	小麦粉+淀粉	非常可能	异常	6/6
10%可溶性淀粉+10%小麦粉	符合	不符合	小麦粉+淀粉	非常可能	异常	6/6

由此可见, Adulterant Screen 算法对于双组分掺假识别效果与单组分等效, 同样可以适用日常掺假鉴别工作。

2.4 未知样品的鉴别结果分析

13 个未知微晶纤维素中, 正确识别出无掺假物的有 11 个, 识别率为 85%; 识别出为其他掺杂物, 即错误识别为“可溶性淀粉”, 置信度为“不太可能”的有 2 个, 占比 15%。根据方法置信度指标判断方法, 及识别给出的置信度可知, 其中 2 个置信度为“不太可能”均为检出限以下, 低于检出限的鉴别结果是在本方法最低鉴别灵敏度之下, 结果属于无法准确判定, 不在本方法的技术讨论范围之中。因此, 可以判定未知样品微晶纤维素在检出限以上的准确识别率为 100%。

3 结论

本文通过研究, 运用近红外光谱技术结合 Adulterant Screen 算法创建微晶纤维素的快速鉴定方法。通过实验我们可知: 可溶性淀粉掺假含量 2%、5%、10%、15%、20%、30% 及 40% 的掺假微晶纤维素均可快速鉴别出掺假物, 并能准确的识别出掺假物为可溶性淀粉, 掺假的识别率可达 100%, 而掺入可溶性淀粉含量 1% 时, 验证结果也为符合, 与材料光谱匹配正常, 判别为空白无掺假样品, 无法实现含量 1% 掺假可溶性淀粉的准确鉴别。因此, 根据置信度指标判断方法, 可溶性淀粉掺假的最低检出限为 2%; 小麦掺假含量 1%、2%、5%、10%、15%、20%、30% 的每个样品, 均能准确识别出掺假物为小麦粉, 掺假的识别率为 100%, 而掺入小麦粉含量 0.5% 时, 验证结果也为符合, 与材料光谱匹配正常, 错判为无掺假样品, 无法实现含量 0.5% 掺假小麦粉的准确识别。因此, 小麦粉掺假的最低检出限为 1%。

本方法中可溶性淀粉掺假及小麦粉掺假的最低检出限存在高低差异, 是经过多次实验测试得出, 原因是可溶性淀粉和小麦粉在近红外谱区光谱的重叠性和不连续性的不同, 且与微晶纤维素的近红外光谱的重叠性程度有所不同, 从而产生一定的光谱差异性, 导致鉴别结果的不同。另外, 方法对未知样品微晶纤维素在检出限以上的准确

识别率为 100%。运用近红外光谱技术创建的微晶纤维素快速鉴别方法, 所采用的 Adulterant Screen 算法保留了 SIMCA 等非靶向化学计量学方法的优点^[13], 且不用耗时去建立偏最小二乘 (PLS) 校正模型, 只要通过简单快速的计算及调整即可, 同时通过已建立的潜在掺杂组分光谱数据库进行计算分析, 就可以获得更高的灵敏度^[13]。

因此, 本研究创建的微晶纤维素掺假快速鉴别方法, 能实现快速鉴别可溶性淀粉、小麦粉等掺假物, 方法简单、快速、可靠, 为防止高含量经济型掺假提供了一种便捷、快速初筛的方法, 也可以有效地应用于日常微晶纤维素样品的掺假检测和鉴定, 为海关打击骗税漏税行为提供有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 齐伟杰. 现代近红外光谱分析在食品检测中的应用[J]. 中国食品, 2021(16): 124-125.
 QI W J. Application of generational near infrared spectroscopy in food detection[J]. China Food, 2021(16): 124-125.
- [2] 徐毅, 钟鹏, 赵岗, 等. 食品真实性鉴别技术研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(3): 108-119.
 XU Y, ZHONG P, ZHAO G, et al. Research progress of food authenticity authentication technology[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition) | J Henan Univ Technol(Nat Sci Ed), 2021, 42(3): 108-119.
- [3] 张欣, 刘帅, 赵洁, 等. 乌龙茶品质的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(9): 21-25.
 ZHANG X, LIU S, ZHAO J, et al. Research progress on the quality of oolong tea[J]. Food and Nutrition in China | Food Nutr China, 2020, 26(9): 21-25.
- [4] 陈秀明, 刘青, 梁浩新, 等. 基于近红外光谱对婴幼儿配方奶粉中非法添加物的快速鉴别方法[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 224-228+283.
 CHEN X M, LIU Q, LIANG H X, et al. Study on the rapid identification of illegal additives in milk powder and infant formula based on near infrared spectroscopy[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(1): 224-228+283.
- [5] 李卫群, 朱慧, 汪涓涓. 利用近红外技术判别奶粉多组分掺假的研究[J]. 饮料工业, 2017, 20(1): 29-33.
 LI W Q, ZHU H, WANG J J. Study on discrimination of milk powder adulteration by near-infrared technology[J]. The Beverage Industry, 2017, 20(1): 29-33.
- [6] 陈秀明, 奚星林, 潘丙珍, 等. 基于近红外光谱技术的咖啡掺假快速鉴别方法[J]. 现代食品科技[J], 2018, 34(10): 253-257.
 CHEN X M, XI X L, PAN B Z. Study of the rapid identification

- method of coffee adulteration based on near-infrared spectroscopy[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2018, 34(10): 253-257.
- [7] 陈秀明, 刘青, 梁浩新, 等. 近红外光谱快速检测婴幼儿配方乳粉中主要成分的方法研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2018, 30(2): 146-151.
- CHEN X M, LIU Q, LIANG H X, et al. Study of the rapid detection method of near-infrared spectroscopy of essential nutrients in infant formula[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene | Chin J Food Hygi*, 2018, 30(2): 146-151.
- [8] 褚小立, 史云颖, 陈瀑, 等. 近五年我国近红外光谱分析技术研究与应用进展[J]. *分析测试学报*, 2019, 38(5): 603-611.
- CHU X L, SHI Y Y, CHEN P, et al. Research and application progress of near infrared spectroscopy analytical technique in China in past five years[J]. *Journal of Instrumental Analysis | J Instr Anal*, 2019, 38(5): 603-611.
- [9] MAUER L J, CHEMYSHOVA A A, HIATT A, et al. Melamine detection in infant formula powder using near-and mid-infrared spectroscopy[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(10): 3974-3980.
- [10] BALABIN R M, SMIRNOV S V. Melamine detection by mid- and near-infrared (MIR/NIR) spectroscopy: A quick and sensitive method for dairy products analysis including liquid milk, infant formula and milk powder[J]. *talanta*, 2011, 85(1): 562.
- [11] PERSTON B, PACKER R. GUARD D. Augmenting nutritional testing of milk powder with Adulterant Screening[R]. Shelton, CT: PerkinElmer Inc., 2015: 16.
- [12] 张龙, 吴琦翡, 姜华年. 基于近红外光谱快速检测杏鲍菇多糖含量的研究[J]. *丽水学院学报*, 2018, 40(5): 30-35.
- ZHANG L, WU Q F, JIANG H N. Study on rapid determination of polysaccharides in pleurotus eryngii by near infrared spectroscopy[J]. *Journal of Lishui University*, 2018, 40(5): 30-35.
- [13] 徐玲玲, 李卫群, 朱慧, 等. 近红外光谱法检测奶粉掺假[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(9): 3133-3137.
- XU L L, LI W Q, ZHU H, et al. Detection of milk powder adulteration by near-infrared spectroscopy[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2016, 7(9): 3133-3137. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。