

葛根提取物中麦芽糊精的中红外快速定量分析

李燕青, 丁姗姗, 郭德慧

(烟台新时代健康产业有限公司, 山东烟台 264006)

摘要: 中药提取物因生产工艺、储存条件的要求, 需在生产过程中添加一定量的麦芽糊精。目前国内外还没有标准方法测定中药提取物中麦芽糊精的含量。本研究旨在建立一种快速检测葛根提取物混合粉末中辅料麦芽糊精含量的中红外快速测定方法, 为企业有效把握提取物质量提供技术支持。以不同麦芽糊精含量的葛根提取物混合粉末样品 88 份为实验材料, 采集已知麦芽糊精含量样品的中红外光谱, 对谱图进行基线校正和归一化预处理, 通过偏最小二乘回归方法建立定量模型。结果表明: 所建定量模型预测效果好, 预测模型稳定性强、预测精度高, 预测模型的决定系数 R^2 为 0.9819, 预测标准差为 3.205。采用中红外光谱检测技术可以快速定量葛根提取物中麦芽糊精的含量, 有效地监督提取物市场以次充好的混乱现象, 为市场监督管理部门提供技术支持。

关键词: 中红外光谱法; 麦芽糊精; 葛根提取物; 偏最小二乘

文章编号: 1673-9078(2020)02-283-291

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.040

Rapid and Quantitative Analysis of Exogenous Maltodextrin in *Pueraria lobata* Extract by Mid-infrared

LI Yan-qing, DING Shan-shan, GUO De-hui

(Yantai New Era Health Industry Co. Ltd., Yantai 264006, China)

Abstract: Due to the requirements of the production process and storage of Chinese herbal extracts, a certain amount of maltodextrin is added. At present, there is no standard method for determining the content of maltodextrin in Chinese herbal extracts in China and overseas. This study aimed to establish a method for rapid determination of the maltodextrin content in the mixed *Pueraria lobata* extract powder. Using 88 samples of *Pueraria lobata* extract powders containing different contents of maltodextrin as the experimental materials, and the mid-infrared spectra of samples with known maltodextrin contents were collected. Baseline correction and normalization pretreatment were performed on the infrared spectra, and the quantitative model was established based on the partial least squares regression method. The results showed that the quantitative model had good prediction effect, and the prediction model had strong stability and high prediction precision with the decision coefficient (R^2) as 0.9819 and standard deviation as 3.205. The mid-infrared spectroscopy technique can quickly quantify the content of maltodextrin in *Pueraria lobata* extract, and effectively monitor the extract market to avoid substituting shoddy products for quality products, thereby providing technical support to the market supervision department.

Key words: mid-infrared spectroscopy; maltodextrin; *Pueraria lobata* extract; partial least square regression (PLS)

葛根为豆科植物野葛 *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi 的干燥根, 具有解肌退热, 生津止渴, 透疹, 升阳止泻, 通经活络, 解酒毒之功效^[1], 故被广泛应用于保健食品中。葛根的主要功效成分为大豆素 (daidzein)、大豆苷 (daidzin)、葛根素 (puerarin)、葛根素-7-木糖甙 (puerarin-7-xyloside) 等黄酮类成分, 其中尤以葛根素含量较高^[2]。近几年药理研究发现, 葛根提取物具有降低心肌耗氧量、抗血小板聚集、保护心血管、改善脑循环等作用^[3-7], 而且还具有抑制肿瘤细

收稿日期: 2019-06-28

作者简介: 李燕青 (1979-), 男, 工程师, 研究方向: 保健食品中营养及功效成分

通讯作者: 丁姗姗 (1986-), 女, 工程师, 研究方向: 保健食品中功效成分

胞增殖、诱导肿瘤细胞凋亡及调节免疫等作用^[8-12]。

药用辅料系指生产药品和调配处方时使用的赋形剂和附加剂; 是除活性成分以外, 在安全性方面已进行了合理的评估, 且包含在药物制剂中的物质。药用辅料除了赋形、充当载体、提高稳定性外, 还具有增溶、助溶、缓控释等重要功能。我国有关部门也采取了一系列措施来保证人民用药的安全和药用辅料行业的快速健康发展。但目前我国对药用辅料这一领域的监管还不完善, 药用辅料标准化建设还存在许多问题^[13]。

近年来, 随着光谱学及化学计量学的快速发展, 红外光谱法由于其全面、快速、无损等优点迅速成长为一种充满潜力的分析手段^[14-16]。杨家宝^[17]等采用中

红外光谱对小白菜叶片中的硝酸盐含量进行快速表征。选取硝酸盐的特征吸收区 $1200\sim 1500\text{ cm}^{-1}$, 干燥程度最少的衰减全反射光谱, 预测模型达到优秀水平。Mauer^[18]等把近红外光谱和中红外光谱用于婴儿奶粉的三聚氰胺的定量检测, 使用偏最小二乘回归法 (partial least square regression, PLS) 方法建模得到相关系数大于 0.99, 可以快速检测出三聚氰胺含量最低值为 1×10^{-6} 。在葛根提取物辅料研究方面, 国内外还未见相关中红外研究报道。本文使用中红外光谱检测法, 通过建立定量模型, 测定葛根提取物中辅料麦芽糊精的含量^[19-22]。通过对已知浓度红外谱图的预处理, 采用偏最小二乘法为光谱预处理方法, 经验证模型定量效果良好, 可准确预测葛根提取物中辅料麦芽糊精的含量。

1 材料与方法

1.1 原料

葛根提取物 (2016 年至 2018 年生产样品, 共 4

批), 烟台新时代健康产业有限公司; 麦芽糊精 (批号: 20180704), 烟台新时代健康产业有限公司。

1.2 仪器与设备

Frontier 型傅立叶变换中红外光谱仪 (附有衰减全反射 (ATR) 附件), 美国 PerkinElmer 公司; MM200 混合型研磨仪, 德国 Retsch 公司; ME204TE/02 万分之一电子天平, 瑞士梅特勒-托利多公司。

1.3 方法

1.3.1 样品的制备

精密称取一定量的麦芽糊精和葛根提取物纯物质于研磨罐中, 使葛根提取物纯物质与麦芽糊精混合物中麦芽糊精的含量为 2%~86%, 制备总量为 0.50 g 左右的样品共 88 份, 其中 44 份为校正集, 44 份为验证集, 详情见表 1。将研磨罐置于研磨仪上, 设置振动频率 25.0 次/s、研磨时间 4 min, 使样品充分混匀, 备用。

表 1 样品详情一览表

Table 1 Sample details

样品编号	样品来源	所属集合	麦芽糊精量/g	样品总量/g	实际麦芽糊精含量/%
1	来源 1	校正集	0.0109	0.5007	2.18
2	来源 1	验证集	0.0119	0.5007	2.38
3	来源 2	校正集	0.0139	0.5007	2.78
4	来源 2	验证集	0.0178	0.5036	3.53
5	来源 3	校正集	0.0208	0.5006	4.16
6	来源 3	验证集	0.0269	0.5031	5.35
7	来源 4	校正集	0.0337	0.5034	6.69
8	来源 4	验证集	0.0359	0.5039	7.12
9	来源 1	校正集	0.0428	0.5068	8.45
10	来源 1	验证集	0.0468	0.5032	9.30
11	来源 2	校正集	0.0503	0.5008	10.04
12	来源 2	验证集	0.0572	0.5007	11.42
13	来源 3	校正集	0.0632	0.5041	12.54
14	来源 3	验证集	0.0663	0.5019	13.21
15	来源 4	校正集	0.0713	0.5003	14.25
16	来源 4	验证集	0.0763	0.5037	15.15
17	来源 1	校正集	0.0812	0.5027	16.15
18	来源 1	验证集	0.0856	0.5027	17.03
19	来源 2	校正集	0.0932	0.5037	18.50
20	来源 2	验证集	0.0964	0.5004	19.26
21	来源 3	校正集	0.1032	0.5010	20.60
22	来源 3	验证集	0.1070	0.5038	21.24

转下页

接上页

23	来源 4	校正集	0.1104	0.5014	22.02
24	来源 4	验证集	0.1161	0.5044	23.02
25	来源 1	校正集	0.1223	0.5018	24.37
26	来源 1	验证集	0.1296	0.5017	25.83
27	来源 2	校正集	0.1336	0.5006	26.69
28	来源 2	验证集	0.1392	0.5014	27.76
29	来源 3	校正集	0.1431	0.5007	28.58
30	来源 3	验证集	0.1474	0.5035	29.28
31	来源 4	校正集	0.1521	0.5068	30.01
32	来源 4	验证集	0.1575	0.5021	31.37
33	来源 1	校正集	0.1610	0.5025	32.04
34	来源 1	验证集	0.1667	0.5029	33.15
35	来源 2	校正集	0.1717	0.5050	34.00
36	来源 2	验证集	0.1763	0.5026	35.08
37	来源 3	校正集	0.1844	0.5009	36.81
38	来源 3	验证集	0.1882	0.5038	37.36
39	来源 4	校正集	0.1931	0.5068	38.10
40	来源 4	验证集	0.1971	0.5054	39.00
41	来源 1	校正集	0.2015	0.5028	40.08
42	来源 1	验证集	0.2060	0.5014	41.08
43	来源 2	校正集	0.2136	0.5075	42.09
44	来源 2	验证集	0.2170	0.5019	43.24
45	来源 3	校正集	0.2231	0.5043	44.24
46	来源 3	验证集	0.2279	0.5042	45.20
47	来源 4	校正集	0.2310	0.5013	46.08
48	来源 4	验证集	0.2376	0.5045	47.10
49	来源 1	校正集	0.2430	0.5043	48.19
50	来源 1	验证集	0.2464	0.5010	49.18
51	来源 2	校正集	0.2509	0.5012	50.06
52	来源 2	验证集	0.2574	0.5004	51.44
53	来源 3	校正集	0.2607	0.5013	52.00
54	来源 3	验证集	0.2688	0.5030	53.44
55	来源 4	校正集	0.2724	0.5011	54.36
56	来源 4	验证集	0.2761	0.4995	55.28
57	来源 1	校正集	0.2820	0.5030	56.06
58	来源 1	验证集	0.2874	0.5032	57.11
59	来源 2	校正集	0.2922	0.5016	58.25
60	来源 2	验证集	0.2975	0.5017	59.30
61	来源 3	校正集	0.3021	0.5028	60.08
62	来源 3	验证集	0.3080	0.5031	61.22
63	来源 4	校正集	0.3130	0.5034	62.18
64	来源 4	验证集	0.3182	0.5039	63.15
65	来源 1	校正集	0.3217	0.5011	64.20

转下页

接上页

66	来源 1	验证集	0.3254	0.5003	65.04
67	来源 2	校正集	0.3323	0.5027	66.10
68	来源 2	验证集	0.3389	0.4994	67.86
69	来源 3	校正集	0.3416	0.5013	68.14
70	来源 3	验证集	0.3477	0.5021	69.25
71	来源 4	校正集	0.3545	0.5037	70.38
72	来源 4	验证集	0.3573	0.5004	71.40
73	来源 1	校正集	0.3635	0.5006	72.61
74	来源 1	验证集	0.3678	0.5019	73.28
75	来源 2	校正集	0.3722	0.5012	74.26
76	来源 2	验证集	0.3781	0.5004	75.56
77	来源 3	校正集	0.3819	0.5007	76.27
78	来源 3	验证集	0.3897	0.5039	77.34
79	来源 4	校正集	0.3933	0.5008	78.53
80	来源 4	验证集	0.3964	0.5014	79.06
81	来源 1	校正集	0.4047	0.5024	80.55
82	来源 1	验证集	0.4071	0.5022	81.06
83	来源 2	校正集	0.4130	0.5013	82.39
84	来源 2	验证集	0.4184	0.5018	83.38
85	来源 3	校正集	0.4228	0.5002	84.53
86	来源 3	验证集	0.4290	0.5038	85.15
87	来源 4	校正集	0.4308	0.5001	86.14
88	来源 4	验证集	0.4357	0.5021	86.78

1.3.2 谱图的测定

中药红外光谱实验中最常用的固体样品测试方法为溴化钾压片法。它是将一定量的待测样品与 200 mg 溴化钾碎晶置于玛瑙研钵中,磨细,并使其混合均匀。将研细混均的粉末置于压片磨具中,使用压片机将其压成圆形薄片,然后放入红外光谱仪样品支架进行测试。而使用 ATR 附件测试样品时,隐失波的穿透深度决定于入射波长、入射角和空气相对晶体的折射率,避免了溴化钾压片法中样品用量、样品均匀度、压片厚度等因素对于样品红外光谱的影响,因此适用于定量分析,而且是一种快速无损的测试方法。所以本文采用的红外测试方法为衰减全反射附件。测定波数范围 450~4000 cm^{-1} , 光谱分辨率 4 cm^{-1} , 扫描信号累加计数 64 次,扫描时实时扣除 H_2O 和 CO_2 的干扰。

使用上述条件测定 44 个校正集样品和 44 个验证集样品的红外图谱,并保存图谱。

1.4 定量模型的建立

1.4.1 校正集的建立

采用 Spectrum Quant 操作软件 (PerkinElmer 公司),对校正集中 44 个样品谱图进行赋值,赋值为样

品中实际麦芽糊精的含量,并在交叉验证中选择去一法 (Leave 1 Out)。

1.4.2 谱图预处理

对 44 个校正集进行图谱预处理,预处理过程包括谱图波数范围的选择、基线校正 (Baseline Correction) 和归一化 (Normalization)。

1.4.3 选择算法

在简单的校正模型建立过程中,自变量与因变量都只有一个,可以通过一元回归的方法建立两者之间的关系。当自变量的数目多于一个时,就要采用多元回归的方法^[23-25]。多元回归又包括主成分回归 (principal component regression, RCR) 和偏最小二乘回归法 (partial least square regression, PLS), 一般来说,偏最小二乘回归法要优于主成分回归法^[26,27]。偏最小二乘回归法是一种新型的多元统计数据分析方法,可以提取成分复杂而谱峰重叠的光谱信息,是最普遍使用的定量分析方法。该方法可以有效去除噪声,解决光谱共线和多重相关性问题,是红外光谱分析中使用最多,模型最稳定的多元校正方法之一^[28]。基于上述考虑,该模型选择算法为偏最小二乘回归法。

1.4.4 模型报告

查看定量模型,包括因子数、决定系数 R^2 和预测标准差 (standard error of prediction, SEP)。

1.4.5 模型验证

对建好的模型进行评估,取 44 个验证集进行“1.4.2 谱图预处理”操作并赋值,点击运行验证,模型自动运行,查看独立验证集各样品中麦芽糊精含量是否与指定麦芽糊精含量相符,如相符则证明模型良好。

2 结果与分析

2.1 葛根提取物和麦芽糊精的红外光谱分析

葛根提取物中, 1727 cm^{-1} 为羰基 C=O 伸缩振动吸收峰, 1623 cm^{-1} 、 1516 cm^{-1} 和 1444 cm^{-1} 为芳香环骨架振动吸收峰, 1623 cm^{-1} 吸收峰可能同时包含共轭羰基的伸缩振动吸收峰,而 $1450\sim 1400\text{ cm}^{-1}$ 区域内的吸收峰还可能包含 C-H 弯曲振动吸收峰,以上特征说明该葛根提取物中黄酮类成分较多,这也与文献中所描述相吻合,谱图见图 1。

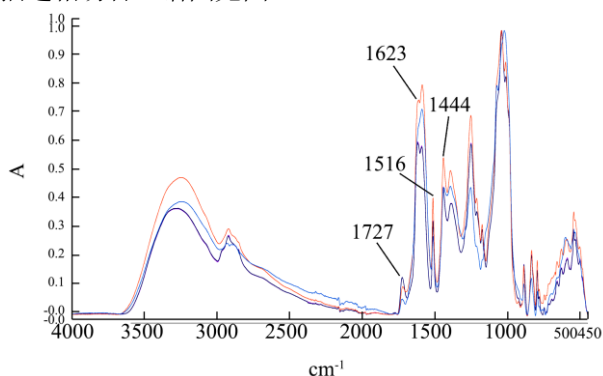


图 1 葛根纯粉红外光谱图

Fig.1 Infrared Spectrograph of Puerarin extract Powder

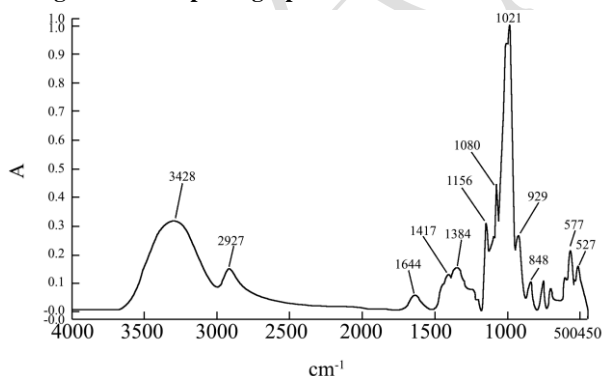


图 2 麦芽糊精的红外光谱图

Fig.2 Infrared Spectrograph of Malt Dextrin

麦芽糊精的红外光谱中, 3428 cm^{-1} 是 O-H 伸缩振动吸收峰, 2927 cm^{-1} 是亚甲基 C-H 反对称伸缩振动吸收峰, 1644 cm^{-1} 是 O-H 弯曲振动吸收峰, $1450\sim 1350\text{ cm}^{-1}$ 区域内的重叠峰包含 C-H 弯曲振动吸收以及 C-O 伸缩振动吸收等。在 1300 cm^{-1} 以下, 1156 cm^{-1} 、 1080

cm^{-1} 和 1021 cm^{-1} 等是 C-O 伸缩振动吸收峰, 这组峰的位置与形状是麦芽糊精红外光谱的典型特征。在 900 cm^{-1} 以下, 还有 848 cm^{-1} 、 762 cm^{-1} 、 707 cm^{-1} 、 577 cm^{-1} 和 527 cm^{-1} 等多个指纹特征峰, 谱图见图 2。

2.2 葛根麦芽糊精混合物样品红外光谱图的预处理

利用傅里叶变换中红外光谱仪分别采集了 44 个葛根提取物与样品的红外光谱图, 为消除空气中二氧化碳、水、仪器漂移等对样本的影响, 需要对原始光谱进行预处理。

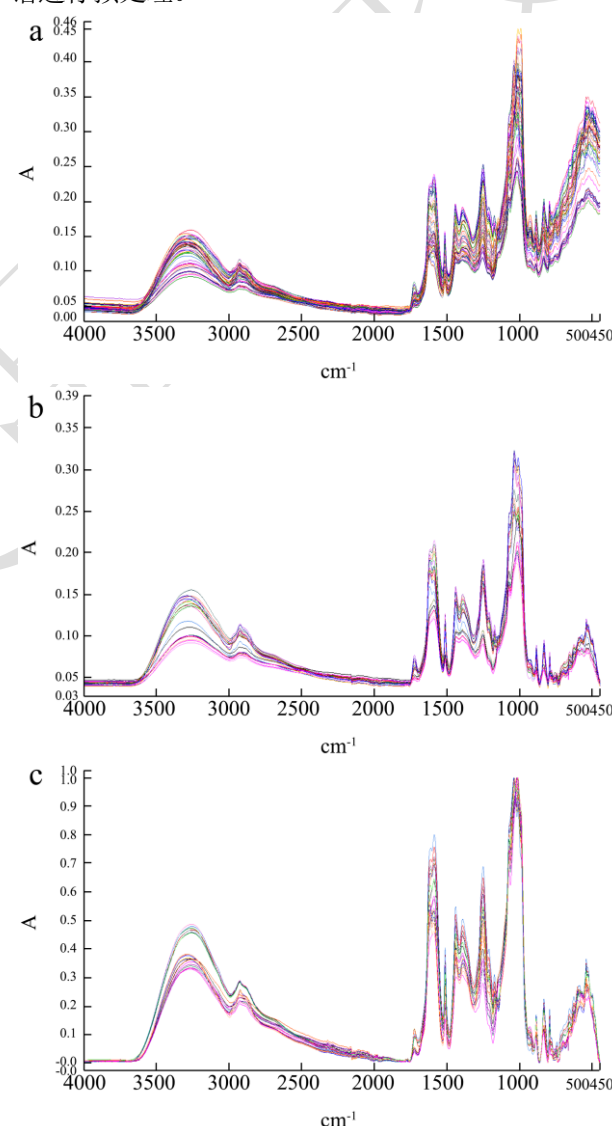


图 3 葛根麦芽糊精混合物样品原始光谱图及预处理后的光谱图

Fig.3 Original and pretreated spectra

注: a.原始图谱; b.基线校正; c.基线校正和归一化。

在理想情况下, 待测样品没有吸收的光谱区域, 即可视为整张光谱的基线。基线的透光率应该是

100%，即吸光度为 0。但在实际测量得到的光谱中，基线一般并不处于理想位置，因此需要对图谱进行校正。基线校正前后，光谱吸收峰的峰位置不应发生变化，但峰高和峰面积会有些变化。使用衰减全反射附件进行样品测试时，由于隐失波的穿透深度与光波的波长有关，波数越低则基线的吸光度越高，所以一定要进行相应的校正处理。

使用同样的测试方法，所得到的待测样品的红外光谱的强度还是会因样品用量的差异而有所不同。为了更好地对样品的光谱图进行比较，需要对样品的光谱进行归一化处理。对于吸光度光谱，归一化后最大吸收峰的吸光度为 1，基线的吸光度为 0。

本文所用处理方式为基础校正和归一化处理。葛根麦芽糊精混合物样品红外光谱图见图 3 所示。

2.3 模型报告

定量模型中的因子数不足会造成欠拟合，因子数过多会导致过拟合^[26]，一般因子数选择 3-7。决定系数越接近于 1，预测标准差越小，说明模型的拟合效果越好。该定量模型的因子数为 3，决定系数 R^2 为 0.9819，预测标准差为 3.205，模型良好，模型具体图谱见图 4。其中 A 图是校正集样品中麦芽糊精含量测定值和 MIR 模型预测值，麦芽糊精含量测定值和 MIR 模型预测值越接近，线性关系越好，模型的拟合能力越好。校正集 44 个样本的平均预测相对误差不到 2%，相对误差高于 3% 的样本只有一个，说明该模型具有较好的预测效果。

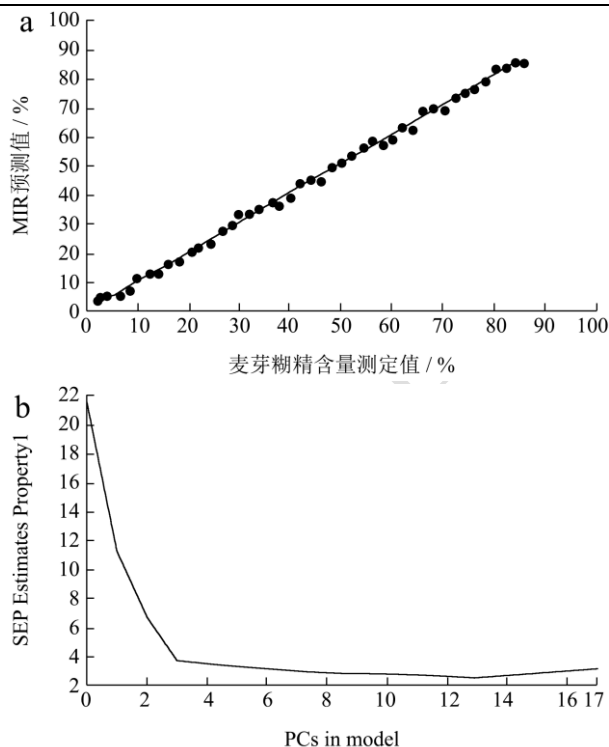


图 4 模型相关图谱

Fig.4 Quantitative model spectra

注：a.模型相关关系图；b.因子数。

2.4 预测模型的验证

用已知含量的验证集来验证定量模型的准确程度，具体数据见图 5。验证集实际测量值和理论测量值具体见表 2。

表 2 麦芽糊精预测模型预测结果

Table 2 The results of validation models of malt dextrin

样品编号	样品来源	所属集合	实际测量值/%	MIR 预测值/%	差值%
2	来源 1	验证集	2.38	3.21	-0.8333
4	来源 2	验证集	3.53	4.22	-0.6854
6	来源 3	验证集	5.35	6.21	-0.8632
8	来源 4	验证集	7.12	6.87	0.2544
10	来源 1	验证集	9.30	9.54	-0.2395
12	来源 2	验证集	11.42	11.12	0.3040
14	来源 3	验证集	13.21	13.01	0.1998
16	来源 4	验证集	15.15	15.03	0.1179
18	来源 1	验证集	17.03	16.99	0.0380
20	来源 2	验证集	19.26	19.53	-0.2654
22	来源 3	验证集	21.24	20.77	0.4687
24	来源 4	验证集	23.02	21.47	1.5520
26	来源 1	验证集	25.83	27.38	-1.5450
28	来源 2	验证集	27.76	26.95	0.8151

转下页

接上页

30	来源 3	验证集	29.28	31.75	-2.4780
32	来源 4	验证集	31.37	31.51	-0.1385
34	来源 1	验证集	33.15	32.29	0.8622
36	来源 2	验证集	35.08	35.02	0.0539
38	来源 3	验证集	37.36	36.60	0.7603
40	来源 4	验证集	39.00	40.17	-1.1670
42	来源 1	验证集	41.08	44.16	-3.0780
44	来源 2	验证集	43.24	44.96	-1.7270
46	来源 3	验证集	45.20	44.39	0.8091
48	来源 4	验证集	47.10	49.67	-2.5750
50	来源 1	验证集	49.18	52.96	-3.7830
52	来源 2	验证集	51.44	52.32	-0.8763
54	来源 3	验证集	53.44	54.31	-0.8686
56	来源 4	验证集	55.28	57.79	-2.5180
58	来源 1	验证集	57.11	58.37	-1.2560
60	来源 2	验证集	59.30	61.29	-1.9930
62	来源 3	验证集	61.22	62.43	-1.2060
64	来源 4	验证集	63.15	65.87	-2.7220
66	来源 1	验证集	65.04	67.71	-2.6650
68	来源 2	验证集	67.86	70.34	-2.4830
70	来源 3	验证集	69.25	70.50	-1.2460
72	来源 4	验证集	71.40	73.08	-1.6770
74	来源 1	验证集	73.28	73.77	-0.4844
76	来源 2	验证集	75.56	74.90	0.6628
78	来源 3	验证集	77.34	79.94	-2.6070
80	来源 4	验证集	79.06	78.10	0.9585
82	来源 1	验证集	81.06	82.42	-1.3590
84	来源 2	验证集	83.38	82.26	1.1150
86	来源 3	验证集	85.15	85.61	-0.4562
88	来源 4	验证集	86.78	86.56	0.2148

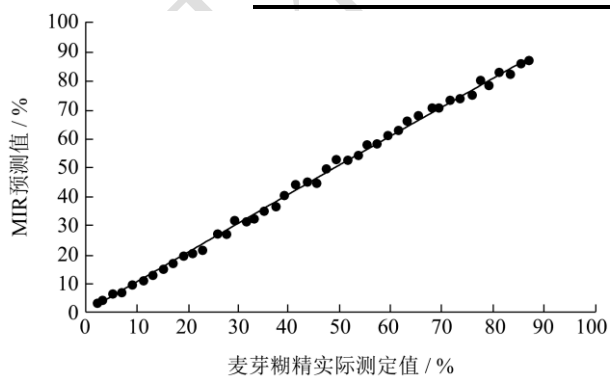


图 5 麦芽糊精独立验证结果

Fig.5 Results of malt dextrin content for independent validation

从图 5 和表 2 中可知,验证集中 44 个样本的平均预测相对误差不到 2%,相对误差高于 3%的样本有两个,没有高于 5%的样本,说明该模型具有较好的预

测效果,可用于葛根提取物中麦芽糊精的含量测定。

2.5 定量模型的应用

取未知麦芽糊精含量的葛根提取物若干,用建好的定量模型进行麦芽糊精含量的检测,同时采用《中国药典》一部葛根项下葛根素检测方法检测葛根提取物中葛根素的含量,具体结果见表 3。由表可以看出 14 批葛根提取物中麦芽糊精的含量在 7.5%~22.6%之间,平均值为 17.4%,RSD 为 24.74%,上下浮动较大,而葛根素的含量在 11.5%~13.5%之间,平均值为 12.5%,RSD 为 5.18%,含量较稳定。分析原因可能是葛根药材中葛根素含量因产地、批次之间的差异存在不稳定的情况,通过添加麦芽糊精的比例来控制最终葛根提取物中葛根素的含量以达到较稳定水平。

表3 麦芽糊精含量统计摘要

Table 3 Summary statistics of malt dextrin contents

样品编号	麦芽糊精含量/%	麦芽糊精含量平均值%	RSD%	葛根素含量%	葛根素含量平均值/%	RSD%
1	19.3			12.8		
2	7.5			13.2		
3	12.7			13.0		
4	13.7			12.4		
5	14.5			13.1		
6	15.2			12.0		
7	16.9			13.5		
8	17.1	17.40	24.74	13.1	12.50	5.18
9	19.1			12.9		
10	20.6			12.4		
11	21.2			11.8		
12	21.6			12.4		
13	21.6			11.5		
14	22.6			11.5		

3 结论

本文通过红外光谱仪检测已知麦芽糊精含量的样品光谱,使用红外光谱值与实际麦芽糊精含量建立最小二乘回归模型。对样品光谱进行基线校正和归一化处理,建立因子数为3的定量模型。预测集决定系数 R^2 及预测标准差分别为 0.9819 和 3.205,模型预测效果良好。结果显示,红外光谱检测法可用于葛根提取物中麦芽糊精含量的快速测定,并可为其他辅料含量测定方法提供借鉴。

参考文献

[1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[M].2015年版.北京:中国医药科技出版社,2015:333
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Edition 2015: Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2015: 333

[2] 郑皓,王晓静.葛根的药理作用研究概况[J].光明中医,2006,21(3):49
ZHENG Hao, WANG Xiao-jing. Research on pharmacological action of *Pueraria* [J]. Journal Traditional Chinese Medicine, 2006, 21(3): 49

[3] 郭宇洁,孟硕,徐辉,等.葛根素和葛根黄酮的药代动力学研究概述[J].中国实验方剂学杂志,2009,15(6):82
GUO Yu-jie, MENG Shuo, XU Hui, et al. A brief review on herbal pharmacokinetics study for puerarin and flavone of radix *Puerariae lobatae* [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2009, 15(6): 82

[4] 林文慧,朱春燕,陈卫,等.葛根黄酮在大鼠肠道的吸收动力学研究[J].中国中药杂志,2008,32(2):164
LIN Wen-hui, ZHU Chun-yan, CHEN Wei, et al. Studies on absorption kinetics of *Puerariae* flavones in rats intestine [J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 32(2): 164

[5] Luo CF, Yuan M, Chen MS, et al. Pharmacokinetics, tissue distribution and relative bioavailability of puerarin solid lipid nanoparticles following oral administration [J]. Int J Pharm, 2011, 410(1/2): 138

[6] Tang L, Liu D, Yi X, et al. The protective effects of puerarin in cardiomyocytes from anoxia/reoxygenation injury are mediated by PKC epsilon [J]. Cell Biochem Funct, 2014, 32(4): 378

[7] 崔淑芹.葛根素对急性乙醇中毒大鼠心脏的保护性调控作用[J].南方医科大学学报,2011,31(12):2035
CUI Shu-qin. Effect of puerarin in myocardial protection in rats with acute and chronic alcoholism [J]. J South Med Univ, 2011, 31(12): 2035

[8] Wong K H, Li G Q, Li K M, et al. Kudzu root: traditional uses and potential medicinal benefits in diabetes and cardiovascular diseases [J]. J Ethnopharmacol, 2011, 134(3): 584

[9] Chen F, Zhang H Q, Zhu J, et al. Puerarin enhances superoxide dismutase activity and inhibits RAGE and VEGF expression in retinas of STZ-induced early diabetic rats [J]. Asian Pac J Trop Med, 2012, 5(11): 891-896

[10] Wang Y, Ma Y, Zheng Y, et al. *In vitro* and *in vivo* anticancer activity of a novel puerarin nanosuspension against colon

- cancer, with high efficacy and low toxicity [J]. *Int J Pharm*, 2013, 441(1-2): 728-735
- [11] Zhang W G, Liu X F, Meng K W, et al. Puerarin inhibits growth and induces apoptosis in SMMC-7721 hepatocellular carcinoma cells [J]. *Mol Med Rep*, 2014, 10(5): 2752-2758
- [12] Kang H, Zhang J, Wang B, et al. Puerarin inhibits M2 polarization and metastasis of tumor-associated macrophages from NSCLC xenograft model *via* inactivating MEK/ERK 1/2 pathway [J]. *Int J Oncol*, 2017, 50(2): 545-554
- [13] 姚金成,张云坤,饶健,等.我国中药辅料标准存在的问题及对策研究[J].*中南药学*,2011,9(6):474-476
- YAO Jin-cheng, ZHANG Yun-kun, RAO Jian, et al. Problems and countermeasures of Chinese traditional medicine accessories standards in China [J]. *Central South Pharmacy*, 2011, 9(6): 474-476
- [14] 韩嘉欣,陈昌云.双指标和化学计量学对板蓝根和姜黄进行品质分析[J].*分析科学学报*,2019,35(2):194-198
- HAN Jia-xin, CHEN Chang-yun. Quality analysis of radix and *Curcuma longa*. L depending on dual-index model & chemometric [J]. *Journal of Analytical Science*, 2019, 35(2): 194-198
- [15] 张贻杨,李永迪,刘杏益,等.茯砖茶加工过程中的傅里叶变换红外光谱分析[J].*食品科技*,2019,44(3):289-299
- ZHANG Yi-yang, LI Yong-di, LIU Xing-yi, et al. Fourier transform infrared spectroscopic analysis in processing of Fu brick tea [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(3): 289-299
- [16] Wu Z, Tao O, Cheng W, et al. Visualizing excipient composition and homogeneity of compound liquorice tablets by near-infrared chemical imaging [J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2012, 86: 631-636
- [17] 杨家宝,杜昌文,申亚珍,等.基于傅里叶变换中红外光谱的小白菜硝酸盐含量的快速测定[J].*分析化学*,2013,41(8):1264-1268
- YANG Jia-bao, DU Chang-wen, SHEN Ya-zhen, et al. Rapid determination of nitrate in Chinese cabbage using fourier transforms mid-infrared spectroscopy [J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2013, 41(8): 1264-1268
- [18] Mauer L J, Chernyshova 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
- [19] 律涛,薛忠,刘彦,等.近红外光谱法快速测定金银花-糊精混合粉末中辅料糊精的含量[J].*中国医院用药评价与分析*,2017,17(9):1228-1231
- LV Tao, XUE Zhong, LIU Yan, et al. Application of near infrared spectroscopy on rapid determination of the content of dextrin in honeysuckle-dextrin powder [J]. *Evaluation and Analysis of Drug-use in Hospitals of China*, 2017, 17(9): 1228-1231
- [20] 王馨,徐冰,薛忠,等.中药陈皮提取物粉末中糊精含量近红外分析方法的验证和不确定度评估[J].*药物分析杂志*,2017,37(2):339-334
- WANG Xin, XU Bing, XUE Zhong, et al. Validation and uncertainty evaluation for the NIR quantitative analysis of dextrin in Chinese herbal tangerine peel powder [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2017, 37(2): 339-334
- [21] 卜晓朴,彭彦昆,王文秀,等.生鲜紫薯花青素等多品质参数的可见-近红外快速无损检测[J].*食品科学*,2018,39(16):227-232
- BU Xiao-pu, PENG Yan-kun, WANG Wen-xiu, et al. Rapid nondestructive detection of multiple quality parameters of fresh purple sweet potato based on visible near infrared spectroscopy [J]. *Food Science*, 2018, 39(16): 227-232
- [22] 刘倩,徐冰,罗赣,等.丹参提取物中辅料糊精的近红外快速定量分析[J].*世界中医药*,2013,8(11):1287-1289
- LIU Qian, XU BING, Luo Gan, et al. Rapid near infrared determination of excipients in salvia extract powder [J]. *World Chinese medicine*, 2013, 8(11): 1287-1289
- [23] 梁逸曾,杜一平.分析化学计量学[M].重庆:重庆大学出版社,2004
- LIANG Yi-zeng, DU Yi-ping. *Analytical Chemometrics* [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2004
- [24] 梁逸曾,俞汝勤.化学计量学[M].北京:高等教育出版社,2003
- LIANG Yi-zeng, YU Ru-qin. *Chemometrics* [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2003
- [25] 许祿,邵学广.化学计量学方法(第2版)[M].北京:科学出版社,2004
- XU Lu, SHAO Xue-guang. *Chemometrics Method (2nd Edition)* [M]. Beijing: Science Press, 2004
- [26] 孙素琴,周群,陈建波.中药红外光谱分析与鉴定[M].北京:化学工业出版社,2010:61
- SUN Su-qin, ZHOU Qun, CHEN Jian-bo. *Analysis of Traditional Chinese Medicine by Infrared Spectroscopy* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 61