

近红外漫反射光谱法结合PLS法快速测定红景天药材中水分和红景天苷的含量^Δ

牟倩倩^{1,2*}, 贺敬霞^{1,2}, 张建琪³, 杨 滨¹, 李小芳², 刘江弟¹, 唐 艳¹, 李 化^{1#}(1.中国中医科学院中药研究所地道药材国家重点实验室培育基地,北京 100700;2.成都中医药大学药学院,成都 611137;3.西华大学食品与生物工程学院,成都 610039)

中图分类号 R927 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2017)30-4260-05
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2017.30.22

摘要 目的:建立快速测定红景天药材中水分和红景天苷含量的方法。方法:采用烘干法测定药材中水分含量(作为参考值);采用高效液相色谱法测定药材中红景天苷含量(作为参考值)。采用近红外漫反射光谱(NIR)分析技术结合偏最小二乘法(PLS)建立预测药材中水分和红景天苷含量的定量模型:根据参考值,采集83批药材样品,分别以二阶导数法联合 Savitsky Golay 滤波法、一阶导数法联合 Norris Derivative 滤波法预处理光谱,药材样品中水分和红景天苷含量预测最佳波段分别为 7 343.60~6 865.34、5 183.72~4 890.59 cm⁻¹和 7 050.47~4 327.48 cm⁻¹。结果:药材样品中红景天苷含量测定方法学考察符合要求。水分和红景天苷定量模型的校正集相关系数分别为 0.968 9、0.920 3,校正均方差分别为 0.273 0、0.085 0;验证集的相关系数分别为 0.977 1、0.930 0,验证均方差分别为 0.222 0、0.075 5。结论:该方法快速、准确、简便、无污染,可用于红景天药材中水分和红景天苷含量的快速测定。

关键词 近红外漫反射光谱技术;红景天;水分;红景天苷;偏最小二乘法

Rapid Determination of Moisture and Salidroside in *Rhodiola crenulatae* by NIR Combined with PLS Algorithm

MOU Qianqian^{1,2}, HE Jingxia^{1,2}, ZHANG Jianqi³, YANG Bin¹, LI Xiaofang², LIU Jiangdi¹, TANG Yan¹, LI Hua¹(1. State Key Laboratory Breeding Base of Genuine Regional Herbs, Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 2. College of Pharmacy, Chengdu University of TCM, Chengdu 611137, China; 3. School of Food and Bio-engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To develop a method for rapid determination of moisture and salidroside in *Rhodiola crenulatae*. METHODS: The content of moisture was determined by the methods of oven drying (as reference value); the content of salidroside was determined by HPLC (as reference value). Near infrared spectroscopy (NIR) combined with partial least squares (PLS) algorithm were adopted to establish quantitative model for the contents of moisture and salidroside. According to reference value, 83 samples were collected for preprocessing spectra by Savitsky Golay with second derivative and Norris Derivative with first derivative. The optimal spectrum range of moisture and salidroside were 7 343.60-6 865.34, 5 183.72-4 890.59 cm⁻¹ and 7 050.47-

- mass spectrometry[J]. *J Chromatogr A*, 2011, 1218(1): 107-117.
- [10] 王佳婧,郑勇凤,秦晶,等.熊胆粉的药理作用与新剂型研究进展[J].中国医院药学杂志,2016,36(7):598-602.
- [11] 周超凡,高国建,刘颖.熊胆粉研究进展述评[J].中国中药杂志,2015,40(7):1252-1258.
- [12] 刘绍勇,薛东升,李江海,等.山羊角提取物中氨基酸的种类研究与含量测定[J].中南药学,2014,12(3):271-274.
- [13] 杨清林,傅亚.山羊角提取物中氨基酸含量测定研究[J].

- 中药材,2011,34(7):1023-1026.
- [14] 李小芬,孙晓红,蔡爽,等.采用UPLC-ESI-MS/MS以及主成分聚类分析研究不同品种金银花的化学成分及其差异[J].药学学报,2009,44(8):895-904.
- [15] 雷玲,李兴平,白筱璐,等.金银花抗内毒素、解热、抗炎作用研究[J].中药药理与临床,2012,28(1):115-117.
- [16] Cui Y, Wang Q, Shi X, et al. Simultaneous quantification of 14 bioactive constituents in Forsythia Suspensa by liquid chromatography-electrospray ionisation-mass spectrometry[J]. *Phytochem Anal*, 2010, 21(3):253-260.
- [17] 孟祥乐,李俊平,李丹,等.连翘的化学成分及其药理活性研究进展[J].中国药房,2010,21(43):4117-4119.

Δ 基金项目:中医药行业科研专项项目(No.国中医药科技发[2014]10号)

* 硕士研究生。研究方向:中药新制剂、新剂型、新技术。E-mail: qqmou22@163.com

通信作者:副研究员,博士。研究方向:中药及其复方制剂的质量评价与药效物质基础。E-mail: lihua621@hotmail.com

(收稿日期:2016-11-18 修回日期:2017-01-16)

(编辑:张 静)

4 327.48 cm⁻¹, respectively. RESULTS: The content determination methodology of salidroside was in line with the requirement. The correlation coefficients of calibration for moisture and salidroside were 0.968 9 and 0.920 3, and the root mean square errors of calibration were 0.273 0 and 0.085 0, respectively. The correlation coefficients of predication were 0.977 1 and 0.930 0, and the root mean square errors of prediction were 0.222 0 and 0.075 5, respectively. CONCLUSIONS: The method is proved to be simple, rapid, non-destructive and accurate, which can be used for the rapid determination of moisture and salidroside in *R. crenulatae*.

KEYWORDS Near infrared spectroscopy; *Rhodiolae crenulatae*; Moisture; Salidroside; PLS

红景天为景天科珍稀植物大花红景天 *Rhodiolae crenulata* (Hook. f. et Thoms.) H. Ohba 的干燥根和根茎,素有“高原人参”“北极玫瑰”之称,具有补气清肺、益智养心、收涩止血、消肿散瘀之功效^[1]。现代药理研究表明,红景天苷是其主要的活性成分,具有抗肿瘤、抗氧化、抗骨质疏松、保护心脑血管、保护肝肾等多种药理作用^[2-5]。然而,目前市售红景天药材因其品种、产地、贮藏年限等差异,其红景天苷含量存在显著差异,如长鞭红景天几乎不含红景天苷^[6]。同时,红景天药材中富含多糖类成分,含水量过高时极易生霉、虫蛀变质,使其有效成分含量降低,影响临床疗效。2015年版《中国药典》(一部)红景天项下明确规定,红景天苷含量不低于0.50%,水分不超过12.0%。药典收录的测定方法虽然准确可靠,但存在操作烦琐、耗时较长、消耗大量溶剂等不足之处。因此,建立一种简单、快速、准确的同步测定红景天药材中水分和红景天苷含量的新方法是一项亟待解决的重要任务。

近年来,随着计算机和化学计量学软件的发展,近红外漫反射光谱(Near infrared reflectance spectroscopy, NIR)分析技术可实现对样品的简单快速、准确高效、无损、无污染含量检测,且绿色环保,现已广泛用于中药材品种、产地、真伪、加工炮制等定性判别和有效成分定量分析等领域^[7-11]。目前,仅见少量文献对红景天药材的品种进行定性判别^[12];尚未见研究红景天药材中水分和红景天苷含量的NIR定量分析。为此,本研究以烘干法测定水分,以高效液相色谱法(HPLC)测定红景天苷含量,作为参考值,采用NIR技术结合偏最小二乘法(Partial least squares, PLS)建立了快速测定红景天药材中水分和红景天苷含量的定量模型,以期对红景天药材的质量评价提供参考。

1 材料

1.1 仪器

Antaris II型傅里叶变换NIR仪,包括InGaAs检测器、标准石英杯、RESULTTM光谱采集软件和TQ Analyst 9.1分析软件(美国Thermo Scientific公司);Alliance 2695型HPLC仪,包括四元梯度泵、二极管阵列检测器、真空脱气机、自动进样器、柱温箱,Empower II色谱工作站(美国Waters公司);KQ-5200DE型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);Milli-Q型超纯水制备仪(美国Millipore公司);FW80型高速万能粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司);DH-101-0型电热恒温鼓

风干燥箱(天津市中环实验电炉有限公司);BT125D型电子分析天平(德国Sartorius公司);22331型高速离心机(德国Eppendorf公司)。

1.2 试剂

红景天苷对照品(中国食品药品检定研究院,批号:110818-201206,纯度:99.8%);甲醇为色谱纯,其余试剂均为分析纯,水为纯化水。

1.3 药材

83批红景天药材分别购自四川、西藏、安徽等地药材市场(见表1),由中国中医科学院中药研究所李化副研究员鉴定为真品。药材自然晾干,粉碎,过40目筛,自封袋密封保存于防潮柜中。

表1 红景天药材来源

Tab 1 Sources of *R. Crenulatae*

编号	购买地	收集时间	编号	购买地	收集时间	编号	购买地	收集时间
1	安徽	2014.02.21	29	西藏	2014.06.06	57	西藏	2016.03.24
2	安徽	2014.03.06	30	四川	2016.03.24	58	西藏	2016.03.24
3	安徽	2014.03.06	31	西藏	2014.06.06	59	西藏	2016.03.24
4	四川	2014.04.20	32	四川	2016.03.24	60	西藏	2016.03.24
5	云南	2014.04.18	33	西藏	2014.06.06	61	西藏	2016.03.24
6	安徽	2014.03.07	34	四川	2016.03.24	62	西藏	2016.03.24
7	四川	2014.06.06	35	四川	2016.03.24	63	西藏	2016.03.24
8	湖南	2014.04.20	36	四川	2016.03.24	64	西藏	2016.03.24
9	四川	2014.06.06	37	四川	2016.03.24	65	西藏	2016.03.24
10	四川	2016.03.24	38	四川	2016.03.24	66	四川	2016.03.24
11	四川	2016.03.24	39	四川	2016.03.24	67	西藏	2016.03.24
12	四川	2016.03.24	40	四川	2016.03.24	68	西藏	2016.03.24
13	四川	2016.03.24	41	四川	2016.03.24	69	西藏	2016.03.24
14	四川	2016.03.24	42	四川	2016.03.24	70	四川	2016.03.24
15	四川	2016.03.24	43	四川	2016.03.24	71	西藏	2016.03.24
16	四川	2016.03.24	44	四川	2016.03.24	72	西藏	2016.03.24
17	四川	2016.03.24	45	四川	2016.03.24	73	四川	2016.03.24
18	四川	2016.03.24	46	四川	2016.03.24	74	西藏	2016.03.24
19	四川	2016.03.24	47	四川	2016.03.24	75	西藏	2016.03.24
20	四川	2016.03.24	48	西藏	2016.03.24	76	西藏	2016.03.24
21	四川	2016.03.24	49	四川	2016.03.24	77	西藏	2016.03.24
22	四川	2016.03.24	50	四川	2016.03.24	78	西藏	2016.03.24
23	西藏	2016.03.24	51	西藏	2016.03.24	79	西藏	2016.03.24
24	四川	2016.03.24	52	西藏	2016.03.24	80	西藏	2016.03.24
25	西藏	2016.03.24	53	西藏	2016.03.24	81	西藏	2016.03.24
26	四川	2016.03.24	54	西藏	2016.03.24	82	西藏	2014.06.06
27	四川	2016.03.24	55	西藏	2016.03.24	83	四川	2014.06.06
28	四川	2016.03.24	56	西藏	2016.03.24			

2 方法与结果

2.1 水分含量(参考值)测定

参照2015年版《中国药典》(四部)“通则0832”项下的水分测定法中第二法“烘干法”^[13]对红景天药材样品

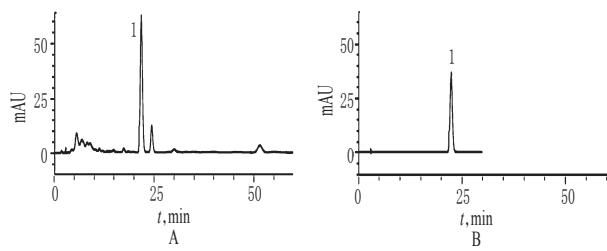
中的水分含量进行测定,测得83批药材样品的水分含量在4.09%~8.57%范围内,详见表2。

表2 药材样品中水分和红景天苷含量测定结果($n=3$)
Tab 2 Results of content determination of moisture and salidroside in samples($n=3$)

编号	水分	红景天苷	编号	水分	红景天苷	编号	水分	红景天苷
1	5.63	0.86	29	4.25	0.38	57	8.25	0.76
2	5.09	1.07	30	6.95	0.87	58	7.10	0.32
3	4.96	0.13	31	4.12	0.21	59	7.67	0.94
4	4.49	1.14	32	7.49	0.77	60	7.49	0.89
5	5.36	0.61	33	4.24	0.24	61	7.26	0.88
6	4.73	0.11	34	7.30	0.69	62	7.71	0.62
7	4.79	0.85	35	7.24	0.64	63	7.53	0.50
8	4.87	0.48	36	7.77	0.74	64	7.60	0.43
9	4.74	0.74	37	7.85	0.67	65	7.51	0.54
10	6.90	0.78	38	6.40	0.38	66	7.35	0.23
11	7.59	0.71	39	7.57	0.68	67	8.21	0.62
12	7.31	0.55	40	7.41	0.74	68	7.56	0.70
13	6.25	0.64	41	6.59	0.33	69	7.97	0.80
14	6.61	0.27	42	7.70	0.69	70	7.04	0.28
15	7.16	0.58	43	7.92	0.59	71	6.75	0.61
16	7.45	0.66	44	7.08	0.82	72	7.15	0.71
17	7.45	0.52	45	7.42	0.29	73	7.31	0.28
18	6.65	0.48	46	7.31	0.53	74	6.49	0.72
19	7.02	0.73	47	7.82	0.60	75	6.71	0.52
20	6.92	0.89	48	6.37	0.47	76	6.33	0.41
21	7.21	0.28	49	7.85	0.67	77	7.17	0.59
22	7.02	0.73	50	8.04	0.67	78	6.69	0.58
23	7.60	0.43	51	7.35	0.33	79	7.10	0.35
24	6.92	0.90	52	8.24	0.87	80	7.52	0.70
25	7.03	0.44	53	8.00	0.78	81	4.09	0.71
26	7.06	0.78	54	8.57	0.77	82	4.10	0.56
27	7.62	0.62	55	7.94	0.87	83	4.78	0.90
28	7.25	0.87	56	7.93	0.88			

2.2 红景天苷含量(参考值)测定

2.2.1 色谱条件 色谱柱: Diamonsil C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇-水(15:85, V/V); 流速: 1.0 mL/min; 检测波长: 275 nm; 柱温: 30 ℃; 进样量: 10 μL。色谱见图1。



A. 供试品; B. 对照品; 1. 红景天苷
A. test sample; B. substance control; 1. salidroside

图1 高效液相色谱图

Fig 1 HPLC chromatogram

2.2.2 对照品溶液的制备 精密称取红景天苷对照品适量,加甲醇制成红景天苷质量浓度为0.5 mg/mL的对照品溶液。

2.2.3 供试品溶液的制备 取药材样品粉末约0.5 g,精密称定,置于25 mL具塞锥形瓶中,精密加甲醇10 mL,

密塞,称定质量,超声(功率:100 W,频率:40 kHz)处理30 min,放冷,再次称定质量,用甲醇补足减失的质量,摇匀,放置30 min,取上清液2 mL,置于离心管中,以离心半径7.2 cm、10 000 r/min离心10 min,取上清液,即得。

2.2.4 方法学考察 按相关标准进行方法学考察,结果,精密度、稳定性、重复性试验中红景天苷峰面积的RSD均<3%,表明仪器精密度、溶液稳定性、方法重复性均较好。

2.2.5 样品含量测定 取83批药材样品各适量,分别按“2.2.3”项下方法制备供试品溶液,再按“2.2.1”项下色谱条件进样测定,记录峰面积并计算样品含量,结果见表2。

2.3 NIR定量模型建立与验证

2.3.1 NIR的采集 取药材样品粉末约5 g,置于石英样品杯中,混合均匀,等力压平(样品厚度及紧密度力求保持一致),采用积分球漫反射系统,以空气为参比,扣除背景采集NIR。采集条件:分辨率为16 cm⁻¹,扫描范围为10 000~4 000 cm⁻¹,NIR扫描累积次数64次,单次扫描时间为0.5 s,温度为25~30 ℃,相对湿度为20%~25%。83批药材样品的近红外原始光谱叠加图见图2。

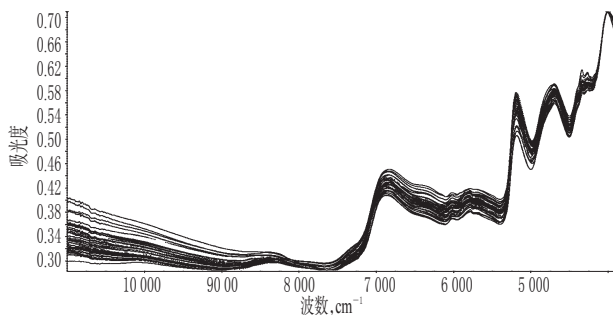


图2 83批药材样品的近红外原始光谱叠加图

Fig 2 Superposed near-infrared spectra of 83 batches of samples

2.3.2 校正集和验证集样品的选择 将表2中药材样品水分和红景天苷含量分布情况,输入TQ Analyst 9.1分析软件中,剔除与参考值偏差较大的样本,分别剔除了1个和4个异常点;再选取3/4的样本作为校正集,1/4的剩余样本作为验证集,且验证集含量范围处于校正集含量范围之内^[14],详见表3。

表3 校正集和验证集药材样品中指标成分的含量范围
Tab 3 Distribution of the index content components of samples in calibration and validation set

待测指标	样品集	样品量,批	最大值,%	最小值,%	平均值,%
水分	校正集	63	8.57	4.09	6.82
	验证集	19	8.00	4.24	6.93
红景天苷	校正集	60	1.14	0.11	0.59
	验证集	19	0.87	0.28	0.63

2.3.3 光谱预处理方法的选择 以多元散射校正法(MSC)、标准归一化法(SNV)、一阶导数法(FD)、二阶导数法(SD)、Savitsky Golay(SG)滤波法、Norris

Derivative(ND)滤波法等方法预处理光谱得不同校正集内部交叉验证相关系数(R)、校正均方差(RMSECV),详见表4。

表4 不同光谱预处理方法对定量模型性能的影响
Tab 4 Effects of different pretreatment methods on the performance of quantitative model

预处理方法	水分			红景天苷		
	主成分数	R	RMSECV	主成分数	R	RMSECV
Constant(无)	6	0.948 9	0.348	8	0.867 7	0.108
MSC	6	0.931 3	0.402	9	0.868 8	0.108
SNV	7	0.931 9	0.404	7	0.865 7	0.109
FD+SG(7,3)	6	0.949 3	0.347	8	0.855 4	0.113
FD+ND(5,5)	5	0.944 7	0.362	7	0.871 1	0.107
SD+SG(7,3)	6	0.952 8	0.335	4	0.752 8	0.145
SD+ND(5,5)	6	0.944 7	0.363	8	0.864 1	0.11

运用TQ Analyst 9.1分析软件对表4数据进行处理,结合PLS法建立NIR定量分析模型。选择 R 、RMSECV为评价指标,综合评价不同模型的准确性与适用性。其中,RMSECV越小,代表模型的预测精度越高; R 越接近1,表示模型的预测准确性越高。结果表明,分别以SD+SG(7,3)和FD+ND(5,5)预处理光谱后,水分和红景天苷定量模型效果最好,可以消除多重光谱偏差,对导数光谱进行微调处理,NIR见图3。

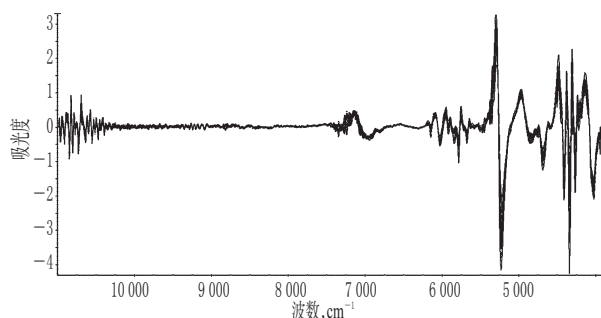


图3 预处理后的近红外光谱

Fig 3 Near-infrared spectra after pretreatment

2.3.4 建模波段的选择 建模波段区间要求包含样品的大量信息,同时要避免冗余信息,降低噪声干扰。分别采用SD+SG(7,3)和FD+ND(5,5)对不同的波段进行手动优化比较,通过TQ Analyst 9.1分析软件得到水分和红景天苷含量预测最佳波段分别为7 343.60~6 865.34,5 183.72~4 890.59 cm^{-1} 和7 050.47~4 327.48 cm^{-1} ,详见表5。

2.3.5 主成分数的选择 主成分数的选择是否得当直接关系到所建定量模型的性能,故需要对主成分数进行筛选。采用留一交叉验证法考察主成分数对RMSECV的影响。结果表明,当PLS因子数分别为6、8时,水分和红景天苷含量的RMSECV最小,分别为0.335、0.107,即为最佳建模主成分数。

2.3.6 定量模型的建立与验证 在最佳光谱预处理、建模波段及主成分数优化的基础上,运用TQ Analyst 9.1分析软件,采用PLS法分别建立水分和红景天苷的定量

表5 不同波段对定量模型性能的影响

Tab 5 Effects of different spectral ranges on the performance of quantitative model

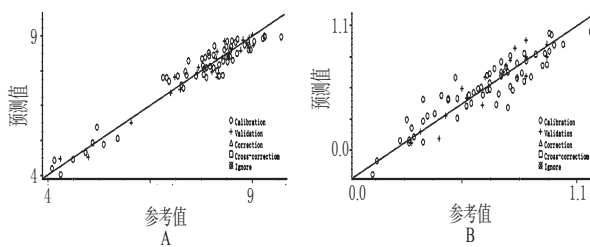
待测指标	波段, cm^{-1}	主成分数	R	RMSECV
水分	10 000.00~4 000.00	7	0.946 1	0.361
	7 343.60~6 865.34	6	0.952 8	0.335
	5 183.72~4 890.59			
	6 996.48~4 003.50	8	0.950 8	0.344
	5 484.56~4 975.44	9	0.929 6	0.410
	7 000.00~5 000.00	8	0.945 6	0.363
红景天苷	10 000.00~4 000.00	7	0.865 5	0.109
	7 050.47~4 327.48	7	0.871 1	0.107
	6 965.62~5 523.13	7	0.865 3	0.109
	5 831.68~5 669.69	8	0.870 0	0.107
	6 965.62~6 225.09			
	5 831.68~4 327.48	8	0.801 8	0.131
7 999.28~4 010.59	7	0.862 8	0.110	

模型。模型评价结果见表6,预测值与参考值的相关性见图4。由表6(表中“RMSEP”为外部验证均方差)和图4可知,红景天药材中水分和红景天苷含量NIR预测值与参考值具有良好的相关性,表明所建模型稳定可靠,可用于待测指标成分含量的快速测定。水分和红景天苷含量的预测值与参考值的偏差图(见图5)显示,所建定量模型的预测偏差分别小于0.6%、0.2%。

表6 模型评价结果

Tab 6 Results of model evaluation

待测指标	校正集		验证集		内部交叉验证	
	R	RMSECV	R	RMSEP	R	RMSECV
水分	0.968 9	0.273 0	0.977 1	0.222 0	0.952 8	0.335 0
红景天苷	0.920 3	0.085 0	0.930 0	0.075 5	0.871 1	0.107 0



A.水分;B.红景天苷

A.moisture;B.salidroside

图4 预测值与参考值的相关性

Fig 4 Correlation between predicted value and reference value

3 讨论

本试验考察了自然疏松与压实两种装样方式对NIR的影响,发现两种方式下所得样品光谱图基本一致,故采用常规的压实方式进行红景天药材NIR的采集。

本研究利用TQ Analyst 9.1分析软件,采用NIR技术结合PLS法建立了红景天药材中水分和红景天苷的定量模型,结果表明,该模型专属性好,准确性高,可同时实现对其所含水分和红景天苷含量的快速测定,且与常规的烘干法和HPLC法相比具有高效、无损、绿色、经

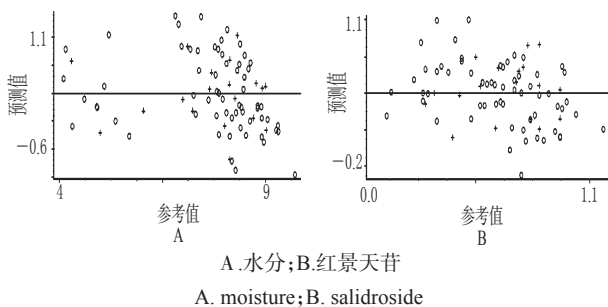


图5 预测值与参考值的偏差图

Fig 5 Deviation between predicted value and reference value

济等特点,能满足工业化生产过程中对大量样品化学信息快速、批量检测的要求。另外,本研究还发现所测83批市售红景天药材的水分合格率为100%,红景天苷合格率为70%。

建立NIR定量模型必须选用大量有代表性的样品。有研究表明,不同产地、海拔、野生或栽培的红景天药材中红景天苷含量差异较大^[15-16]。本试验样品主要来源于西藏和四川产区,其NIR信息仅能反映这两大产区红景天药材的样品特征,为提高NIR模型的普适性,在后期研究中需要收集其他产区的药材样品,使其更具有代表性,并不断提升所建NIR模型预测的准确性,以扩大其应用范围。

参考文献

[1] 徐宝军,郑毅男,李向高.红景天属植物研究新进展[J].中药材,2000,23(9):580-584.

[2] Zhang YS, Yao YY, Wang HJ, et al. Effects of salidroside on glioma formation and growth inhibition together with improvement of tumor microenvironment[J]. *Chin J Cancer Res*, 2013, 25(5): 520-526.

[3] Wang Y, Xu P, Wang Y, et al. The protection of salidroside of the heart against acute exhaustive injury and molecular mechanism in rat[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2013 (5): 1-8.

[4] 郭丰成,历志,金超,等.红景天苷干预小鼠肝纤维化的研究[J].现代生物医学进展,2013,13(15):2825-2828.

[5] Zhang JK, Yang L, Meng GL, et al. Protection by salidroside against bone loss via inhibition of oxidative stress and bone-resorbing mediators[J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e57251.

[6] 陈志英,陈玉婷,王丹红.HPLC测定不同品种红景天中红景天苷的含量[J].中国中药杂志,2006,31(11):939-941.

[7] 杨海龙,臧恒昌,胡甜,等.近红外漫反射光谱法对不同产地山楂的定性鉴别和定量分析[J].药物分析杂志,2014,34(3):396-401.

[8] 谢彩侠,左春芳,白雁,等.近红外光谱技术快速测定盾叶薯蓣中伪原薯蓣皂苷的含量[J].中国药房,2013,24(15):1396-1399.

[9] 高鸿彬,刘浩,相秉仁.半夏及其伪品天南星的近红外漫反射快速无损鉴别[J].光谱实验室,2012,29(2):899-902.

[10] 李化,苏建春,柯华香,等.基于近红外漫反射光谱和多元数据分析的黄芩质量标准的快速评价方法的研究[J].药物分析杂志,2015,35(3):58-64.

[11] 贺敬霞,杨滨,柯华香,等.近红外光谱法快速测定丹皮中丹皮酚和水分的含量[J].中国实验方剂学杂志,2015,21(22):64-67.

[12] 朱曼萍.大花红景天的化学成分及质量研究[D].北京:北京中医药大学,2007.

[13] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:四部[S].2015年版.北京:中国医药科技出版社,2015:104.

[14] 李家春,萧伟,孙兰,等.基于近红外光谱的白芍药材快速分析[J].中国实验方剂学杂志,2012,18(6):57-60.

[15] 许松姬,韩春姬,康东周.不同产地、不同海拔红景天药材中红景天苷的含量测定[J].延边大学医学学报,2011,34(2):122-124.

[16] 崔秀梅,商国懋,吴建民.不同产地大花红景天中红景天苷含量比较[J].中国现代中药,2010,12(9):26-27.

(收稿日期:2016-11-26 修回日期:2017-04-09)

(编辑:张静)

《中国药房》杂志——中国科技核心期刊,欢迎投稿、订阅