

藏药五脉绿绒蒿不同部位红外光谱判别分析

李 朵^{1,2}, 李佩佩^{1,2}, 栾真杰^{1,2}, 孟晓萍¹, 孙 菁^{1*}¹中国科学院西北高原生物研究所 青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室, 西宁 810008;²中国科学院大学, 北京 100049

摘要:本文以粉末状五脉绿绒蒿花、叶及全草为研究对象,采集其中红外谱图,结合化学计量学方法建立部位判别模型。分析各部位中红外吸收光谱可知,宏观上难以区分不同部位中红外谱图差异;经统计学分析,不同部位各吸收峰处吸光度值之间差异极显著,可据此建立部位判别模型。以识别率和预测率为指标优化建模条件,建模条件为 Distance Match + SNV + 二阶导数谱图(D2),建模波段为 3 031 ~ 2 810 cm^{-1} 和 1 800 ~ 1 450 cm^{-1} ,所建模型识别率 99.05%、预测率 96.19%,外部测试集识别率达 96.67%;模型 ER 值均小于 0.02,TPR、TNR 和 F1 值在均 0.97 ~ 1.00 之间。模型判别效果良好,可实现五脉绿绒蒿不同部位的快速有效识别。

关键词:藏药;五脉绿绒蒿;中红外光谱;部位判别模型

中图分类号:R282.5

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2020)5-0805-08

DOI:10.16333/j.1001-6880.2020.5.012

Discriminant analysis by MIR spectroscopy on different parts of Tibetan medicine *Meconopsis quintuplinervia* Regel

LI Duo^{1,2}, LI Pei-pei^{1,2}, LUAN Zhen-jie^{1,2}, MENG Xiao-ping¹, SUN Jing^{1*}¹Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resource, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: *Meconopsis quintuplinervia* Regel, a traditional Tibetan medicine, is usually used in the part of flower powder as medicine. It has been reported that this medicinal species can be used to treat pneumonia, hepatitis, etc. while different parts of its powder presented different therapeutic effect. Therefore, in this study, the different parts of powdered flower, leaf and whole grass in this medicine were considered as the research objects so as to solve the problem of discrimination of different medicinal part. First, mid-infrared spectra of different parts in *M. quintuplinervia* were collected, and spectral features and one-way ANOVA of absorbance values were also analyzed among different parts. It was found that it was difficult to discriminate parts in visual although the MIR spectra features varied in each part. Then, a statistical analysis revealed that the difference of absorbance values among different peaks was very significant. The results indicated that the establishment of a part discriminant model was available. Finally, orthogonal test and range analysis were also processed to optimize the modeling conditions with recognition rate and prediction rate as indicators. The results showed that the optimized modeling method was Distance Match + SNV + second derivative spectrum (D2), and the modeling wavenumber were set in two different spectral ranges 3 031-2 810 cm^{-1} and 1 800-1 450 cm^{-1} , respectively. The recognition rate of model was 99.05%, and the prediction rate was 96.19%. Then the recognition rate of test set of 96.67% was obtained and performed a well model. Meanwhile, additional recognition performance was evaluated in order to judge the effect of the model. The results showed a lower ER (error rate) values than 0.02, and the value of TPR (true positive rate), TNR (true negative rate) and F1 were between 0.97 and 1.00. Therefore, it was revealed that the established model in our study can rapidly and effectively identify the different parts of *M. quintuplinervia*.

收稿日期:2020-01-08 接受日期:2020-04-27

基金项目:国家自然科学基金青年基金(81403051);青海省自然科学基金面上项目(2019-ZJ-904);青海省科研基础条件创新平台专项(2020-ZJ-T05);西宁市重点研发与转化计划(2018-Y-59)

*通信作者 E-mail:sunj@nwipb.cas.cn

Key words: Tibetan medicine; *Meconopsis quintuplinervia* Regel.; mid-infrared spectroscopy; part discriminant model

五脉绿绒蒿(*Meconopsis quintuplinervia* Regel)为罂粟科(Papaveraceae)绿绒蒿属(*Meconopsis*)多年生草本植物,藏音译名“欧贝完保”,是使用广泛的藏药材,具有重要的药用价值。《晶珠本草》记载,五脉绿绒蒿以花入药,性味甘、涩、凉,具清热解毒、消炎止痛的功效,可用于治疗肺炎、肝炎等^[1],也可清除自由基,提高抗氧化活性^[2]。相关文献亦记载,五脉绿绒蒿可用全草或花入药,但以花入药解热效果好^[3],不同的部位入药效果不同。药材有效成分的提取常以粉末进行^[4],粉末状态有利于有效成分的快速有效提取,但是难以从外观对入药部位进行准确鉴别,而采用传统的显微鉴别或理化鉴别耗时耗力,不利于生产实践应用。因此,为了保证入药疗效和扩大应用,需建立一种快速、高效、准确的原药材部位判别方法。

中红外光谱反映的是分子中原子的伸缩和变形振动运动,波数范围为 $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$,具有快速、准确、重现性好、样品制备少等优点,应用范围广泛^[5-9]。目前关于中红外光谱法鉴别药材不同部位已有报道。Wang等^[10]对白花丹参不同部位的红外光谱、二阶导数谱图以及二维相关谱进行了研究,结果表明,白花丹参不同部位的三级鉴定均存在差异。Zhao等^[11]对青海省两个不同居群五脉绿绒蒿的花、花梗、叶和全草进行中红外全光谱扫描,发现一维红外光谱和二阶导数谱图能识别五脉绿绒蒿的不同部位,但是该工作仅从谱图解析方面区分五脉绿绒蒿不同部位,判别效果不够直观、快速。本文在前述研究工作的基础上,结合化学计量学方法建立五脉绿绒蒿部位判别模型,能够更为快速直观地识别五脉绿绒蒿不同部位。该方法不需要具备专业光谱学知识,有助于非专业人士操作,在生产实践中具有更大的推广应用价值,可为药企GMP生产实践提供更为准确快捷的检测方法。在已有的关于中红外光谱法鉴别药材不同部位的报道中,大多是通过谱图解析的方法识别药材不同部位,或仅建立模型进行判别,利用谱图解析结合化学计量学方法建立模型进行部位判别的研究则鲜有报道。

因此,本研究以传统藏药五脉绿绒蒿的叶部位、花部位及全草为研究对象,利用中红外光谱分析技术开展了谱图特征分析,同时结合化学计量学方法建立五脉绿绒蒿部位判别模型,从药材源头保证不

同部位药材的准确性,为该资源后续的质量检测提供科学依据和有效借鉴,以期保障用药的有效性。

1 材料与方法

1.1 材料

于6~7月五脉绿绒蒿植物花期,在青海省玉树县、循化县和湟中县三个地区的五脉绿绒蒿典型生长环境,即高山草甸、阴坡灌丛中采集五脉绿绒蒿全草。同一地区每隔数米采集一株全草,且随机选取植株大小,以确保样本能代表该地区的五脉绿绒蒿整体水平,不同地区间五脉绿绒蒿外观上无明显差异。将采集的植株带回实验室洗净、晾干,分为花、叶及全草,共得到346份不同部位样品,分别粉碎、过200目筛后放入干燥器,待分析用。原植物标本经中国科学院西北高原生物研究所卢学峰研究员鉴定为罂粟科绿绒蒿属五脉绿绒蒿(*Meconopsis quintuplinervia* Regel)。

1.2 仪器与试剂

仪器:IS50傅里叶变换红外光谱分析仪(美国,Thermo Fisher公司),烘箱(上海一恒科学仪器有限公司),电子天平(Meterler ME104,0.0001g),压片模具(直径:13mm,美国PIKE公司),玛瑙研钵,粉碎机,200目筛,干燥器。

试剂:溴化钾(光谱纯,Thermo Fisher Scientific公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 中红外光谱的采集

利用KBr压片法对样品进行中红外光谱采集,样品颗粒度大小为200目,以样品:KBr=1:100的比例进行研磨,用1.9T的压力进行压片,扫描前扣除CO₂和水的干扰,扫描次数为32次,分辨率为 4 cm^{-1} 。采集光谱时,每个样品采集3次,并取平均谱图作为原始光谱。数据采集前先将仪器预热半小时,待仪器稳定后使用。实验室温度保持在25℃左右,湿度控制在35%以下。

1.3.2 方差分析

利用SPSS软件对各吸收峰处的吸光度值进行单因素方差分析,判断同一吸收峰处五脉绿绒蒿不同部位的吸光度值之间是否存在差异。

1.3.3 模型的建立

研究所用的TQ Analyst软件中应用于定性分析方法有距离匹配(Distance Match, DM)和判别分析

(Discriminant Analysis, DA)方法。其中,DM 是通过计算未知样品光谱到每类物质光谱集中点的距离来判断未知样品与已知物质类别的匹配方法,比较结果称为“距离匹配值”(也称马氏距离),反应了样品与标准品的匹配程度^[12]。DA 是一种有监督模式识别方法,通过计算未知样品光谱到每类物质光谱中心的距离来判断未知样品与哪个类别最相似,结果是

表 1 五脉绿绒蒿不同部位样品校正集与预测集的样本集分布

Table 1 Modeling and validation distribution in different parts of *M. quintuplinervia*

部位 Part	校正集 Number of modeling	预测集 Number of validation	测试集 Number of prediction	合计 Total
叶 Leaf	73	36	10	119
花 Flower	70	35	10	115
全草 Whole grass	68	34	10	112
合计 Total	211	105	30	346

平滑方法根据不同谱图类型进行选择:原谱图不经平滑处理,一阶导数谱图(D1)、D2 均经 Norris 平滑处理,有效位数为 5,有效位间隔为 5。再根据 TQ Analyst 软件的建模方法、光程类型及谱图类型

提供与未知样品光谱最相似的物质类别的名称^[13]。

数学模型的建立需要具有光谱数据和其他定性数据的校正集、预测集和外部验证集样品,将样品的中红外均谱($n = 3$)导入 TQ Analyst 软件,利用随机法对样本集进行划分,各部位选 10 份样品为外部测试集,剩下的 316 份样品 2/3 为校正集,1/3 为预测集^[14],各部位样本集分布如下(表 1)。

表 2 正交试验因素水平表

Table 2 Factor table of orthogonal experiment

水平 Level	A 建模方法 A Modeling method	B 光程类型 B Pathlength	C 谱图类型 C Spectral type
L1	DM	Constant	原谱图
L2	DA	MSC	D1
L3	-	SNV	D2

的预处理方法设计正交试验因素水平表(表 2)和正交试验表 L18(2×3^2),利用正交试验及极差分析优化建模方法、光程类型及谱图类型。

根据正交试验下建模条件的组合,记录不同建模组合条件下模型的校正集误判数和预测集误判数,以式(1)和式(2)计算模型的识别率和预测率,以此为指标判断模型效果,识别率和预测率最高的建模条件组合为实际最优组合。对正交试验结果进行极差分析,得出理论最优组合。将实际最优组合与理论最优组合进行比较,选出最佳建模条件,同时利用相关系数法(Correlation Coefficient)确定建模波段。最后,利用优化的建模条件和建模波段建立部位判别模型。

识别评价除采用上述识别率及预测率为指标外,另采用了误分类率(ER),真正率(TPR),真负率(TNR)和 F1 进行评价,其中 ER 指分类预测错误的样本比例;TPR 又称灵敏度,指正确识别阳性样本比例;TNR 指正确识别阴性样本比例,TPR、TNR 和 F1 越高,ER 越低,分类模型的性能越好^[15]。各参数计算公式如下:

$$ER = (FP + FN) / n \quad (3)$$

$$TPR = TP / (TP + FN) \quad (4)$$

$$TNR = TN / (FP + TN) \quad (5)$$

$$F1 = 2 \times TP / (2 \times TP + FP + FN) \quad (6)$$

式中,TP 为真正类,表示真样本被识别为真样本;FN 为假正类,表示真样本被识别为伪样本;TN 为真负类,表示伪样本被识别为伪样本;FP 为假负类,表示伪样本被识别为真样本,n 为总样本量。

$$\text{识别率} = (\text{校正集总数} - \text{校正集误判数}) / \text{校正集总数} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{预测率} = (\text{预测集总数} - \text{预测集误判数}) / \text{预测集总数} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.4 模型评价

对所建模型进行模型性能识别评价,模型性能

2 结果与讨论

2.1 特征谱图分析

中红外光谱吸收峰是基频、倍频或合频吸收,具有分子结构的特征性,光谱的不同峰位、峰形代表不同的基团,峰强度代表基团的含量,它反映的是该混合体系中各个官能团的成分的叠加谱,不同混合体系的化学组成不同,故其谱图也不同^[16]。根据五脉绿绒蒿不同部位的一维平均谱图可知(图1),五脉绿绒蒿不同部位的红外谱图大体上相似,但在2 852

cm^{-1} 处,叶部位具有明显的吸收,而其它两部位吸收不明显;在1 385 cm^{-1} 处,仅全草有吸收,其他两部位在此处没有吸收峰。2 852 cm^{-1} 处为C-H键对称伸缩振动,1 385 cm^{-1} 处为酯类C-H键弯曲振动,说明花和叶部位中基本不含酯类化合物,且在全谱图范围内,全草吸光度普遍高于其它部位,说明全草中化合物的含量高于其它部位,这与Zhao等^[11]的研究结果一致。

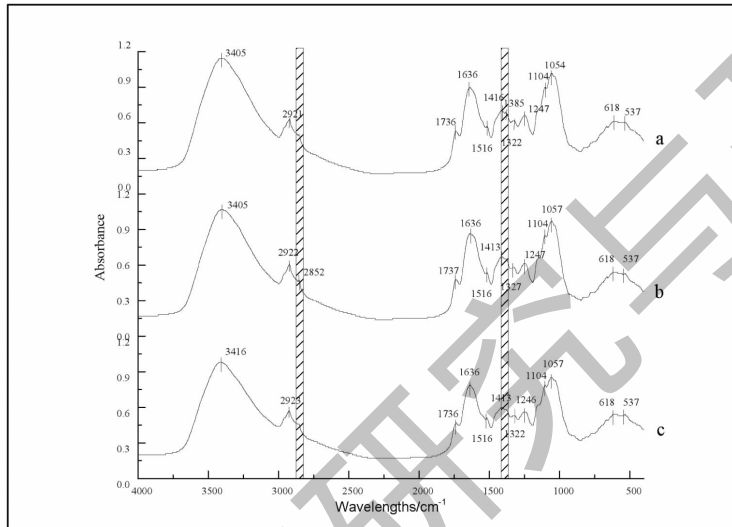


图1 五脉绿绒蒿不同部位中红外一维平均谱图

Fig. 1 Full MIR spectra range of different parts of *M. quintuplinervia*

注:a:全草平均谱图;b:叶平均谱图;c:花平均谱图。Note:a:Average MIR spectra of whole herbs;b:Average MIR spectra of leaves;c:Average MIR spectra of flowers.

由于不同部位的红外谱图大体上相似,宏观上难以判断不同部位是否对五脉绿绒蒿中红外一维谱

图有影响,故在全波段范围内,对不同部位同一吸收峰处的吸光度值进行单因素方差分析,结果见表3。

表3 不同部位同一吸收峰处的吸光度值单因素方差分析

Table 3 One-way ANOVA of each absorbance of different parts

波数 Wave number (cm^{-1})	变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i>	显著性 Significance
3 407	部位间	1.485	2	0.743	30.585	**
	部位内	8.329	343	0.024		
	总变异	9.814	345			
2 922	部位间	0.161	2	0.081	8.879	**
	部位内	3.117	343	0.009		
	总变异	3.278	345			
2 852	部位间	0.007	2	0.004	0.788	
	部位内	0.646	138	0.005		
	总变异	0.654	140			

续表 3 (Continued Tab. 3)

波数 Wave number (cm^{-1})	变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	显著性 Significance
1 736	部位间	0.217	2	0.108	32.459	**
	部位内	1.023	306	0.003		
	总变异	1.240	308			
1 634	部位间	0.766	2	0.383	20.600	**
	部位内	6.378	343	0.019		
	总变异	7.144	345			
1 516	部位间	0.100	2	0.050	7.950	**
	部位内	1.352	214	0.006		
	总变异	1.453	216			
1 413	部位间	0.570	2	0.285	30.238	**
	部位内	3.092	328	0.009		
	总变异	3.662	330			
1 385	部位间	0.165	2	0.083	7.357	**
	部位内	1.324	118	0.011		
	总变异	1.489	120			
1 322	部位间	0.324	2	0.162	27.762	**
	部位内	1.712	293	0.006		
	总变异	2.036	295			
1 246	部位间	0.562	2	0.281	36.998	**
	部位内	2.599	342	0.008		
	总变异	3.162	344			
1 104	部位间	0.704	2	0.352	18.203	**
	部位内	5.689	294	0.019		
	总变异	6.393	296			
1 056	部位间	1.662	2	0.831	25.640	**
	部位内	11.085	342	0.032		
	总变异	12.748	344			
618	部位间	0.380	2	0.190	47.471	**
	部位内	1.255	314	0.004		
	总变异	1.635	316			
537	部位间	0.239	2	0.119	35.041	**
	部位内	0.634	186	0.003		
	总变异	0.873	188			

注: ** $P < 0.01$ 。

由表 3 可知,在全波段范围内,2 852 cm^{-1} 处吸光度值之间差异不显著,其他吸收峰处的吸光度值之间的差异均达到了极显著水平,说明五脉绿绒蒿不同部位中化合物含量差别较大。

不同部位粉末的中红外谱图在全波段范围内存在差异,但仅从宏观上难以区分,不利于在生产实践

中的推广应用。因此,可根据不同部位各吸收峰处吸光度值之间的差异建立五脉绿绒蒿部位判别模型,以快速准确鉴别五脉绿绒蒿的不同部位。

2.2 模型的建立

2.2.1 建模条件的优化

按正交试验表进行正交试验,结果如表 4 所示。

从表 4 可知, No. 9 模型结果在所有试验组合中实际最优组合。好, 模型识别率为 99.05%, 预测率为 96.19%, 为实

表 4 不同部位判别模型正交试验结果直观分析

Table 4 Visual analysis of orthogonal test results of part discriminant model

序号 No.	A 建模方法 A Modeling method	B 光程类型 B Pathlength	C 谱图类型 C Spectral type	识别率 Recognition rate (%)	预测率 Prediction rate (%)	总和 Sum (%)
1	1	1	1	76.30	75.24	75.95
2	1	1	2	95.73	96.19	95.89
3	1	1	3	98.58	96.19	97.78
4	1	2	1	78.67	74.29	77.22
5	1	2	2	98.10	97.14	97.78
6	1	2	3	99.05	95.24	97.78
7	1	3	1	77.73	75.24	76.90
8	1	3	2	98.10	97.14	97.78
9	1	3	3	99.05	96.19	98.10
10	2	1	1	91.00	92.38	91.46
11	2	1	2	85.78	87.62	86.39
12	2	1	3	91.00	83.81	88.61
13	2	2	1	88.15	82.86	86.39
14	2	2	2	88.15	85.71	87.34
15	2	2	3	95.26	85.71	92.09
16	2	3	1	87.20	82.86	85.75
17	2	3	2	88.15	84.76	87.03
K1		815.19	536.08	493.35		K = 4 834.18
K2		796.20	538.61	552.22		
K3		—	536.71	565.82		
$\bar{K}1$		90.58	89.35	82.22		
$\bar{K}2$		88.47	89.77	92.04		
$\bar{K}3$		—	89.45	94.30		
R		2.41	0.42	12.08		

根据各水平的 K 均值可知, A 因素在 1 水平效果较好, B 因素在 2 水平效果较好, C 因素在 3 水平效果较好, 故理论最优组合为 $A_1B_2C_3$, 即 No. 6。根据 R 值可知, 谱图类型是影响判别模型的主要因素, 其次为建模方法, 光程类型对模型影响效果较小。

理论最优组合为 No. 6, 实际最优组合为 No. 9, 由表 4 可知 No. 9 模型效果优于 No. 6, 但两种组合的识别率均为 99.05%, No. 9 预测率为 96.19%, No. 6 预测率为 95.24%, 相差较小, 两种组合仅光程类型不同, 与极差分析中光程类型影响力度最小的结果一致。最终以 No. 9 组合为建模条件, 即建

模方法为 DM, 光程类型为 SNV, 谱图类型为 D2; 同时利用 Correlation Coefficient 方法进行建模波段的选择, 最终确定建模波段为 $3\ 031 \sim 2\ 810\ \text{cm}^{-1}$ 及 $1\ 800 \sim 1\ 450\ \text{cm}^{-1}$ 两个波段。

2.2.2 模型的建立

按优化的建模条件及建模波段进行建模, 在 316 个样本集中, 叶部位有 109 个样品, 花部位有 105 个样品, 全草有 102 个样品。在 TQ Analyst 软件中利用 DM 方法、SNV 归一化和二阶导数处理进行建模, 图 2 为五脉绿绒蒿部位判别模型在前三个主成分中的 3D 显示图, 其识别率为 99.05%、预测率为 96.19%。将外部测试集的 30 份样品谱图代

入模型中进行验证,仅 1 份样品识别错误,外部测试集识别率达到 96.67%。

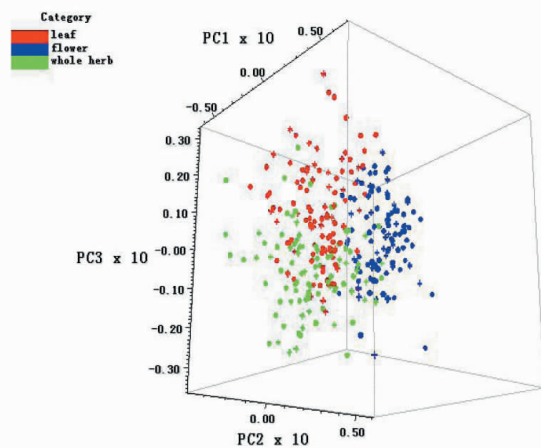


图 2 五脉绿绒蒿部位判别模型前三主成分 3 显示 D 图

Fig. 2 Part discriminant model of *M. quintuplinervia* in 3D on top 3 principal components

从模型 3D 图看,该模型可将花部位分出,但叶部位与全草存在部分交叉,Zhao 等^[11]以五脉绿绒蒿全草的红外谱图为参照,利用 OMNIC 7.0 软件的质量检查功能计算花梗、叶、花与全草的相似系数,结果表明全草和叶的相似系数最高;五脉绿绒蒿全草中叶的生物量占比较大,花与根的生物量占比小,以

上可能是导致叶部位与全草存在部分交叉的原因。

2.3 模型评价

模型识别性能的评价通过有监督方法进行,通常采用 ER、TPR、TNR 和 F1 参数评价。利用式(3)~(6)计算各项参数,结果如表 5 所示。

表 5 不同部位模型识别性能评价参数表

Table 5 Evaluation parameters of established model

部位 Part	ER	TPR	TNR	F1
叶 Leaf	0.012 7	0.981 7	0.990 3	0.981 7
花 Flower	0.015 8	0.982 6	0.985 1	0.978 3
全草 Whole grass	0.009 5	0.980 4	0.995 3	0.985 2

一个良好的定性模型通常具有低的 ER 值和高的 TPR、TNR 和 F1 值^[17]。由表 5 可知,该模型的 ER 值在 0.02 以下,TPR、TNR 和 F1 值在 0.97 ~ 1.00 之间,说明该模型具有较好实用性,可用于快速有效地判别五脉绿绒蒿的不同部位。

3 结论

本研究对五脉绿绒蒿不同部位的中红外一维平均谱图进行分析,并建立了一种快速、高效、准确的原药材部位判别方法。一维平均谱图中,不同部位的红外谱图大体相似,但在 2 852 和 1 385 cm^{-1} 处存在差异,且在全谱图范围内,全草吸光度普遍高于其它部位,说明花和叶部位中基本不含酯类化合物,且全草中化合物的含量普遍高于其它部位。部位判别模型的建模条件为 Distance Match + SNV + D2,建模波段为 3 031 ~ 2 810 和 1 800 ~ 1 450 cm^{-1} 两个波

段,所建模型识别率为 99.05%、预测率为 96.19%,外部测试集识别率达到 96.67%,且识别性能评价良好。该模型具有较好实用性,可用于快速、批量地判别五脉绿绒蒿的不同部位,且对模型使用者的专业性要求不高,有利于在实际生产中推广应用,在保障用药安全性及疗效方面具有重要意义,可为其他藏药材资源不同部位的快速识别提供借鉴或参考。

参考文献

- 1 Danzengpengcuo D. Jingzhu Materia Medica (晶珠本草) [M]. Shanghai: Shanghai Science Press, 1980: 114-115.
- 2 He J, Huang B, Ban XQ, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of the ethanolic extract from *Meconopsis quintuplinervia* [J]. J Ethnopharmacol, 2012, 141(1): 104-110.
- 3 Wang ZM. Research progress in chemical constituents and

- biological activities of *Meconopsis* [J]. West China J Pharm Sci(华西药学杂志),2010,25:759-761.
- 4 Wu YF, Pan L, Ding LS, et al. Chemical constituents of a Tibetan medicine *Meconopsis quintuplinervia* Regel. [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2007,19:811-813.
 - 5 Murugesu S, Ahmed QU, Uzir BF, et al. Rapid investigation of α -glucosidase inhibitory activity of *Clinacanthus nutans* leaf using infrared fingerprinting [J]. Vib Spectrosc,2019,100:22-29.
 - 6 Liu YD, Hu J, Tang TY, et al. Methanol content determination in methanol gasoline with mid infrared spectroscopy analysis [J]. Spectrosc Spect Anal(光谱学与光谱分析),2019,39:459-464.
 - 7 Elmi F, Movaghar AF, Elmi MM, et al. Application of FT-IR spectroscopy on breast cancer serum analysis [J]. Spectrochim Acta A,2017,187:87-91.
 - 8 Yin LH, Zhou JM, Chen DD, et al. A review of the application of near-infrared spectroscopy to rare traditional Chinese medicine [J]. Spectrochim Acta A,2019,221:1-9.
 - 9 Ni LJ, Zhang FF, Han MY, et al. Qualitative analysis of the roots of *Salvia miltiorrhiza* and *Salvia yunnanensis* based on NIR, UHPLC and LC-MS-MS [J]. J Pharm Biomed Anal,2019,170:295-304.
 - 10 Wang P, Guo QM, Zhao QT, et al. Study on identification of different parts of *Salvia miltiorrhiza* by multi-steps infrared macro-fingerprint method [J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2011,17(9):113-117.
 - 11 Zhao QS, Zhou YB, Sun SN, et al. Analysis of different parts of Tibetan medicine *Meconopsis quintuplinervia* Regel. by FT-IR [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2015,27:1052-1055.
 - 12 Wang FZ. Application of near infrared spectroscopy in the identification of *Dioscoreae Nipponicae Rhizoma* [D]. Shandong: Shandong Agricultural University(山东农业大学),2019.
 - 13 Liu JD. The quality evaluation of saffron by near-infrared spectroscopy [D]. Jiangsu: Jiangsu University(江苏大学),2017.
 - 14 Shi JY, Li WT, Zou XB, et al. Multi-index rapid detection of salmon quality based on near-infrared spectroscopy [J]. Spectrosc Spect Anal(光谱学与光谱分析),2019,39:2244-2249.
 - 15 Chen XY. Study on fast quality evaluation of decoction pieces of *Rhizoma Atractylodis Macrocephalae* by near-infrared spectroscopy and color difference meter [D]. Guangdong: Guangdong Pharmaceutical University(广东药科大学),2019.
 - 16 Zou XB, Feng T, Zheng KY, et al. Simultaneous identification of wheat origin and drying degree using near-infrared and mid-infrared fusion techniques [J]. Spectrosc Spect Anal(光谱学与光谱分析),2019,39:1445-1450.
 - 17 Chen XY, Sun XF, Hua HM, et al. Quality evaluation of decoction pieces of *Rhizoma Atractylodis Macrocephalae* by near infrared spectroscopy coupled with chemometrics [J]. Spectrochim Acta A,2019,221:1-8.

致谢:对以下合作单位参与本刊的学术建设表示由衷的感谢!

广西壮族自治区药用植物园

昆明医科大学药学院

西南交通大学生命科学与工程学院

西南交通大学期刊社