

# 基于近红外光谱技术评价不同等级渣驯的质量

赵明明<sup>1</sup>, 范久余<sup>1</sup>, 古锐<sup>1\*</sup>, 宋涛<sup>2</sup>, 曹贇<sup>1</sup>, 刘艳回<sup>1</sup>, 万丽<sup>1</sup>

(1. 成都中医药大学药学院, 民族医药学院, 成都 611137;

2. 四川威尔检测技术股份有限公司, 成都 610041)

**[摘要]** **目的:**采用近红外光谱技术(NIRS)结合统计学手段,探讨渣驯与其代用品的快速鉴别方法以及渣驯质量的评价方法。**方法:**参考传统外观质量分级将渣驯药材及其代用品分为4个等级,测定不同等级渣驯及代用品中黄腐酸的含量,分析其与渣驯质量分级的相关性;采集近红外光谱,结合主成分分析,探讨质量等级与近红外光谱的定性关系。采用偏最小二乘法(PLS)建立近红外定量分析模型,考察渣驯及其代用品质量快速评价的可行性。**结果:**黄腐酸含量与渣驯外观质量分级无明确相关性;IV级(代用品)近红外光谱与其他等级渣驯能显著分开,而I, II, III等级渣驯的近红外光谱分辨率不高,但具有一定的变化规律;所建立的渣驯中黄腐酸的近红外定量分析模型的决定系数( $R^2$ ) = 80.13%,交互验证误差均方根(RMSECV) = 0.047,表明该模型预测效果较好;验证集  $R^2$  = 11.91%,预测误差均方根(RMSEP) = 0.12,相对分析误差(RPD) = 1.12,说明模型稳健性与分辨力不理想。**结论:**近红外光谱结合主成分分析能够为渣驯与其代用品的快速鉴别提供参考;黄腐酸不能作为渣驯质量优劣的评价指标,有必要进一步探索渣驯质量标志物,用以评价该药材的质量。

**[关键词]** 渣驯; 黄腐酸; 质量分级; 近红外光谱; 定量模型; 质量评价; 主成分分析

**[中图分类号]** R22;R282;R283;R284;R927.11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)17-0093-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20181703

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20180620.1859.002.html>

**[网络出版时间]** 2018-06-21 11:18

## Quality Assessment of Zhaxun with Different Classifications Based on Near Infrared Spectroscopy

ZHAO Ming-ming<sup>1</sup>, FAN Jiu-yu<sup>1</sup>, GU Rui<sup>1\*</sup>, SONG Tao<sup>2</sup>, CAO Yun<sup>1</sup>, LIU Yan-hui<sup>1</sup>, WAN Li<sup>1</sup>

(1. College Pharmacy, Ethnic Medicine School, Chengdu University of Traditional Chinese  
Medicine, Chengdu 611137, China;

2. Sichuan Willtest Technology Co. Ltd., Chengdu 610041, China)

**[Abstract]** **Objective:** To explore rapid identification method of Zhaxun and its substitutes and to develop quality assessment method of Zhaxun by near infrared spectroscopy (NIRS) combined with statistical methods. **Method:** Zhaxun and its substitutes were divided into four grades according to traditional appearance quality classification, the content of fulvic acid in Zhaxun and its substitutes was determined, and its correlation with quality classification was analyzed. The qualitative relationship between quality classification and spectrum was explored by principal component analysis and NIRS. Partial least squares (PLS) was used to establish a quantitative model of NIRS, feasibility of a rapid assessment method for quality of Zhaxun and its substitute was investigated. **Result:** There was no clear correlation between fulvic acid content and quality classification of Zhaxun; the near infrared spectrum of grade IV (the substitutes) could be significantly separated from other grades, while the resolutions of near infrared spectrum of grade I, II and III were not high, but it had a certain

**[收稿日期]** 20180328(002)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81573699);江西省系统创新基金项目(JXXT201402008-1)

**[第一作者]** 赵明明,在读硕士,从事中药及民族药品种鉴定与资源开发研究,E-mail:953918967@qq.com

**[通信作者]** \*古锐,博士,教授,从事民族药可持续开发与利用研究,E-mail:664893924@qq.com

variation rules. The determination coefficient ( $R^2$ ) of NIRS model of fulvic acid content in Zhaxun was 80.13%, its root mean square error of cross validation (RMSECV) was 0.047, indicating this model had satisfactory predicted results. The  $R^2$ , root mean square error of prediction (RMSEP) and relative percent deviation (RPD) of validation set were 11.91%, 0.12 and 1.12, respectively; which indicated that the model robustness and resolution were not ideal. **Conclusion:** NIRS combined with principal component analysis can provide a reference for the rapid identification of Zhaxun and its substitutes. Fulvic acid content can not be used as a criterion for determining quality of Zhaxun. It is necessary to further explore the quality markers to evaluate the quality of Zhaxun.

[**Key words**] Zhaxun; fulvic acid; quality classification; near infrared spectroscopy; quantitative model; quality evaluation; principal component analysis

渣驯,藏文名意译即“岩精”,其是岩石中富含腐殖质的古生物化石在地质作用下渗出后,与复齿鼯鼠 *Trogopterus xanthipes* 或红耳鼠兔 *Ochotana erythrotis* 粪粒的混合物<sup>[1]</sup>。本品经浸泡熬制成膏后即成为渣驯膏,是大宗常用藏族药(简称藏药),主要用于治疗诸热证,特治胃肝肾热证,如木布病、肝中毒、眼病等<sup>[2]</sup>,在《卫生部颁藏药标准》收录的 201 个成方制剂中,有 42 个含有渣驯膏,足见其在藏药中的重要地位<sup>[3]</sup>。目前,国内对于渣驯药材的质量评价尚限于外观经验鉴别,以色黑、坚硬、质重、粪粒及石块少者为佳;但渣驯药材均一性极差,在形成过程中多少包裹粪粒,仅凭外观难以判断粪便比例,加工成渣驯膏后均为黑色膏状物,更无外观判断指标,因此有必要建立不同等级渣驯质量评判方法。另外,国内广泛使用红耳鼠兔的粪粒凝结物作为其代用品<sup>[4]</sup>,但藏族医生(简称藏医)普遍认为该粪粒凝结物是伪品,药理学研究也证明粪粒凝结物没有抗炎、保肝活性<sup>[5]</sup>,鉴于代用品膏与正品膏的外观鉴别特征同样模糊,因此有必要建立渣驯(膏)与代用品(膏)的鉴别方法。目前,国外广泛以黄腐酸含量作为渣驯提取物质量评价指标<sup>[6-7]</sup>,但是由于岩源有机质和粪粒均含有黄腐酸,该评判指标的科学性有待检验。

近红外光谱技术(NIRS)是目前发展最快且最具有应用前景的过程分析技术之一,可以得到样品中有机分子含氢基团的特征信息,具有样品处理简单、无损耗、分析快速、无需试剂消耗等特点,已经陆续在中药有效成分的测定、产地鉴别及中药制剂生产过程的监控等方面有较广泛的应用<sup>[8-9]</sup>。本实验将渣驯药材及其粪粒凝结物代用品打碎后,在进行外观质量分级及黄腐酸含量测定基础上,借助 NIRS,结合主成分分析、聚类分析等现代统计学手

段,探索不同等级渣驯药材及其代用品的快速鉴别方法,并探讨采用黄腐酸作为渣驯药材含量测定指标的科学性。

## 1 仪器与材料

MPA 型傅立叶变换近红外光谱仪(德国 Bruker 公司),LQ-A3002 型电子天平(上海越平科学仪器有限公司)。重铬酸钾和 1,10-菲啰啉(成都市科龙化工试剂厂,批号分别为 2013101101, 2016120901),试剂均为分析纯。

渣驯药材及其代用品共 104 批。其中 48 批为原产地收集,来源于四川省阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州;53 批为药材市场收集,来源于四川省成都市荷花池药材市场、青海省西宁市九康药材市场;3 批为藏医院收集,包括西藏自治区藏医院、青海省藏医院、四川省阿坝藏族羌族自治州藏医院。上述样品均经成都中医药大学民族医药学院降拥四郎主任医师和古锐教授鉴定,76 批为品质优劣不一的正品,28 批为粪粒代用品。由于渣驯药材中粪粒、石粒分布不均匀,为保证样品的均一性,以渣驯干膏(渣驯的水提物)作为测定对象。参考《六省区藏药标准》<sup>[10]</sup>中渣驯炮制方法,取渣驯药材 100 g,用沸水 800 mL 使溶解,静置 10 h,取上清液,重复 3 次,合并上清液,减压浓缩,60 °C 真空干燥,得渣驯干膏,粉碎后过 80 目筛,备用。

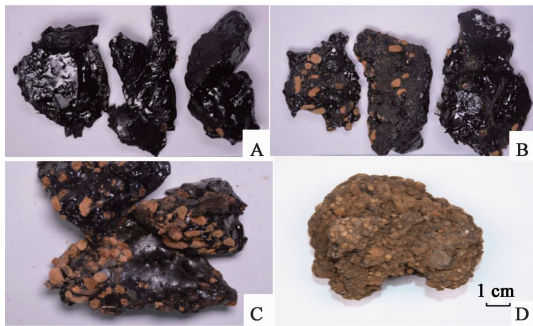
## 2 方法与结果

**2.1 渣驯药材的质量分级** 传统鉴别以渣驯药材色黑、质重、粪粒少为优,反之则质劣<sup>[4]</sup>。为了准确分级,将样品打成碎块后进行等级判断,根据药材颜色、形状、表面、质地、断面、气、味、粪粒多少等,将药材分为 I, II, III, IV 级,其中 I 级为传统鉴别认为的优等品,II 级次之,III 级断面粪粒较多、质较轻,IV 级为代用品。渣驯药材质量分级特征见表 1 和图 1。

表 1 渣驯及其代用品外观分级的性状描述

Table 1 Description of traits of appearance grading of Zhaxun and its substitutes

| 等级  | 颜色      | 形状          | 表面                 | 质地               | 断面                   | 气味       | 粪粒情况 |
|-----|---------|-------------|--------------------|------------------|----------------------|----------|------|
| I   | 黑色、棕黑色  | 不规则团块状      | 粗糙,凹凸不平,大部分具有油性光泽  | 质硬而重,少数沥青状,质软,粘稠 | 断面黑色,极少粪粒            | 气微腥,味辛苦  | 极少   |
| II  | 棕黑色     | 不规则团块状      | 粗糙,凹凸不平少部分光泽,有较少粪粒 | 质硬而沉重            | 断面棕黑色,有较少粪粒          | 气微腥,味辛苦  | 较少   |
| III | 棕黑色、棕黄色 | 不规则团块状      | 粗糙,凹凸不平无光泽,有较多粪粒   | 体较轻,质硬           | 断面棕黑色,有较多粪粒          | 气微腥臭,味辛苦 | 较多   |
| IV  | 棕黄色     | 粪粒团结块或颗粒状粪粒 | 粗糙,凹凸不平,有大量粪粒      | 体轻,质松泡           | 断面黄棕色,粗糙,可见全体为圆形粪粒堆积 | 气腥臭,味辛辣  | 大量   |



A. I 级; B. II 级; C. III 级; D. IV 级

图 1 渣驯药材及其代用品的质量分级照片

Fig. 1 Quality grading photos of Zhaxun and its substitutes

**2.2 黄腐酸的含量测定** 精密称取各批次渣驯干膏粉末 1.0 g, 采用容量滴定法<sup>[11]</sup>测定黄腐酸含量, 见表 2。采用 SPSS 21.0 软件对各等级渣驯及其代用品中黄腐酸含量进行独立样本 *t* 检验, 结果表明 I 级与 III 级, II 级与 IV 级, III 级与 IV 级之间的 *P* < 0.05, 均具有显著性差异, 其余各组间黄腐酸含量无显著性差异, 说明黄腐酸含量与渣驯外观质量分级无明确的相关性。

表 2 不同等级渣驯及其代用品中的黄腐酸含量测定

Table 2 Content of fulvic acid in Zhaxun with different grades and its substitutes

| 等级  | 样本数/批 | 黄腐酸质量分数/%     |       |
|-----|-------|---------------|-------|
|     |       | 范围            | 平均值   |
| I   | 27    | 40.40 ~ 81.84 | 59.14 |
| II  | 23    | 40.5 ~ 85.77  | 65.34 |
| III | 26    | 48.1 ~ 86.87  | 67.60 |
| IV  | 28    | 25.8 ~ 78.37  | 53.10 |

**2.3 近红外光谱的采集** 精密称取各等级渣驯及其代用品干膏粉末 10.0 g, 放入石英样品杯中, 摊

平, 以内置背景作为参比, 扣除参比采集光谱图。采样方式为积分球漫反射, 波数 4 000 ~ 12 000  $\text{cm}^{-1}$ , 分辨率 16.0  $\text{cm}^{-1}$ , 温度 (25 ± 2) °C, 相对湿度 57%。每份样品扫描 2 次, 取其平均光谱作为样品的近红外光谱, 见图 2。

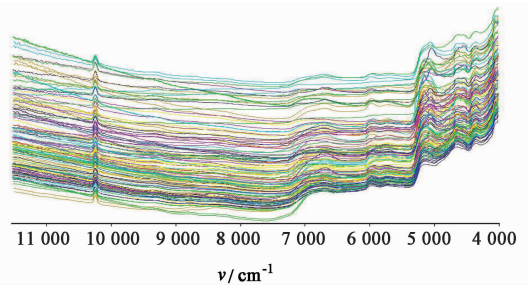


图 2 渣驯及其代用品干膏粉末的近红外原始光谱

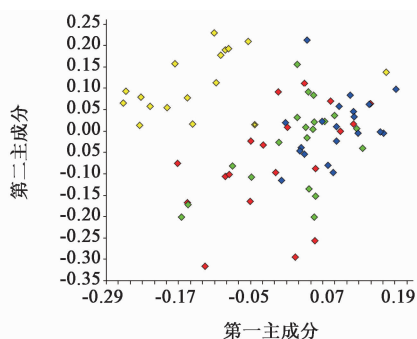
Fig. 2 Original near infrared spectrum of dry extract powder of Zhaxun and its substitutes

采用一阶导数 + 归一化对 4 个等级渣驯的近红外光谱进行光谱预处理, 之后进行主成分分析, 见图 3。结果发现 IV 级(代用品)近红外光谱投影与各等级正品渣驯能显著分开(仅个别点离散), 而各等级正品渣驯间不能完全分开, 提示近红外光谱结合主成分分析能够快速鉴别渣驯正品与代用品。将 I, II, III 等级单独进行光谱预处理, 见图 4。结果发现 I, II, III 等级药材的近红外光谱分辨率不高, 但是具有一定的变化规律。

## 2.4 NIRS 模型的建立

**2.4.1 校正集和验证集的选择** 共测定 104 批渣驯样品中黄腐酸的含量, 其中 76 批作为校正集, 黄腐酸质量分数 35.62% ~ 81.84%。28 批为 2017 年本课题组产地自采样品, 作为验证集, 其黄腐酸质量分数 25.86% ~ 71.50%。

**2.4.2 光谱波段的选择** 在建立校正模型时, 对光谱波段进行考察, 以减少冗余信息, 提高模型预测精



红色. I 级; 绿色. II 级; 蓝色. III 级; 黄色. IV 级

图 3 不同等级渣驯及其代用品近红外图谱的主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of near infrared spectrum of Zhaxun with different grades and its substitutes

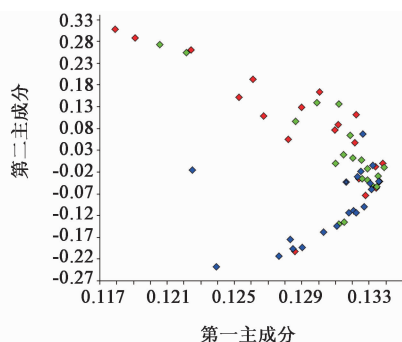


图 4 I, II, III 级渣驯近红外图谱的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis of near infrared spectrum of Zhaxun with grade I, II and III

度<sup>[12-15]</sup>。选择波段 9 404 ~ 4 243  $\text{cm}^{-1}$  考察, 以交互验证误差均方根 (RMSECV) 为考察指标, 最终确定在波段 7 506 ~ 4 598  $\text{cm}^{-1}$  时, RMSECV 最小 (4.65), 模型预测精度较好。

**2.4.3 光谱预处理方法的选择** 采用二阶导数预处理方法对原始光谱进行预处理, 以减少测定过程中存在高频噪音、基线漂移、散射光、杂散光、仪器响应和样品状态等影响因素, 提高模型预测精度<sup>[16-17]</sup>, 不同模型处理结果见表 3, 处理后的光谱图见图 5。

表 3 不同光谱预处理对模型的影响

Table 3 Influence of different spectral pretreatments on model

| 光谱预处理方法       | RMSECV | 主因子数/个 |
|---------------|--------|--------|
| 二阶导数          | 4.65   | 9      |
| 一阶导数          | 4.72   | 10     |
| 减去一条直线        | 4.79   | 8      |
| 一阶导数 + 减去一条直线 | 4.86   | 8      |
| 无处理           | 4.80   | 5      |

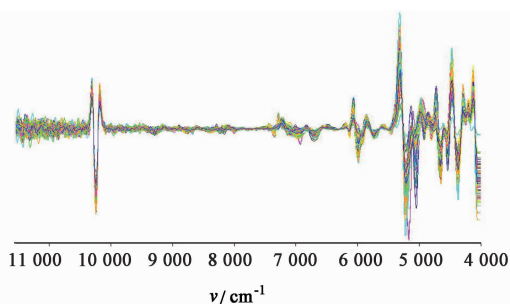
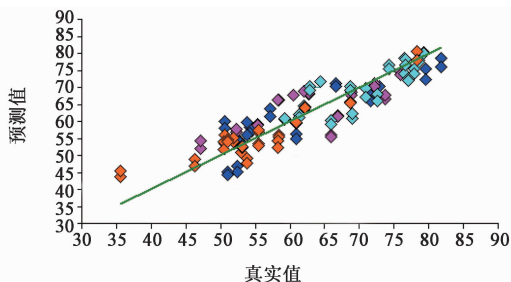


图 5 渣驯及其代用品干膏粉末的近红外预处理光谱

Fig. 5 Pretreated near infrared spectrum of dry extract powder of Zhaxun and its substitutes

**2.4.4 主因子数的选择** 采用偏最小二乘法 (PLS) 建立定量模型时, 主因子数的不同会导致模型预测结果差异较大。当校正集样品数确定时, 若主因子数过多, 则会引入噪音, 导致出现“过拟合”现象<sup>[18]</sup>; 若主因子数过少, 则不能充分利用光谱信息, 导致模型预测能力较差。采用内部验证法, 以 RMSECV 为指标, 考察主因子数对黄腐酸含量的影响。结果发现当主因子数为 9 个时, 模型的 RMSECV 最低, 相关系数 ( $r$ ) 最高, 模型预测精度较高。

**2.4.5 校正模型的建立** 运用 OPUS 7.5 软件, 通过 PLS 经过优化建立供试品中黄腐酸的近红外光谱定量分析模型, 104 份样品用于建模 (其中 76 份样品为校正集, 28 份样品为验证集), 选用二阶导数进行预处理, 光谱范围采用 7 506 ~ 4 598  $\text{cm}^{-1}$ , 主因子数为 9 个。结果表明该模型预测值与参考值相关性较好, 见图 6, 7。



深蓝. I 级; 紫色. II 级; 淡蓝. III 级; 红色. IV 级 (图 7 同)

图 6 渣驯及其代用品近红外模型预测值与真实值的相关性分析

Fig. 6 Analysis on correlation between predicted values and real values of near infrared models of Zhaxun and its substitutes

**2.4.6 模型的验证及分析** 为了验证本模型预测的准确度, 利用验证集 (28 批) 进行验证, 预测值与真实值的比值为预测回收率<sup>[19]</sup>, 见表 4。RMSECV 是内部交叉验证中的一个重要参数, 用于衡量校正集样品预测结果的准确性, RMSECV 越小, 校正集

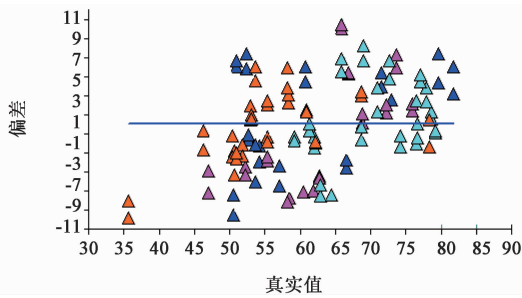


图 7 渣驯及其代用品近红外模型偏差与真实值的相关性分析  
Fig. 7 Analysis on correlation between deviations and real values of near infrared models of Zhaxun and its substitutes

表 4 渣驯中黄腐酸含量近红外模型的验证

Table 4 Validation of near infrared model of fulvic acid content in Zhaxun

| 项目  | 样本数/批 | R <sup>2</sup> /% | RMSECV 或 RMSEP | RPD  | 偏差绝对值均值 | 相对偏差绝对值均值 | 平均预测回收率/% |
|-----|-------|-------------------|----------------|------|---------|-----------|-----------|
| 校正集 | 76    | 80.13             | 0.047          | 2.24 | 3.88    | 0.065     | 100.05    |
| 验证集 | 28    | 11.91             | 0.120          | 1.12 | 7.67    | 0.172     | 100.10    |

### 3 讨论

**3.1 近红外光谱技术结合主成分分析能够为渣驯及其代用品的鉴别提供参考** 本研究对 4 个等级渣驯的近红外光谱进行主成分分析,结果发现 IV 级(代用品)近红外光谱投影与各等级正品渣驯能显著分开(仅个别点离散),说明该方法能够快速准确的分辨正品渣驯与代用品,鉴于分析的对象是加工出的渣驯及代用品干膏,因而对于缺乏外观鉴别特征的渣驯膏真伪判断具有积极意义。分析表明构成渣驯的有机质是一种岩源类腐殖酸,而粪粒有机质则为生物源腐殖酸,两者官能团可能存在差异,进而造成红外特征的差异。

**3.2 黄腐酸不能作为渣驯质量优劣的评价指标** 黄腐酸是天然腐殖酸中一种能溶于碱、酸和水的一组相对分子质量较小,稀溶液呈黄色或棕黄色的芳香族类物质。国外广泛使用黄腐酸含量来评价渣驯水提物质量,并有黄腐酸质量分数 2.5%,5%,40%,50% 等规格的产品在国际市场上流通。黄腐酸能提高机体免疫功能,促进纤维细胞生长,有较明显的去腐生肌、抗炎、止血作用,并具有祛痰、止咳、平喘作用<sup>[21]</sup>,上述药理活性与渣驯的清肝、胃、肾热功效有一定相关性。

本文研究表明,黄腐酸含量与渣驯外观质量分级标准无明确相关性,说明将黄腐酸作为渣驯优劣的质量评价指标缺乏一定的科学性。本研究采用容量滴定法(根据重铬酸钾消耗量和黄腐酸碳系数进行计算)测定黄腐酸含量,不能反映岩源和粪源黄

样品的预测结果越接近理论值<sup>[20]</sup>,本模型的 RMSECV = 0.047,表明该模型预测效果较好。R<sup>2</sup> 表示校正样品预测值与真实值的相关程度,R<sup>2</sup> 越接近 100%,预测果越好,本模型的校正集与验证集 R<sup>2</sup> 分别为 0.8 与 0.1,说明该模型稳健性不理想。相对分析误差(RPD)是独立于模型稳健性的、评价模型分辨能力的重要评价参数。按照美国谷物化学师协会等国际分析组织提出的标准,RPD 属于指标性评价参数,对于不同分析目的,其相应的评价指标是 RPD ≥ 2.5,本模型的 RPD 较小,说明分辨力不理想。

腐酸的结构差异,由于前期药效研究结果表明代用品抗炎、保肝作用较差<sup>[5]</sup>,说明其粪源黄腐酸的有效性也值得怀疑。因此,有必要进一步探索渣驯质量标志物,用以评价该药材质量。另外,渣驯中粪粒的多少与其近红外光谱主成分投影也无明确相关性,这也是后续需进一步研究的问题。

#### [参考文献]

[1] 曹赞. 藏药“渣驯”的生药学研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2015.  
 [2] 索南邓登, 童丽, 袁冬平, 等. 传统藏药渣驯的文献研究[J]. 中国民族民间医药, 2012, 21(4): 8-9.  
 [3] 曹赞, 古锐, 马逾英, 等. 藏族药渣驯挥发性及脂溶性成分的 GC-MS 分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(16): 43-47.  
 [4] 曹赞, 古锐, 赵明明, 等. 藏药“渣驯”来源与使用现状考证研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(24): 4663-4669.  
 [5] 叶翠萍, 王文倩, 赵明明, 等. 藏药渣驯及其不同萃取部位抗胃溃疡抗肝损伤作用的比较研究[J]. 中国民族民间医药, 2017, 26(7): 39-41.  
 [6] Wilson E, Rajamanickam G V, Dubey G P, et al. Review on shilajit used in traditional Indian medicine [J]. J Ethnopharmacol, 2011, 136(4): 1-9.  
 [7] Agarwal S P, Khanna R, Karmarkar R. et al. Shilajit: a review[J]. Phytother Res, 2007, 21(5): 401-405.  
 [8] CHAN C O, CHU C C, Mok D K W, et al. Analysis of berberine and total alkaloid content in Cortex Phellodendri by near infrared spectroscopy (NIRS)

- compared with high-performance liquid chromatography coupled with ultra-visible spectrometric detection [J]. *Anal Chim Acta*, 2007, 592(2):121-131.
- [9] 阮治纲,李彬. 近红外光谱分析技术的原理及在中药材中的应用[J]. *药物分析杂志*, 2011, 31(2):408-417.
- [10] 西藏,青海,四川,甘肃,云南,新疆卫生局. 藏药标准[M]. 西宁:青海人民出版社,1978:277.
- [11] 杨献红,乔桂芳,段健康. 容量滴定法测定黄腐酸含量[J]. *河南化工*, 2006, 23(8):42-43.
- [12] 吴利敏. 近红外光谱法快速检测某些中药及中成药品质的应用研究[D]. 重庆:西南大学,2013.
- [13] 徐志伟,杜伟锋,张雯雯,等. 延胡索中延胡索乙素含量的近红外光谱定量模型的建立[J]. *中华中医药学刊*, 2013, 31(12):2633-2635, 2865.
- [14] 徐子杰,陈龙,刘义梅,等. 基于多参考相关系数法和BP-ANN建立紫石英的近红外光谱定性模型[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2017, 23(22):37-42.
- [15] 顾超,岳显可,杜伟锋,等. 延胡索中3种成分近红外同步定量检测模型的建立[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2017, 23(3):60-65.
- [16] 李真,周立红,杨功俊,等. 近红外漫反射光谱法快速测定丹参药材中多指标成分的含量[J]. *中国药房*, 2017, 28(30):4247-4251.
- [17] 张辉,韩红玉,段晓颖,等. 姜黄丸水分含量测定近红外定量模型的建立[J]. *中国医院药学杂志*, 2015, 35(18):1668-1671.
- [18] 涂瑶生,陈朋,孙冬梅,等. 绞股蓝水分近红外定量模型的建立[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2014, 20(16):71-74.
- [19] 卢慧娟,贾灿潮,黄柳芳,等. 夏枯草中迷迭香酸近红外光谱定量分析模型的建立[J]. *计算机与应用化学*, 2015, 32(7):855-859.
- [20] 史贵连,叶福丽. 近红外漫反射光谱法在中药材分析中的数学模型及其评价[J]. *时珍国医国药*, 2007, 18(1):120-122.
- [21] 闫论. 腐植酸及其广泛应用[J]. *新疆农业科学*, 2004, 41(S1):130-132.

[责任编辑 刘德文]