

# 知柏地黄丸中 2 种成分快速检测模型的建立

谢彩侠, 张 苗, 李雅静, 谢惠英, 王丽娜  
(河南中医药大学, 河南 郑州 450046)

**摘要:** **目的** 建立知柏地黄丸中马钱苷、丹皮酚的快速检测模型。**方法** 收集 107 批样品, HPLC 法测定马钱苷、丹皮酚含量, 利用近红外光谱分析技术 (NIRS) 将其与样品的近红外光谱进行关联, 偏最小二乘法建立两者定量分析模型。**结果** 模型内部交叉验证决定系数( $R^2$ ) 分别为 0.979 48、0.991 22, 校正均方差(RMSEC) 分别为 0.015 3、0.030 5, 验证均方差(RMSEP) 分别为 0.009 72、0.022 3, 交叉验证均方差(RMSECV) 分别为 0.019 09、0.049 97, 性能指数 (PI) 分别为 97.6、94.8。**结论** 该方法准确、快速、简便, 可用于知柏地黄丸中马钱苷、丹皮酚的定量分析。

**关键词:** 知柏地黄丸; 马钱苷; 丹皮酚; 快速检测; HPLC; NIRS; 偏最小二乘法

**中图分类号:** R284.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-1528(2017)07-1444-05

**doi:**10.3969/j.issn.1001-1528.2017.07.026

## Establishment of rapid detection model for two constituents in Zhibai Dihuang Pills

XIE Cai-xia, ZHANG Miao, LI Ya-jing, XIE Hui-ying, WANG Li-na  
(Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China)

**KEY WORDS:** Zhibai Dihuang Pills; loganin; paeonol; rapid detection; HPLC; NIRS; partial least square method

知柏地黄丸是由知母、黄柏、熟地黄、山茱萸、山药、牡丹皮、茯苓、泽泻 8 味中药组成的复方制剂<sup>[1]</sup>, 临床广泛用于阴虚火旺、潮热盗汗、咽痛、耳鸣遗精、小便短赤等症<sup>[2]</sup>。目前, 关于知柏地黄丸中指标性成分马钱苷、丹皮酚的定量测定方法以 HPLC 法为主<sup>[3-4]</sup>, 其操作复杂、成本高、耗时长, 难以做到快速检测, 更无法实现生产过程中的在线质量监控和对基层现场假冒伪劣药物的快速检查<sup>[5-6]</sup>。

近红外光谱分析技术 (NIRS) 近年来迅猛发展, 具有快速、无损、操作简便等优点<sup>[7-9]</sup>, 其光谱是波长介于 780 ~ 2 526 nm 范围内的电磁波<sup>[10-11]</sup>, 光谱区的信息主要来源于 C-H、O-H、N-H、S-H 等含氢基团的倍频与合频吸收<sup>[12-13]</sup>, 绝大多数物质均可利用其进行定性、定量分析。本实验以不同厂家的知柏地黄丸为研究对象, 利用 HPLC

与 NIRS 相结合的方法建立其中指标性成分的快速检测模型, 为实现大批量样品的快速检测提供一种新方法, 同时也为生产过程中的在线质量监控提供参考。

### 1 仪器与试药

1.1 仪器 Nicolet 6700 型傅立叶变换近红外光谱仪 (美国 Thermo Fisher Scientific 公司, 配置积分球漫反射采样系统、OMNIC 光谱采集软件和 TQ Analyst 8.0 分析软件); FW-100 型高速万能粉碎机、101-3AB 型电热鼓风干燥箱、DZKW-4 型电子恒温水浴锅 (北京中兴伟业仪器有限公司); Waters2695 型高效液相色谱仪 (美国沃特斯科科技公司); AL 204 型分析天平 (梅特勒-托利多仪器有限公司); CPA225D 型分析天平 (十万分之一, 赛多利斯科学仪器有限公司); Milli-Q Academic A 10 型超纯水机 (美国 Millipore 公司); KQ-500DE 型

数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）。

1.2 试药 马钱苷（批号 110708-200506）、丹皮酚（批号 111640-201005）对照品（中国食品药品检定研究院）。甲醇、乙腈为色谱纯（美国 Tedia 公司）；四氢呋喃为色谱纯（天津市四友精细化学有限公司）；磷酸为色谱纯（天津市登科化学试剂有限公司）；中性氧化铝为分析纯（100 ~ 200 目，上海五四化学试剂有限公司）；水为蒸馏水。本实验收集了 15 个厂家的知柏地黄丸，共 107 批，粉碎后过 60 目筛，置于干燥器中备用。

2 方法与结果

2.1 近红外光谱采集 取样品粉末 5 g 左右置于石英样品杯中，均匀铺平，采用积分球漫反射法，以空气为参比采集近红外光谱图，参数为采集分辨率 8 cm<sup>-1</sup>，光谱采集范围 12 000 ~ 4 000 cm<sup>-1</sup>，扫

描次数 32 次，温度 25 ℃，相对湿度 20% ~ 30%，重复 3 次，取平均光谱，107 批样品的近红外光谱叠加图见图 1。

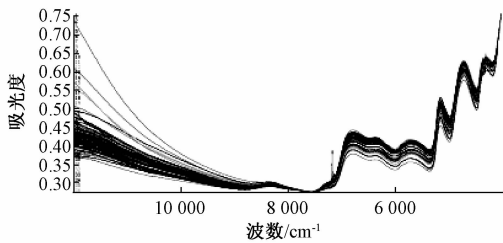


图 1 107 批样品的近红外光谱叠加图  
Fig. 1 NIRS superposition image of 107 batches of samples

2.2 马钱苷、丹皮酚含有量测定 参照 2015 版《中国药典》<sup>[14]</sup>，结果见表 1。

表 1 马钱苷、丹皮酚含有量测定结果 (mg/g)  
Tab. 1 Results of content determination of loganin and paeonol (mg/g)

| 编号 | 马钱苷  | 丹皮酚  | 编号 | 马钱苷  | 丹皮酚  | 编号 | 马钱苷  | 丹皮酚  | 编号  | 马钱苷  | 丹皮酚  |
|----|------|------|----|------|------|----|------|------|-----|------|------|
| 1  | 1.48 | 1.89 | 28 | 1.43 | 2.33 | 55 | 1.46 | 2.30 | 82  | 1.54 | 2.81 |
| 2  | 1.47 | 2.07 | 29 | 1.42 | 2.09 | 56 | 1.49 | 2.33 | 83  | 1.58 | 1.85 |
| 3  | 1.34 | 2.03 | 30 | 1.19 | 2.10 | 57 | 1.45 | 2.17 | 84  | 1.57 | 1.42 |
| 4  | 1.57 | 1.83 | 31 | 1.42 | 2.24 | 58 | 1.43 | 2.19 | 85  | 1.57 | 1.51 |
| 5  | 1.28 | 1.90 | 32 | 1.42 | 2.17 | 59 | 1.46 | 2.19 | 86  | 1.25 | 1.27 |
| 6  | 1.51 | 1.99 | 33 | 1.44 | 2.21 | 60 | 1.45 | 2.13 | 87  | 1.56 | 1.65 |
| 7  | 1.30 | 1.90 | 34 | 1.44 | 2.13 | 61 | 1.46 | 2.18 | 88  | 2.42 | 1.89 |
| 8  | 1.21 | 1.94 | 35 | 1.44 | 2.19 | 62 | 2.40 | 2.08 | 89  | 1.51 | 2.11 |
| 9  | 1.46 | 1.67 | 36 | 1.44 | 2.23 | 63 | 1.92 | 1.86 | 90  | 1.50 | 1.84 |
| 10 | 1.23 | 1.89 | 37 | 1.42 | 2.20 | 64 | 1.69 | 1.77 | 91  | 1.80 | 2.08 |
| 11 | 1.48 | 2.01 | 38 | 1.43 | 2.09 | 65 | 1.55 | 1.78 | 92  | 1.83 | 1.92 |
| 12 | 1.28 | 1.65 | 39 | 1.43 | 2.24 | 66 | 1.58 | 1.79 | 93  | 2.03 | 1.43 |
| 13 | 1.47 | 1.74 | 40 | 1.40 | 2.20 | 67 | 1.60 | 1.63 | 94  | 2.06 | 1.40 |
| 14 | 1.49 | 1.58 | 41 | 1.46 | 2.23 | 68 | 1.64 | 1.83 | 95  | 2.19 | 1.45 |
| 15 | 1.48 | 1.80 | 42 | 1.44 | 2.09 | 69 | 1.67 | 1.70 | 96  | 1.50 | 1.30 |
| 16 | 1.52 | 1.90 | 43 | 1.43 | 2.22 | 70 | 2.65 | 1.66 | 97  | 1.87 | 1.39 |
| 17 | 1.47 | 2.46 | 44 | 1.43 | 2.08 | 71 | 1.66 | 1.58 | 98  | 1.48 | 1.43 |
| 18 | 1.45 | 2.47 | 45 | 1.42 | 2.09 | 72 | 1.71 | 1.51 | 99  | 2.01 | 1.50 |
| 19 | 1.40 | 2.48 | 46 | 1.20 | 2.13 | 73 | 1.68 | 1.61 | 100 | 1.24 | 1.59 |
| 20 | 1.44 | 2.38 | 47 | 1.46 | 2.21 | 74 | 1.63 | 1.69 | 101 | 1.50 | 1.56 |
| 21 | 1.40 | 2.08 | 48 | 1.44 | 2.25 | 75 | 1.73 | 2.10 | 102 | 1.58 | 2.68 |
| 22 | 1.47 | 2.00 | 49 | 1.38 | 2.27 | 76 | 1.79 | 2.03 | 103 | 1.91 | 2.10 |
| 23 | 1.79 | 2.18 | 50 | 1.41 | 2.13 | 77 | 1.51 | 2.28 | 104 | 3.12 | 1.95 |
| 24 | 1.48 | 1.89 | 51 | 1.42 | 2.16 | 78 | 1.49 | 2.12 | 105 | 1.53 | 1.60 |
| 25 | 1.49 | 1.92 | 52 | 1.43 | 2.10 | 79 | 1.50 | 1.75 | 106 | 2.63 | 2.03 |
| 26 | 1.44 | 2.17 | 53 | 1.44 | 2.17 | 80 | 1.52 | 2.36 | 107 | 1.16 | 2.33 |
| 27 | 1.47 | 2.14 | 54 | 1.47 | 2.15 | 81 | 1.53 | 2.72 |     |      |      |

2.3 马钱苷定量分析模型建立

2.3.1 校正集与验证集选择 从 107 批样品中选择 79 批建立定量分析模型，其中 59 批作为校正

集，20 批作为验证集，结果见表 2。

2.3.2 光谱预处理方法选择 以内部交叉验证系数 ( $R^2$ )、校正集均方差 (RMSEC)、验证集预测

表 2 马钱苷含有量范围 (mg/g)

Tab. 2 Content range of loganin (mg/g)

| 组别  | 样品数/批 | 最大值  | 最小值  | 平均值  |
|-----|-------|------|------|------|
| 校正集 | 59    | 1.73 | 1.38 | 1.49 |
| 验证集 | 20    | 1.69 | 1.41 | 1.50 |

均方差 (RMSEP)、性能指数 (PI) 为参考指标, 考察不同处理方法对模型性能的影响,  $R^2$  越接近 1, RMSEC、RMSEP 值越小, PI 值越接近 100, 表明该方法越好, 结果见表 3, 可知当采用 MSC + SD 时, PI 值最接近 100, 即为最佳预处理方法。

表 3 不同预处理方法对模型性能的影响 (马钱苷)

Tab. 3 Effects of different pretreatment methods on model performance (loganin)

| 预处理方法         | $R^2$    | RMSEC   | RMSEP    | PI   |
|---------------|----------|---------|----------|------|
| Constant      | 0.961 21 | 0.020 9 | 0.023 4  | 94.2 |
| MSC + SD      | 0.979 48 | 0.015 3 | 0.009 72 | 97.6 |
| MSC + FD      | 0.980 86 | 0.014 8 | 0.011 2  | 97.2 |
| SNV + SD      | 0.978 54 | 0.015 6 | 0.010 4  | 97.4 |
| MSC + SD + SG | 0.972 84 | 0.017 6 | 0.010 1  | 97.5 |
| MSC + SD + ND | 0.976 68 | 0.016 3 | 0.017 5  | 95.6 |

2.3.3 光谱范围选择 本实验以  $R^2$ 、RMSEC、RMSEP、PI 为参考指标, 考察不同光谱范围对模型性能的影响, 结果见表 4, 可知在  $7\,417.26 \sim 4\,008.95\text{ cm}^{-1}$  时, PI 值最接近 100, 即为最佳建模谱段。

表 4 不同光谱范围对模型性能的影响 (马钱苷)

Tab. 4 Effects of different spectral ranges on model performance (loganin)

| 光谱范围/ $\text{cm}^{-1}$      | $R^2$    | RMSEC    | RMSEP    | PI   |
|-----------------------------|----------|----------|----------|------|
| $8\,516.11 \sim 6\,290.47$  | 0.821 85 | 0.043 2  | 0.028 5  | 92.9 |
| $7\,417.26 \sim 4\,008.95$  | 0.979 48 | 0.015 3  | 0.009 72 | 97.6 |
| $6\,914.40 \sim 4\,306.95$  | 0.991 81 | 0.009 68 | 0.038 1  | 90.5 |
| $10\,145.77 \sim 5\,545.48$ | 0.846 76 | 0.040 3  | 0.029 3  | 92.7 |

2.3.4 主成分数选择 本实验以交叉验证均方根误差 (RMSECV) 为优化参数, 选择合适的主成分数, 当 RMSECV 值最小时, 所选主成分数最佳, 结果见图 2, 可知 RMSECV 有最小值时, 对应的最佳主成分数为 5。

2.3.5 NIR 定量分析模型建立 应用 TQ Analyst 8.0 分析软件结合 PLS 法, 选择最优的光谱预处理方法、光谱范围、最佳主成分数, 用于建立 NIR 定量分析模型, NIR 预测值与 HPLC 参考值的相关性见图 3, 偏差见图 4。

2.3.6 模型验证 选择 20 批样品作为验证集, 输入到该模型中以预测马钱苷含有量, 结果见表 5,

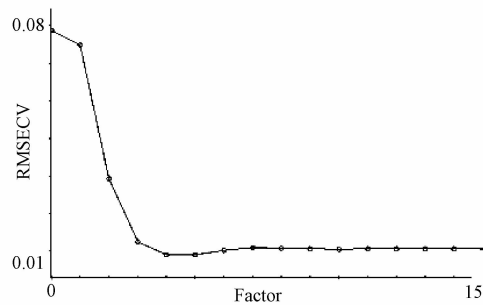


图 2 RMSECV 值与主成分数的相关性 (马钱苷)  
Fig. 2 Correlation between RMSECV value and principal component number (loganin)

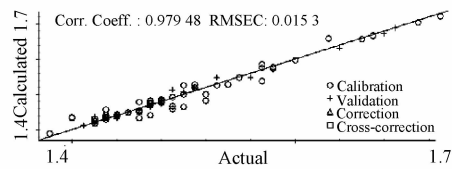


图 3 NIR 预测值与 HPLC 参考值的相关性 (马钱苷)  
Fig. 3 Correlation between NIR predictive value and HPLC reference value (loganin)

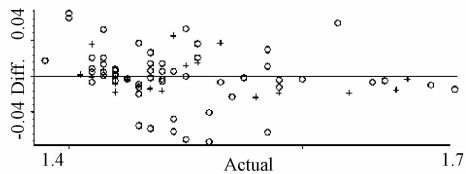


图 4 NIR 预测值与 HPLC 参考值的偏差 (马钱苷)  
Fig. 4 Deviation between NIR predictive value and HPLC reference value (loganin)

可知 NIR 预测值与 HPLC 参考值较接近, 绝对误差较小, 表明该模型准确度良好。

2.4 丹皮酚定量分析模型建立

2.4.1 校正集与验证集选择 从 107 批样品中选择 80 批建立定量分析模型, 其中 59 批作为校正集, 21 批作为验证集, 结果见表 6。

2.4.2 光谱预处理方法选择 表 7 显示, 当采用 MSC + SD + ND 时, PI 值最接近 100, 即为最佳预处理方法。

2.4.3 光谱范围选择 表 8 显示, 在  $7\,556.95 \sim 4\,008.95\text{ cm}^{-1}$  时, PI 值最接近 100, 即为最佳建模谱段。

2.4.4 主成分数选择 图 5 显示, RMSECV 有最小值时, 对应的最佳主成分数为 9。

表 5 模型验证结果 (马钱苷, mg/g)

Tab. 5 Results of model verification (loganin, mg/g)

| 编号  | 预测值  | 参考值  | 误差   |
|-----|------|------|------|
| 24  | 1.47 | 1.48 | 0.01 |
| 32  | 1.42 | 1.42 | 0    |
| 33  | 1.43 | 1.44 | 0.01 |
| 36  | 1.44 | 1.44 | 0    |
| 37  | 1.44 | 1.42 | 0.02 |
| 50  | 1.41 | 1.41 | 0    |
| 52  | 1.44 | 1.43 | 0.01 |
| 53  | 1.44 | 1.44 | 0    |
| 54  | 1.47 | 1.47 | 0    |
| 57  | 1.45 | 1.45 | 0    |
| 59  | 1.46 | 1.46 | 0    |
| 64  | 1.70 | 1.69 | 0.01 |
| 66  | 1.56 | 1.58 | 0.02 |
| 68  | 1.62 | 1.64 | 0.02 |
| 73  | 1.67 | 1.68 | 0.01 |
| 77  | 1.51 | 1.51 | 0    |
| 78  | 1.51 | 1.49 | 0.02 |
| 87  | 1.55 | 1.56 | 0.01 |
| 90  | 1.50 | 1.50 | 0    |
| 105 | 1.54 | 1.53 | 0.01 |

注: 误差 = |预测值 - 参考值|

表 6 丹皮酚含有量范围 (mg/g)

Tab. 6 Content range of paeonol (mg/g)

| 组别  | 样品数/批 | 最大值  | 最小值  | 平均值  |
|-----|-------|------|------|------|
| 校正集 | 59    | 2.36 | 1.39 | 1.99 |
| 验证集 | 21    | 2.27 | 1.40 | 1.91 |

表 7 不同预处理方法对模型性能的影响 (丹皮酚)

Tab. 7 Effects of different pretreatment methods on model performance (paeonol)

| 预处理方法         | $R^2$    | RMSEC    | RMSEP   | PI   |
|---------------|----------|----------|---------|------|
| Constant      | 0.916 60 | 0.092 20 | 0.105 0 | 75.6 |
| MSC + SD      | 0.978 21 | 0.047 90 | 0.105 0 | 75.6 |
| MSC + FD      | 0.985 77 | 0.038 80 | 0.035 1 | 91.8 |
| SNV + SD      | 0.999 33 | 0.008 42 | 0.125 0 | 70.8 |
| MSC + SD + SG | 0.993 44 | 0.026 40 | 0.039 5 | 90.8 |
| MSC + SD + ND | 0.991 22 | 0.030 50 | 0.022 3 | 94.8 |

表 8 不同光谱范围对模型性能的影响 (丹皮酚)

Tab. 8 Effects of different spectral ranges on model performance (paeonol)

| 光谱范围/ $\text{cm}^{-1}$ | $R^2$    | RMSEC   | RMSEP   | PI   |
|------------------------|----------|---------|---------|------|
| 9 977.89 ~ 6 383.59    | 0.934 53 | 0.082 0 | 0.219   | 48.9 |
| 7 556.95 ~ 4 008.95    | 0.991 22 | 0.030 5 | 0.022 3 | 94.8 |
| 6 784.02 ~ 4 008.95    | 0.983 79 | 0.041 3 | 0.079 2 | 81.5 |
| 9 977.89 ~ 4 670.13    | 0.961 48 | 0.063 4 | 0.139   | 67.5 |

2.4.5 NIR 定量分析模型建立 NIR 预测值与 HPLC 参考值的相关性见图 6, 偏差见图 7。

2.4.6 模型验证 表 9 显示, NIR 预测值与 HPLC 参考值较接近, 误差较小, 表明该模型准确度

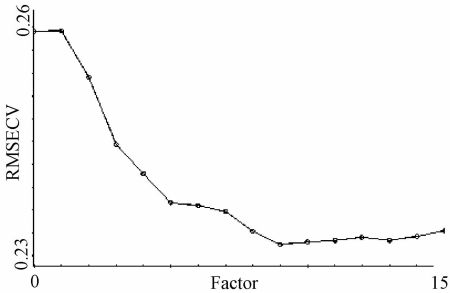


图 5 RMSECV 值与主成分数的相关性 (丹皮酚)

Fig. 5 Correlation between RMSECV value and principal component number (paeonol)

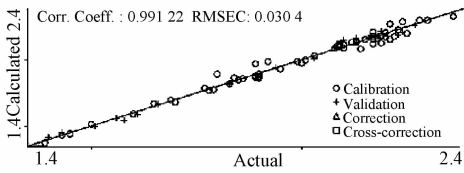


图 6 NIR 预测值与 HPLC 参考值的相关性 (丹皮酚)

Fig. 6 Correlation between NIR predictive value and HPLC reference value (paeonol)

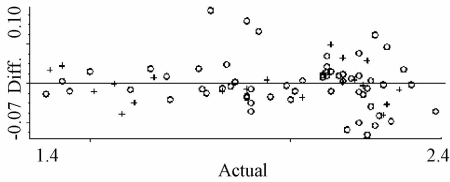


图 7 NIR 预测值与 HPLC 参考值的偏差 (丹皮酚)

Fig. 7 Deviation between NIR predictive value and HPLC reference value (paeonol)

良好。

3 讨论和结论

近红外光谱可反映样品中含有量高于 0.1% 的组分在结构与组成方面的信息, 比单纯的化学指标和色谱数据更为全面准确, 可更好地体现不同厂家知柏地黄丸的整体信息。同时, 为了提高模型的预测精度, 在建立定量分析模型时选取了合适的校正集以及验证集样品, 并考察了不同光谱预处理方法、建模区间、主成分数对模型的影响, 最终建立了性能较好的定量分析模型, 然后对其进行内部交叉验证以进一步提高其性能。

本实验将 HPLC 法与 NIRS 技术相结合, 建立了知柏地黄丸中马钱苷、丹皮酚的快速检测模型, 该模型性能良好、预测结果准确、偏差较小, 可用

表 9 模型验证结果（丹皮酚，mg/g）

Tab. 9 Results of model verification ( paeonol, mg/g)

| 编号  | 预测值   | 参考值   | 误差    |
|-----|-------|-------|-------|
| 8   | 1. 94 | 1. 94 | 0     |
| 30  | 2. 15 | 2. 10 | 0. 05 |
| 31  | 2. 21 | 2. 24 | 0. 03 |
| 34  | 2. 16 | 2. 13 | 0. 03 |
| 36  | 2. 19 | 2. 23 | 0. 04 |
| 49  | 2. 26 | 2. 27 | 0. 01 |
| 51  | 2. 16 | 2. 16 | 0     |
| 59  | 2. 22 | 2. 19 | 0. 03 |
| 60  | 2. 13 | 2. 13 | 0     |
| 61  | 2. 18 | 2. 18 | 0     |
| 62  | 2. 09 | 2. 08 | 0. 01 |
| 68  | 1. 82 | 1. 83 | 0. 01 |
| 70  | 1. 67 | 1. 66 | 0. 01 |
| 71  | 1. 54 | 1. 58 | 0. 04 |
| 72  | 1. 50 | 1. 51 | 0. 01 |
| 73  | 1. 59 | 1. 61 | 0. 02 |
| 76  | 2. 01 | 2. 03 | 0. 02 |
| 88  | 1. 88 | 1. 89 | 0. 01 |
| 94  | 1. 42 | 1. 40 | 0. 02 |
| 98  | 1. 45 | 1. 43 | 0. 02 |
| 101 | 1. 56 | 1. 56 | 0     |

注：误差 = | 预测值 - 参考值|

于两者定量分析，并为生产过程中的在线质量监控提供参考。NIRS 技术可避免常规检测方法操作复杂、时间漫长、污染环境、试剂消耗量大等问题<sup>[15]</sup>，并能整体反映样品的信息，不仅为知柏地黄丸的即时快速定量分析提供了一种新方法，而且对其他中成药和饮片成分的定量分析也具有借鉴意义。

参考文献：

[ 1 ] 白 雁，李雯霞，谢彩霞，等. 3 种不同产地生地黄近红外图谱的判别分析[J]. 计算机与应用化学, 2011, 28 (3): 311-313.

[ 2 ] 聂黎行，王钢力，李志猛，等. 近红外光谱法对同仁乌鸡白凤丸的定性和定量分析[J]. 红外与毫米波学报, 2008,

27(3): 205-209, 218.

[ 3 ] 李桂本，王海波，李振国. HPLC 波长切换技术同时测定知柏地黄丸（浓缩丸）中莫诺苷、芒果苷、马钱苷和丹皮酚的含量[J]. 药物分析杂志, 2015, 35(1): 125-128.

[ 4 ] 孔 玮，王 艳，朱 源，等. HPLC 法同时测定知柏地黄丸中 3 种主要成分的含量[J]. 中国药房, 2012, 23 (32): 3055-3057.

[ 5 ] 谢惠英，时 博，王丰青，等. NIR 与 HPLC 结合快速测定知母中知母皂苷 B Ⅱ 的含量[J]. 世界科学技术：中医药现代化, 2015, 17(11): 2306-2311.

[ 6 ] 白 雁，李 珊，王 星，等. 近红外光谱法快速测定金银花中绿原酸的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(5): 66-69.

[ 7 ] 龚海燕，李 珊，谢彩侠，等. 山茱萸中马钱苷的近红外光谱法测定[J]. 中国医药工业杂志, 2014, 45(4): 374-376.

[ 8 ] 谢彩侠，樊明月，白 雁，等. NIRS 与 HPLC 在杞菊地黄丸（浓缩丸）质量评价中的应用[J]. 中国医药工业杂志, 2014, 45 (12): 1177-1180.

[ 9 ] 李 敏，毛丹卓，杨永健. 复方益肝灵片近红外光谱快检方法考察[J]. 中国药师, 2015, 18(8): 1413-1416.

[10] 白 雁，王 星，张 威，等. 近红外光谱结合聚类分析法对不同区域连翘的鉴别研究[C] //药用植物化学与中药资源可持续发展学术研讨会论文集（上）. 北京：中华中医药学会, 2009: 149-153.

[11] 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.

[12] 史会齐，白 雁，龚海燕，等. 近红外漫反射光谱法快速鉴别不同厂家的六味地黄丸[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(10): 34-37.

[13] 邵玉蓝，曹 岗. HPLC 结合近红外光谱技术快速测定丹参饮片中丹参酮 Ⅱ A 的含量[J]. 中国医药导报, 2014, 11(9): 135-137, 141.

[14] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2015 年版一部[S]. 北京：中国医药科技出版社, 2015: 1068-1069.

[15] 白 雁，龚海燕，王 星. 近红外光谱技术在中药质量分析中的应用[J]. 河南大学学报：医学版, 2011, 30(2): 79-80.