

基于近红外光谱技术对山茱萸炮制程度的质量评价

范晓良¹, 张纯^{2*}, 阮伟峰¹ (1.浙江中医药大学附属嘉兴中医院, 浙江 嘉兴 314001; 2.嘉兴市食品药品检验检测院, 浙江 嘉兴 314001)

摘要: 目的 采用近红外光谱技术建立山茱萸饮片中 5-羟甲基糠醛含量的快速无损检测方法, 并用于快速判别山茱萸饮片的炮制程度。方法 以 54 个样本作为校正集, 运用偏最小二乘法建立定量校正模型并进行优化。以 9 个样本作为验证集, 进行含量预测。结果 校正模型决定系数为 0.925 6, 相对分析误差为 5.06, 交叉验证均方根误差为 0.022 0, 外部验证均方差为 0.019 3, 光谱预测值与真值之间的相关性较好。结论 该法可直接用于中药山茱萸中 5-羟甲基糠醛含量的快速预测, 为快速判断山茱萸炮制程度提供可能。该方法具有操作简便、快速无损、准确可靠等优点。

关键词: 近红外光谱法; 山茱萸; 5-羟甲基糠醛; 炮制程度; 质量评价

中图分类号: R284.1 文献标志码: B 文章编号: 1007-7693(2019)11-1352-06

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2019.11.008

引用本文: 范晓良, 张纯, 阮伟峰. 基于近红外光谱技术对山茱萸炮制程度的质量评价[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(11): 1352-1357.

Quality Evaluation in Processing Degree of Corni Fructus Based on Near Infrared Spectroscopy

FAN Xiaoliang¹, ZHANG Chun^{2*}, RUAN Weifeng¹ (1.Jiaxing Hospital of TCM Affiliated Zhejiang Chinese Medical University, Jiaxing 314001, China; 2.Jiaxing Institute for Food and Drug Control, Jiaxing 314001, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To establish a fast and nondestructive detection method on the content of 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) in Corni Fructus by near infrared spectrometry, and used to identify the processing degree rapidly. **METHODS** The quantitative model was built based on partial least square method with 54 samples, and then the models were optimized. Nine samples were used for content prediction. **RESULTS** The determination coefficient of the calibration models was 0.925 6, ratio of prediction to deviation was 5.06, root mean square error of cross validation was 0.022 0, and root mean square error of prediction was 0.019 3, these results indicated the correlation between the predicted values and the true values was good. **CONCLUSION** This method can be applied in rapid quantitative analysis of 5-HMF in the samples of Corni Fructus and identification of their processing degree. The method has the advantages of simple, rapid, nondestructive, accurate and safety.

KEYWORDS: near infrared spectrometry(NIRS); Corni Fructus; 5-hydroxymethylfurfural(5-HMF); processing degree; quality evaluation

山茱萸为山茱萸科植物山茱萸 *Cornus officinalis* Sieb. et Zucc. 的干燥成熟果肉。其性味酸、涩, 微温, 归肝、肾经, 具有补益肝肾、收涩固脱的功能^[1]。其化学成分主要有萜类、鞣质、黄酮、有机酸等, 现代药理研究表明山茱萸具有抗炎、抗氧化、保护神经和心血管以及防治糖尿病等多种生物活性^[2], 其中 5-羟甲基糠醛(5-hydroxymethylfurfural, 5-HMF)目前已证明具有明显改善学习记忆、增强耐缺氧能力及胃肠道功能等多种活性^[3-6]。

5-HMF 是山茱萸炮制过程中美拉德反应的代表性产物, 相较于其他成分的变化, 炮制后 5-HMF 含量明显增加, 因此可作为饮片炮制程度判断的最主要指标成分之一^[7-8]。同时, 5-HMF 及其代谢产物的安全性研究目前广受关注, 建立相对统一

的限量标准及快速在线质控方法对保障临床安全意义重大^[9]。而 5-HMF 的传统测定方法常为 HPLC, 此法程序复杂, 分析时间长, 且易破坏样品, 不利于生产过程中的快速检测, 故研究成分快速测定的方法对提升中药质控水平具有重要意义。近红外光谱技术(near infrared spectrometry, NIRS)近年来得到迅猛发展, 在中药有效成分快速测定^[10]、品种产地鉴别^[11]、规格品质评价^[12]、生产过程在线检测^[13]等方面广泛应用, 是一项高效、快速、无损的绿色检测技术。本研究以山茱萸饮片为研究对象, 利用 NIRS, 以偏最小二乘法(partial least square, PLS)建立校正模型, 对其中 5-HMF 含量进行测定, 实现了山茱萸饮片中 5-HMF 含量的快速、无损测定, 为山茱萸饮片炮制程度的快速判别提供理论依据。

基金项目: 嘉兴市科技计划自主研发项目(2018AD32152)

作者简介: 范晓良, 男, 硕士, 主管中药师 Tel: 18767313235
主管药师 Tel: (0573)83388071 E-mail: zhangchun_0324@163.com

E-mail: fanxiaoliang1022@163.com *通信作者: 张纯, 女, 硕士,

1 材料

1.1 仪器

MPA 型近红外光谱仪(德国 Bruker 公司), 含 OPUS 6.0 软件系统; 6001 型高效液相色谱仪、486 紫外检测器(美国 Waters 公司); KQ-250B 超声波提取器(江苏昆山超声仪器有限公司); AL204 电子天平(梅特勒-托利多实验有限公司)等。

1.2 试药

山茱萸饮片样品抽样于各大医院及零售药店, 经浙江中医药大学附属嘉兴中医院国家级中药特色技术传承人方瑞华主任中药师鉴定为山茱萸科植物山茱萸 *Cornus officinalis* Sieb. et Zucc. 的干燥成熟果肉的炮制品, 剔除酒制、醋制等其他炮制品后共计 63 批, 随机编号, 样品信息见表 1; 山茱萸生品购自嘉兴东方国药饮片有限公司, 经鉴定为未经炮制的山茱萸干燥成熟果肉; 5-HMF 对照品(中国食品药品检定研究院, 批号: 742-201421; 纯度 $\geq 99.2\%$); 甲醇为色谱纯, 其余试剂均为分析纯, 水为娃哈哈纯净水。

2 方法与结果

2.1 样品制备

2.1.1 供试品溶液制备 将不同批次山茱萸样品, 干燥后通过粉碎机磨成粉末, 过 60 目筛, 精密称取粉末约 1.0 g, 加氯仿 50 mL 超声(250 W, 40 Hz) 30 min, 过滤, 滤渣再加 10 mL 氯仿超声 10 min, 过滤, 合并 2 次滤液, 蒸干, 再以 10 mL 石油醚(30~60 °C)超声 2 min, 倾去石油醚液, 重复上述操作 1 次后, 残渣挥干溶剂, 以甲醇溶解并定容至 50 mL 量瓶中, 0.45 μm 微孔滤膜过滤后进行 HPLC 分析, 进样量 20 μL 。

2.1.2 对照品溶液制备 精密称取 5-HMF 对照品 4.80 mg, 以甲醇定容至 10 mL 量瓶中, 制成浓度为 480 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 对照品溶液备用。

2.1.3 光谱样本制备 取所有批次山茱萸样品, 干燥后通过粉碎机打成粉末, 分别过 20, 40, 60, 80, 100 目筛获得 5 种粒度的样品, 按 2015 版中国药典四部圆锥四分法取对角两等份, 混合均匀后取样, 装样厚度均为 15 mm, 供光谱扫描。结

表 1 山茱萸样品来源信息

Tab. 1 Sample information of Corni Fructus

编号	来源	批号	编号	来源	批号	编号	来源	批号
1	浙中大饮片厂	160601	22	嘉兴东方	160728	43	亳州贡药	20150903
2	嘉兴东方	160702	23	亳州浙皖	151230	44	浙江晨宇	15043006
3	嘉兴东方	151110	24	浙江百草	20150801	45	安徽嘉佑	160702
4	宁波久旭	20160605	25	浙江桐君堂	20160202	46	杭州民泰	161112
5	嘉兴东方	150826	26	亳州贡药	20160311	47	浙中大饮片厂	160505
6	嘉兴东方	160317	27	安徽泰源	160805	48	宁波久旭	20160412
7	河北华都	16010712	28	安徽嘉佑	150630	49	亳州浙皖	151001
8	浙中大饮片厂	160524	29	安徽嘉佑	160719	50	杭州民泰	161101
9	亳州贡药	20160223	30	杭州民泰	150930	51	亳州中药	160101
10	安徽嘉佑	160314	31	杭州民泰	160825	52	亳州贡药	20150721
11	嘉兴东方	160401	32	安徽颐生堂	14110301	53	浙江晨宇	16012201
12	杭州民泰	150801	33	杭州民泰	151203	54	嘉兴东方	160413
13	安徽嘉佑	160411	34	浙中大饮片厂	160227	55	浙中大饮片厂	160423
14	浙中大饮片厂	160320	35	安徽泰源	151021	56	杭州民泰	160524
15	浙江桐君堂	20160119	36	嘉兴东方	160609	57	杭州民泰	150903
16	杭州民泰	151212	37	安徽泰源	151220	58	嘉兴东方	160626
17	杭州民泰	161009	38	嘉兴东方	151222	59	浙江桐君堂	20160511
18	杭州民泰	161026	39	安徽嘉佑	151015	60	安徽嘉佑	160108
19	河北华都	16030403	40	浙江桐君堂	20151227	61	浙中大饮片厂	160207
20	嘉兴东方	160422	41	杭州民泰	160703	62	安徽嘉佑	151225
21	嘉兴东方	161003	42	浙江百草	20151201	63	嘉兴东方	160212

果发现样品粒度越小,模型预测值越接近于 HPLC 真值,过 60, 80, 100 目筛的 3 种粒度对模型预测值的影响相对稳定,故选择过 60 目筛的样品粒度供试验。

2.2 HPLC 测定

2.2.1 色谱条件 Sunfire C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相: 甲醇-0.4%磷酸(88:12); 检测波长: 284 nm; 柱温: 室温; 流速: 1.0 mL·min⁻¹。

2.2.2 线性关系考察 精密吸取 5-HMF 对照品溶液 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2 mL 分别于 6 个 10 mL 量瓶中, 加甲醇定容, 摇匀。按“2.2.1”项下色谱条件进样测定, 记录色谱图, 以峰面积(Y)为纵坐标, 进样浓度(X)为横坐标, 绘制标准曲线, 得回归方程 $Y=165\ 848\ 471.66X+32\ 451.08$, $R^2=0.999\ 9$ 。结果表明, 5-HMF 在 4.8~153.6 mg·L⁻¹ 内呈良好线性关系。

2.2.3 仪器精密度试验 精密吸取 5-HMF 对照品溶液 20 μL, 连续进样 6 次, 按“2.2.1”项下色谱条件进行测定, 计算 5-HMF 峰面积的 RSD 值, 结果显示 RSD 为 0.81%, 表明仪器精密度良好。

2.2.4 重复性试验 取编号为 1 的山茱萸样品, 按“2.1.1”项下方法, 平行制备 6 份供试品溶液, 按“2.2.1”项下色谱条件进行测定, 记录峰面积, 计算 5-HMF 的含量, 结果显示 RSD 为 2.48%, 表明该方法重复性良好。

2.2.5 稳定性试验 取编号为 1 的山茱萸样品, 按“2.1.1”项下方法制备供试品溶液, 按“2.2.1”项下色谱条件分别于 0, 2, 4, 8, 12, 24 h 进行 5-HMF 含量的测定, 并计算 RSD 值, 结果为 2.13%, 表明供试品溶液稳定性良好。

2.2.6 加样回收率试验 精密称取 6 份已知含量的山茱萸样品(编号为 1, 含量为 1.82 mg·g⁻¹), 每份约 0.5 g, 分别加入 5-HMF 对照品 0.9 mg, 按“2.1.1”项下方法制备供试品溶液, 按“2.2.1”项下色谱条件进行测定并计算回收率, 结果显示平均回收率为 102.8%, RSD 为 2.97%。

2.2.7 样品测定 将 63 批山茱萸样本, 按“2.1.1”项下方法制备供试品溶液, 每份样品按“2.2.1”项下色谱条件平行测定 3 次, 取平均值。结果显示不同来源、不同批次样品中 5-HMF 含量存在较大差异, 含量最小为 1.06 mg·g⁻¹, 含量最高为 4.69 mg·g⁻¹, 平均含量为 2.50 mg·g⁻¹。结果见表 2, 图 1。

表 2 63 个样品的 5-羟甲基糠醛含量

Tab. 2 Content of 5-hydroxymethylfurfural in 63 samples mg·g⁻¹

编号	含量	编号	含量	编号	含量	编号	含量
1	1.82	17	2.28	33	3.74	49	1.26
2	2.81	18	2.41	34	2.42	50	2.10
3	1.89	19	2.90	35	3.34	51	1.51
4	1.82	20	2.91	36	2.47	52	1.55
5	4.69	21	1.68	37	1.58	53	1.06
6	3.38	22	2.15	38	1.99	54	1.48
7	3.82	23	1.97	39	1.97	55	3.38
8	2.8	24	2.58	40	3.52	56	2.22
9	2.65	25	3.47	41	1.71	57	2.41
10	4.01	26	2.54	42	2.47	58	2.58
11	3.39	27	3.51	43	2.26	59	3.15
12	2.22	28	2.11	44	2.26	60	2.47
13	3.14	29	3.28	45	2.53	61	2.47
14	2.83	30	3.15	46	1.60	62	1.86
15	2.70	31	3.30	47	2.68	63	1.48
16	1.59	32	2.24	48	1.86	—	—

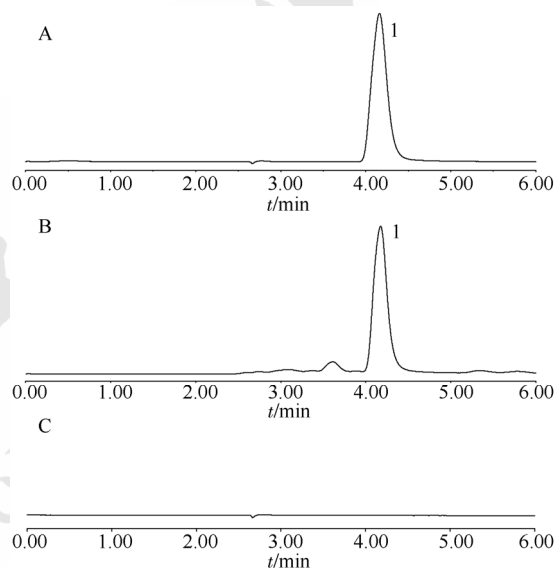


图 1 山茱萸饮片的 HPLC 色谱图

A—对照品溶液; B—供试品溶液; C—空白样品溶液; 1—5-羟甲基糠醛。

Fig. 1 HPLC chromatogram of Corni Fructus

A—reference solution; B—sample solution; C—blank solution; 1—5-hydroxymethylfurfural.

2.3 光谱数据采集

于室温 25 ℃、湿度 50% 的实验室条件下进行近红外(near infrared, NIR)光谱采集, 采用积分球漫反射检测系统; NIR 光谱扫描波长 12 500~3 500 cm⁻¹; 分辨率 8 cm⁻¹; 以仪器内置背景为参照。将山茱萸炮制品粉末盛入直径 50 mm 的旋转样品杯, 用不锈钢制样器于样品杯内制样后进行光谱扫描, 每样本重复扫描 3 次, 取均值, 随机选取其中 54 个样本作为校正集, 9 个样本作为验证集, 校正集样本光谱数据用于建模, 样本原始 NIR 光谱图见图 2。

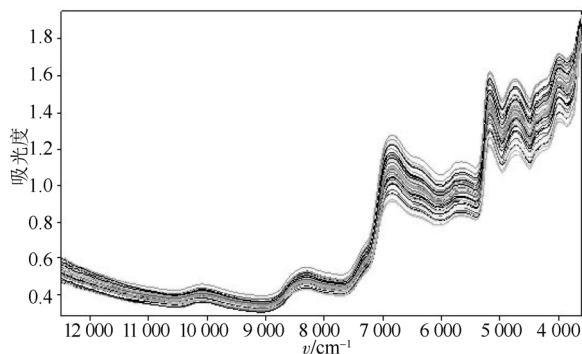


图2 山茱萸样品的原始近红外漫反射光谱

Fig. 2 Original near infrared diffuse reflectance spectra of Corni Fructus

2.4 光谱预处理及波段的选择

本试验以一阶导数、矢量归一化、多元散射校正、一阶导数+矢量归一化、一阶导数+减去一条直线等几种方法对 NIR 光谱进行预处理,同时,结合 OPUS 6.0 软件系统推荐的建模波段,进行局部修饰,确定建模波段。不同光谱预处理下校正模型各性能参数及建模波段范围见表 3。结果显示一阶导数预处理模型的决定系数(determination coefficient, R^2)值最大,交叉验证均方根误差(root mean square error of cross validation, RMSECV)最小,因此将一阶导数作为预处理方法,经一阶导数处理后的图谱见图 3。

表 3 不同光谱预处理方法的校正模型预测性能参数及建模波段范围

Tab. 3 Predictability parameters and spectral ranges of calibration model with different preprocessing methods

预处理方法	R^2	RMSECV	波段范围/ cm^{-1}
一阶导数	0.925 6	0.022 0	8 547.4~7 486.7, 6 156.0~5 631.4
矢量归一化	0.910 9	0.024 1	6 171.4~5 481.0
多元散射校正	0.909 4	0.024 4	6 109.7~5 481.0
一阶导数+矢量归一化	0.904 8	0.025 0	7 795.3~7 502.1, 6 156.0~5 295.9
一阶导数+减去一条直线	0.895 7	0.025 3	8 485.7~7 455.9, 6217.7~5 403.9

表 4 各维数对应的内部交叉验证的 R^2 和 RMSECV

Tab. 4 R^2 and RMSECV corresponding to different ranks

维数	R^2	RMSECV
1	0.442 2	0.060 3
2	0.575 2	0.052 7
3	0.638 4	0.048 6
4	0.722 7	0.042 5
5	0.780 6	0.037 8
6	0.833 3	0.033 0
7	0.887 4	0.027 1
8	0.903 3	0.025 1
9*	0.925 6	0.022 0
10	0.922 1	0.022 5

注: *—推荐维数。

Note: *—recommended dimension.

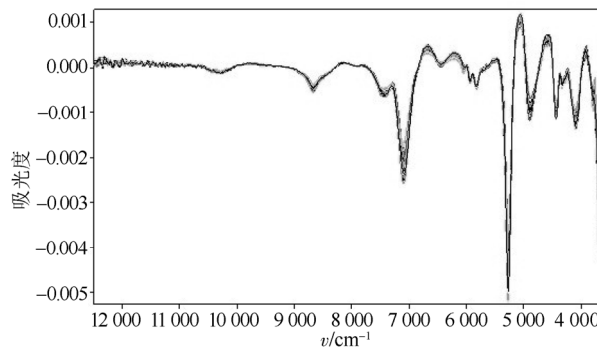


图3 经一阶导数处理后的近红外谱图

Fig. 3 Near infrared spectrum after first derivative processing

2.5 定量模型的建立与评价

光谱数据经一阶导数等多种校正技术处理后,采用 PLS 建立 NIR 光谱与 HPLC 真值之间的校正模型。以 RMSECV 为指标,运用留一法交叉验证,选择最佳主因子数。根据 RMSECV 和 R^2 选出最优模型。RMSECV 越小, R^2 越大时说明模型的预测能力越好。结果显示当本模型最佳主因子数为 9 时, RMSECV 最小(0.022 0), 而 R^2 最大(0.925 6), 模型相对分析误差为 5.06。故确定本模型最佳主因子数为 9。各维数对应的内部交叉验证的 R^2 和 RMSECV 见表 4。

2.6 NIR 分析方法学考察

精密度考察:取粉碎过筛后的 1 号样品,连续扫描 5 次,并以建立的模型预测其中 5-HMF 含量,计算预测值之间的 RSD 值。重复性考察:另取 1 号样品 5 份,分别粉碎、过筛、装样扫描,用建立的模型预测 5 份样品中 5-HMF 的含量,计算预测值之间的 RSD 值。稳定性考察:另取 1 号样品,每隔 1 周进行 1 次扫描,并获得 5 次 5-HMF 的预测含量,计算预测值之间的 RSD 值。所得结果的 RSD 值分别为 2.21%, 3.77%, 4.85%, 表明该近红外仪器精密度良好,所建立的分析方法重复性和稳定性均较好,可以满足分析要求。

2.7 模型的预测与检验

使用建立的模型, 对未参与建模的验证集 9 个样本进行 5-HMF 含量预测, 结果见表 5。

表 5 模型预测结果

Tab. 5 Predictability results of calibration models

样本	HPLC 真值/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	预测值/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	绝对误差
55	3.38	3.48	0.10
56	2.22	2.33	0.11
57	2.41	2.23	-0.18
58	2.58	2.49	-0.09
59	3.15	3.15	0
60	2.47	2.35	-0.12
61	2.47	2.46	-0.01
62	1.86	1.65	-0.21
63	1.48	1.33	-0.15

除从模型自身性能参数衡量定量模型的质量优劣外, 对模型实际预测能力, 采用外部检验评价的方法进行。外部验证集的预测值与 HPLC 真值的相关性见图 4。 R^2 为 0.925 6, RMSECV 为 0.022 0, 外部验证均方差为 0.019 3。可见, 所建立的定量校正模型具有较好的预测能力, 可用于山茱萸中 5-HMF 含量的快速测定。

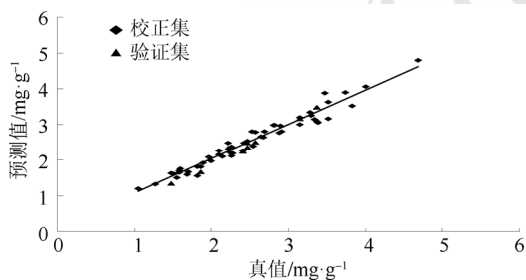


图 4 预测值与真值的相关性

Fig. 4 Correlation between predictive value and true value

2.8 炮制过程的 NIR 监测

取 1 kg 山茱萸生品, 除去杂质, 按《浙江省中药炮制规范》2015 版中对山茱萸炮制要求操作, 即置于适量容积的蒸锅中常压蒸制, 先用武火, 待“圆气”后改用文火, 蒸 10 h 后, 隔夜焖 10 h 至外皮呈紫黑色。从山茱萸生品投入锅中开始计时, 分别于 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 h 取样, 于 60 °C 干燥, 打粉, 过 60 目筛, 取样作为不同炮制时间的山茱萸蒸制样品。平行操作上述过程 3 次, 样品供光谱扫描, 炮制过程的 NIR 监测结果及 HPLC 测定结果见图 5。

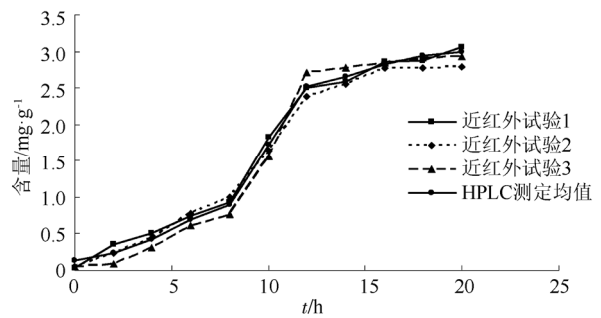


图 5 山茱萸炮制过程中 5-羟甲基糠醛的含量变化曲线

Fig. 5 Variation curve of 5-hydroxymethylfural content during the processing of hawthorn

5-HMF 含量随着炮制时间的延长而增加, 在未炮制时, 饮片 5-HMF 含量几乎为零; 炮制 8~14 h 之间 5-HMF 含量升高明显, 而之后含量增加缓慢; 在炮制 14 h 后, 5-HMF 的预测含量超过 63 个样本的平均含量($2.50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。说明山茱萸至少需炮制 14 h 以上才能保证 5-HMF 含量达到平均水平, 此时山茱萸表面紫黑色, 色泽光亮, 与《浙江省中药炮制规范》中对该饮片的性状描述基本一致, 说明通过该 NIR 模型对炮制过程中 5-HMF 含量的预测, 基本可实现对山茱萸炮制程度的评价。

3 讨论

在运用 PLS 法建立模型时, 为充分提高光谱信号的有效信息利用率, 需确定 PLS 主因子数: 主因子数过小时, 模型引入信息量不够, 则不能反映被测组分产生的量测数据(如光谱)变化, 而降低模型预测准确度, 即出现模型“欠拟合”现象; 主因子数过大时, 将会引入过多噪声信息, 降低信噪比, 使模型预测能力下降, 出现“过拟合”现象^[14]。 R^2 和 RMSECV 是影响最佳主因子数的 2 个主要因素, 模型预测的 RMSECV 最小, R^2 最大时, 模型预测值与标准方法测定的真值最接近, 预测的准确性最好。

本研究在建模光谱波段选择时, 于 OPUS 6.0 软件系统推荐的建模波段基础上以 R^2 和 RMSECV 为考察指标, 进行局部修饰, 当相关指标达到较优值时确定建模波段。此种波段优化选择方法可剔除大量冗余信息, 减少计算时间, 提高模型预测性能, 适合复杂中药 NIR 光谱分析的预处理。

本研究采用 PLS 建立定量模型对山茱萸饮片 5-HMF 进行快速预测, 模型预测值与真值之间的相关性好, R^2 为 0.925 6, 相对分析误差为 5.06,

RMSECV 为 0.022 0, 外部验证均方差为 0.019 3。该法可直接从山茱萸样本中测得 5-HMF 含量, 每次获得光谱图只需几十秒, 具有快速、准确、无损的特点, 为快速检测山茱萸中 5-HMF 含量及快速判别饮片的炮制程度提供了可能, 是一项可靠的绿色在线分析技术。

中药的炮制是一个复杂的化学成分变化的过程, 美拉德反应广泛存在于中药炮制过程中, 本研究选择了山茱萸炮制过程中美拉德反应的代表性产物 5-HMF 作为评价指标, 通过 NIRS 预测 5-HMF 含量的变化, 可从一定程度上实现对山茱萸炮制程度的判断。此外, 本研究建立的 NIR 定量模型样本量较少, 在实际过程中应采集更多、更具代表性的山茱萸样本, 逐渐扩充校正集样本数量, 才能使模型更加稳健可靠, 预测性能得以提高。

REFERENCES

- [1] 中国药典. 一部[S]. 2015: 27-28.
- [2] LIANG J R. Research advances in chemical constituents and biological activity of Fructus corni [D]. Xi'an: Northwest University, 2014.
- [3] ZHANG L N, ZHANG T L, JIN G Q, et al. Protein expression of P-synapsin I following 5-HMF of SHUDI treatment in hippocampal neurons with corticosterone injury [J]. Chin J Gerontol(中国老年学杂志), 2015, 35(9): 2305-2307.
- [4] GUAN L B, LI X X, LI J S, et al. Effect of 5-HMF on hemoglobin-oxygen affinity, swimming endurance and spatial memory ability of rats in high altitude simulated environment [J]. J Third Mil Med Univ(第三军医大学学报), 2015, 37(15): 1561-1565.
- [5] ZOU L, QIU B X, LIU K, et al. Content of polysaccharide and 5-hydroxymethylfurfural(5-HMF) in Codonopsis Radix after cooked with rice and its impact on rabbit gastrointestinal smooth muscle *in vitro* [J]. Chin Tradit Herbal Drugs(中草药), 2017, 48(1): 149-154.
- [6] LIU Y Q, XU C X, JIA R, et al. Effects of three compounds separated from *Atractylodes lancea*(Thunb.) DC on Spleen disorder model rats [J]. Chin Arch Tradit Chin Med(中华中医药学刊), 2017, 35(2): 382-386.
- [7] LIU Y, CHEN H F, ZHU Y P, et al. On the mechanism of processing cornus officinalis with wine by high pressure [J]. J Bengbu Med Coll(包头医学院学报), 2017, 33(1): 115-117.
- [8] CHANG Z R, LI J, HAO B, et al. Analysis of characteristic chemical components in crude and processed Fructus Corni [J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志), 2015, 35(2): 338-343.
- [9] PAN Z, SHAO H X, LIU T, et al. Research progress of 5-hydroxymethylfurfural, a safety-related substance in traditional Chinese medicine injections [J]. Chin J Chin Mater Med(中国中药杂志), 2017, 42(10): 1842-1846.
- [10] YING X H, LI J H, LIU L, et al. Rapid analysis of multi-components of Ginseng Radix et Rhizoma Rubra based on near infrared spectroscopy [J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2017, 34(10): 1377-1384.
- [11] ZHAO Y L, ZHANG J, YUAN T J, et al. Study on rapid identification of medicinal plants of paris polyphylla from different origin areas by NIR spectroscopy [J]. Spectrosc Spect Anal(光谱学与光谱分析), 2014, 34(7): 1831-1835.
- [12] XUE S J, CHEN S Q, WANG L L, et al. Qualitative and quantitative study on different commercial specifications of Radix Rehmanniae based on near infrared spectroscopy [J]. Chin J Tradit Chin Med(中华中医药杂志), 2017, 32(5): 2055-2059.
- [13] KUANG Y H, TANG H J, WANG D Q, et al. A Method for analyzing uniformity of borneol in manufactory process of compound Danshen tablets by near infrared spectroscopy [J]. Chin J Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志), 2018, 24(6): 7-11.
- [14] WU L M. Study on rapid detection for the quality of some herbal medicines and Chinese patent medicines by near infrared spectroscopy [D]. Chongqing: Southwest University, 2013.

收稿日期: 2018-07-23
(本文责编: 沈倩)