

[成分分析]

HPLC 法同时测定白术中 4 种倍半萜

丁逸雪， 徐继校， 吴 威， 陆洁淼， 董诗慧， 余佳琰， 秦路平*， 朱 波*
(浙江中医药大学药学院，浙江 杭州 310053)

摘要：目的 建立 HPLC 法同时测定白术中白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮的含有量。**方法** 白术甲醇提取液的分析采用 Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm)；流动相乙腈-水，梯度洗脱；柱温 25 ℃；体积流量 1.0 mL/min；检测波长 220 nm、276 nm。**结果** 白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮分别在 0.005 2~0.052 mg/mL ($R^2=0.999\ 6$)、0.010~0.10 mg/mL ($R^2=0.999\ 9$)、0.090~2.9 μg/mL ($R^2=0.999\ 7$)、0.30~1.8 mg/mL ($R^2=0.999\ 9$) 范围内线性关系良好，平均加样回收率 99.13%~100.34%，RSD 0.72%~4.76%。**结论** 该方法准确稳定，重复性好，可用于白术的质量控制。
关键词：白术；白术内酯 I；白术内酯 II；白术内酯 III；苍术酮；HPLC
中图分类号：R284.1 **文献标志码：**A **文章编号：**1001-1528(2020)04-0927-05
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2020.04.020

Simultaneous determination of four sesquiterpenes in *Atractylodes macrocephala* by HPLC

DING Yi-xue, XU Ji-xiao, WU Wei, LU Jie-miao, DONG Shi-hui, YU Jia-yan,
QIN Lu-ping*, ZHU Bo*
(School of Pharmacy, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China)

ABSTRACT: **AIM** To establish an HPLC method for the simultaneous content determination of atractylenolide I, atractylenolide II, atractylenolide III and atractylone in *Atractylodes macrocephala* Koidz.. **METHODS** The analysis of methanol extract of *A. macrocephala* was performed on a 25 ℃ thermostatic Eclipse Plus C₁₈ column (4.6 mm×250 mm, 5 μm), with the mobile phase comprising of acetonitrile-water flowing at 1.0 mL/min in a gradient elution manner, and the detection wavelength was set at 220, 276 nm. **RESULTS** Atractylenolide I, atractylenolide II, atractylenolide III and atractylone showed good linear relationships within 0.005 2 – 0.052 mg/mL ($R^2=0.999\ 6$), 0.010–0.10 mg/mL ($R^2=0.999\ 9$), 0.090–2.9 μg/mL ($R^2=0.999\ 7$), 0.30–1.8 mg/mL ($R^2=0.999\ 9$), respectively, whose average recoveries were 99.13%–100.34% with the RSDs of 0.72%–4.76%. **CONCLUSION** This accurate, stable and reproducible method can be used for the quality control of *A. macrocephala*.
KEY WORDS: *Atractylodes macrocephala* Koidz.; atractylenolide I; atractylenolide II; atractylenolide III; atractylone; HPLC

白术系菊科苍术属植物白术 *Atractylodes macrocephala* Koidz. 的干燥根茎，别名桴蓊、于术、杨桴、吴术、片术等，为多年生草本植物，以根茎入药，是浙江省著名道地药材“浙八味”之一^[1-2]。白术主要分布在浙江、安徽、河南等省，性温，味辛、苦，具有健脾益气、燥湿利水、止汗、安胎的

收稿日期：2019-06-18
基金项目：国家自然科学基金面上项目 (81673528)；浙江省一流学科 A 类 (中药学) 开放基金重点项目 (Ya2017001)
作者简介：丁逸雪 (1999—)，女，从事中药材质量控制研究。E-mail: m15257839919@163.com
* 通信作者：秦路平 (1966—)，男，博士，教授，研究方向为中药材品质评价。Tel: (0571) 61768167, E-mail: lpqin@zcmu.edu.cn
朱 波 (1986—)，男，博士，助理研究员，研究方向为中药资源收集与质量控制。Tel: (0571) 61768525, E-mail: zhubo@zcmu.edu.cn

功效，临床多用于脾虚食少、腹胀泄泻、痰饮眩悸、水肿、胎动不安，被誉为健脾补气第一要药^[3-4]。倍半萜类是白术的主要有效成分，包括白术内酯Ⅰ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅲ、苍术酮等，现代药理学研究表明白术倍半萜类成分具有抗炎^[5-6]、利尿^[7]、抗衰老^[8]、抗病毒^[9]、抗肿瘤^[10]、促进胃肠运动^[11]、提高机体免疫力^[12]等作用。

白术现有报道多集中在药理药效^[13]、提取工艺^[14]、栽培技术^[15]、化学成分^[16]等方面，已有的含有量测定报道也多侧重于方法学考察与不同批次饮片研究^[17-18]。白术药材原植物分布经纬度跨度大，不同生境因子下药材质量参差不齐，加上白术现有栽培技术与栽培品系繁多混杂，导致伪品冲击、以次充好等现象频发，阻碍了白术产业可持续发展。不同产地来源的白术中次生代谢产物成分含

有量存在差异，影响着中成药的质量和用药安全^[19]。因此，课题组以白术内酯Ⅰ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅲ、苍术酮 4 种倍半萜类成分为指标性状，收集全国白术主产区 7 个产地白术种质资源，建立 HPLC 法对其进行含有量测定，并分析白术生长性状、产地生境因子与倍半萜类成分含有量之间的相关性，以期对白术药材质量控制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 药材 2017 年 10 月至 2017 年 11 月，收集浙江於潜、浙江庆元、安徽亳州、浙江东阳、河南温县、浙江磐安、浙江新昌等 7 个产地新鲜白术种质资源，经浙江中医药大学药学教研室张巧艳教授鉴定为菊科植物白术 *Atractylodes macrocephala* Koidz. 的干燥根茎。信息见表 1。

表 1 样品信息

Tab. 1 Information of samples

编号	产地	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m	降雨量/mm	年平均温度/℃
S1	浙江於潜	119.39	30.18	377	1 613.9	16.5
S2	浙江庆元	119.06	27.62	368	1 760.4	17.4
S3	安徽亳州	115.77	33.84	67	831.2	14.9
S4	浙江东阳	120.24	29.28	105	1 351.6	17.2
S5	河南温县	112.96	34.91	54	625.9	14.7
S6	浙江磐安	120.51	29.03	661	1 469.2	15.2
S7	浙江新昌	120.90	29.49	82	1 500.8	16.6

1.2 仪器与试剂 600-2998 型高效液相色谱仪（美国 Waters 公司）；超纯水仪（美国 Millipore 公司）；FA2004 型电子分析天平（上海恒平精密电子仪器有限公司）；KQ-300DV 型超声波（上海颖汉科技有限公司）；DXF-60D 型中药打粉机（广州市大祥电子机械设备有限公司）；DHG-9031A 型电热恒温鼓风干燥箱（上海森信试验仪器有限公司）。白术内酯Ⅰ（B20054）、白术内酯Ⅱ（B20055）、白术内酯Ⅲ（B20056）、苍术酮（B20129）对照品均购于上海源叶生物科技有限公司。色谱纯乙腈、甲醇均购于北京京科瑞达科技有限公司；分析纯甲醇购于国药集团化学试剂有限公司。

1.3 方法

1.3.1 生长性状测定 取健康白术块茎，蒸馏水洗净，阴干，用直尺测量块茎纵径、横径，计算纵横径比=纵径/横径，摘除块茎须根，用电子天平称定块茎鲜重（n=15）。

1.3.2 含有量测定

1.3.2.1 色谱条件 Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱

（4.6 mm×250 mm，5 μm）；流动相乙腈（A）-水（B），梯度洗脱（0~30 min，50%~70% A；31~45 min，78%~95% A；46~50 min，50% A）；柱温 25℃；体积流量 1.0 mL/min；检测波长 220、276 nm；进样量 20 μL。色谱图见图 1。

1.3.2.2 线性关系考察 精密称取适量白术内酯Ⅰ、白术内酯Ⅱ、白术内酯Ⅲ、苍术酮对照品，用甲醇制备成终质量浓度分别为 0.13、0.25、0.015、2.0 mg/mL 的对照品溶液。分别精密吸取白术内酯Ⅰ、白术内酯Ⅱ对照品溶液 0.20、0.40、0.60、0.80、1.0、2.0 mL，甲醇定容至 5 mL；分别精密吸取白术内酯Ⅲ对照品溶液 0.30、0.60、1.2、2.4、4.8、9.6 mL，甲醇定容至 50 mL；分别精密吸取苍术酮对照品溶液 0.30、0.60、0.90、1.2、1.5、1.8 mL，甲醇定容至 2 mL，吸取上述溶液适量，0.45 μm 微孔滤膜过滤，在“1.3.2.1”项色谱条件下依次进样，4 种成分检测波长分别为 220、220、220、276 nm。以质量浓度为横坐标（X），峰面积为纵坐标（Y）进行回归，结果见表 2，可知各成分在各自范围内线性关系良好。

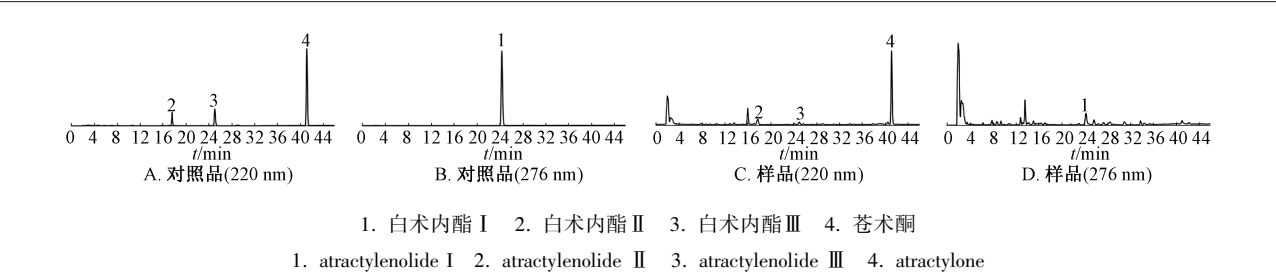


图 1 各成分 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of various constituents

表 2 各成分线性关系

Tab. 2 Linear relationships of various constituents			
成分	回归方程	线性范围	R ²
白术内酯 I	$Y=7.7\times10^7X+7.5\times10^4$	0.005 2~0.052 mg/mL	0.999 6
白术内酯 II	$Y=9.1\times10^7X+3.0\times10^4$	0.010~0.10 mg/mL	0.999 9
白术内酯 III	$Y=1.6\times10^8X+6.2\times10^3$	0.090~2.9 μg/mL	0.999 7
苍术酮	$Y=1.9\times10^7X+1.7\times10^5$	0.30~1.8 mg/mL	0.999 9

1.3.2.3 供试品溶液制备 将洗净后的块茎切片，置于 60 ℃烘箱中烘至恒定质量，粉碎后过 3 号筛。精密称取白术块茎样品粉末 0.5 g，20 mL 甲醇超声提取 30 min，抽滤，滤液用甲醇定容至 25 mL 量瓶中，避光密闭保存。取适量样品溶液，过0.45 μm 微孔有机滤膜，取续滤液，即得。

1.3.2.4 精密度试验 取白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮对照品溶液适量，在“1.3.2.1”项色谱条件下依次进样 6 次，测得白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮峰面积 RSD 分别为 1.01%、0.83%、1.19%、0.92%，表明仪器精密度良好。

1.3.2.5 稳定性试验 取浙江庆元样品，按“1.3.2.3”项下方法制备供试品溶液，分别于 0、2、4、8、12、18、24 h 在“1.3.2.1”项色谱条件下进样，测得白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮峰面积 RSD 分别为 0.89%、1.42%、1.48%、1.94%，表明供试品溶液在避光密闭保存 24 h 内稳定性良好。

1.3.2.6 重复性试验 取浙江庆元样品 3 份，按“1.3.2.3”项下方法制备供试品溶液，在“1.3.2.1”项色谱条件下进样，测得白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮含有量 RSD 分别为 2.49%、2.03%、1.04%、1.96%，表明该方法重复性良好。

1.3.2.7 加样回收率试验 取含有量已知的浙江庆元样品，精密称定 0.2 g，加入白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮对照品适量，按“1.3.2.3”项下方法制备供试品溶液，在“1.3.2.1”

项色谱条件下进样，计算回收率，结果见表 3。

表 3 各成分加样回收率试验结果 (n=6)

Tab. 3 Results of recovery tests for various constituents (n=6)					
成分	原有量/ mg	加入量/ mg	测得量/ mg	回收率/ %	平均回收 率/% (RSD/%)
白术内酯 I	0.448 0	0.200 1	0.647 0	99.45	99.79 (0.72)
	0.448 0	0.200 3	0.649 2	100.45	
	0.448 0	0.200 1	0.647 3	99.60	
	0.448 0	0.200 5	0.648 0	99.75	
	0.448 0	0.200 4	0.645 9	98.75	
白术内酯 II	0.448 0	0.200 3	0.649 8	100.75	100.34 (1.40)
	0.726 0	0.500 1	1.226 9	100.16	
	0.726 0	0.500 2	1.230 8	100.92	
	0.726 0	0.500 4	1.223 1	99.34	
	0.726 0	0.500 3	1.228 4	100.42	
白术内酯 III	0.726 0	0.500 0	1.239 1	102.62	99.13 (4.76)
	0.726 0	0.500 1	1.218 9	98.56	
	0.003 8	0.002 1	0.006 0	104.76	
	0.003 8	0.002 0	0.005 7	95.00	
	0.003 8	0.002 1	0.005 8	95.24	
苍术酮	0.003 8	0.002 3	0.006 1	100.00	100.08 (2.19)
	0.003 8	0.002 0	0.005 7	95.00	
	0.003 8	0.002 1	0.006 0	104.76	
	14.550 0	5.000 0	19.530 1	99.60	
	14.550 0	5.000 3	19.539 0	99.77	
	14.550 0	5.000 1	19.573 4	100.47	
	14.550 0	5.000 2	19.563 0	100.26	
	14.550 0	5.000 4	19.389 0	96.77	
	14.550 0	5.000 3	19.730 9	103.61	

1.4 数据处理与分析 应用 DPS 9.5、SPSS 24.0 软件处理数据。方差分析采用单因素 ANOVA 分析，聚类分析采用类平均法 (UPGMA)^[20]。

2 结果与分析

2.1 生长性状比较 不同产地白术块茎生长性状存在差异 (P<0.05 或 P<0.01)。供试白术块茎平均纵径、横径、鲜重分别为 12.28 cm、6.41 cm、80.22 g，其中安徽亳州产者较大，纵径、横径、鲜重分别为 15.94 cm、8.04 cm、98.30 g；河南温县产者相对较小，纵径、横径、鲜重指标仅分别为 9.03 cm、4.56 cm、64.98 g；浙江东阳产者较为

瘦长，纵横径比为 2.14，而浙江新昌产者较为宽 胖，纵横径比仅为 1.72。见表 4。

表 4 不同产地间白术生长性状、4 种倍半萜含有量比较 ($\bar{x}\pm s$, $n=3$ 、15)

Tab. 4 Comparison of growth traits and four sesquiterpenes contents in *A. macrocephala* from different growing areas ($\bar{x}\pm s$, $n=3$, 15)

产地	白术内酯 I / (mg·g ⁻¹)	白术内酯 II / (mg·g ⁻¹)	白术内酯 III / (mg·g ⁻¹)	苍术酮 / (mg·g ⁻¹)	纵径/cm	横径/cm	纵横径比	鲜重/g
浙江於潜	2.29±0.38	1.24±0.10	0.096 3±0.010 4	84.99±12.31	13.42	6.54	2.05	82.43
浙江庆元	2.24±0.29	3.63±0.36	0.019 0±0.001 9	72.75±22.14	11.21	5.49	2.04	78.76
安徽亳州	0.40±0.07	1.20±0.09	0.043 7±0.002 8	52.10±11.35	15.94	9.24	1.73	98.30
浙江东阳	0.84±0.10	2.27±0.23	0.046 2±0.002 6	59.44±10.06	12.45	5.82	2.14	78.92
河南温县	0.64±0.11	1.16±0.10	0.005 2±0.003 5	56.96±10.42	9.03	4.56	1.98	64.98
浙江磐安	1.28±0.24	1.29±0.10	0.031 2±0.006 6	81.07±12.04	12.05	6.32	1.91	77.83
浙江新昌	0.57±0.10	1.47±0.14	0.067 2±0.004 0	69.46±11.27	11.84	6.87	1.72	80.32
平均值	1.18 **	1.75 **	0.044 1 **	68.11 **	12.28 *	6.41 *	1.94 *	80.22 **

注: $n=3$,表示 4 种成分含有量数据为 3 次生物学重复; $n=15$,表示纵径、横径、纵横径比、鲜重数据为 15 次生物学重复。7 个产地组间比较, * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

2.2 倍半萜类含有量比较 7 个产地间白术块茎中 4 种倍半萜含有量存在统计学差异 ($P<0.01$), 白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮平均含有量分别为 1.18、1.75、0.044 1、68.11 mg/g。其中, 浙江於潜产者白术内酯 I、白术内酯 III、苍术酮含有量最高, 浙江庆元产者白术内酯 II 含有量最高, 安徽亳州产者白术内酯 I、苍术酮含有量最低, 河南温县产者白术内酯 II、白术内酯 III 含有量最低。

2.3 相关性分析 表 5 显示, 白术内酯 I、白术内

酯 II、苍术酮含有量与块茎纵径、横径、鲜重、纬度呈负相关关系, 其中苍术酮含有量与纬度负相关系数最高 ($-0.651\ 3$), 与块茎纵横径比、经度、海拔、降雨量、年平均温度呈正相关关系, 其中苍术酮含有量与海拔正相关系数最高 ($0.820\ 2$); 白术内酯 III 含有量与纵横径比、纬度呈负相关关系, 与块茎纵径、横径、鲜重、经度、海拔、降雨量、年平均温度呈正相关关系, 其中与块茎纵径正相关系数最高 ($0.530\ 3$)。

表 5 白术 4 种倍半萜含有量与生长性状、生境因子相关性分析

Tab. 5 Correlation analysis of sesquiterpenes contents, growth traits and geographical factors

项目	白术内酯 I	白术内酯 II	白术内酯 III	苍术酮	块茎纵径	块茎横径	纵横径比	块茎鲜重	经度	纬度	海拔	降雨量	年平均温度
白术内酯 I	1.000 0												
白术内酯 II	0.489 6	1.000 0											
白术内酯 III	0.252 8	-0.299 9	1.000 0										
苍术酮	0.770 7	0.068 1	0.461 0	1.000 0									
块茎纵径/cm	-0.078 0	-0.205 2	0.530 3	-0.083 3	1.000 0								
块茎横径/cm	-0.306 3	-0.330 9	0.415 6	-0.202 6	0.929 6	1.000 0							
纵横径比	0.569 7	0.458 7	-0.079 0	0.238 9	-0.370 7	-0.683 8	1.000 0						
块茎鲜重/g	-0.104 0	-0.082 7	0.429 6	-0.148 5	0.970 6	0.954 9	-0.482 7	1.000 0					
经度/(°)	0.347 0	0.289 9	0.524 1	0.623 6	0.193 4	0.078 0	0.097 2	0.170 2	1.000 0				
纬度/(°)	-0.587 3	-0.634 3	-0.252 2	-0.651 3	0.034 8	0.181 3	-0.321 0	0.010 6	-0.900 5	1.000 0			
海拔/km	0.645 6	0.123 3	0.044 5	0.820 2	-0.020 4	-0.136 2	0.228 4	-0.075 6	0.473 5	-0.565 0	1.000 0		
降雨量/mm	0.724 9	0.545 3	0.440 7	0.780 1	0.041 8	-0.112 7	0.285 9	0.055 6	0.872 8	-0.956 3	0.586 2	1.000 0	
年平均温度/℃	0.516 9	0.745 5	0.335 5	0.323 6	-0.042 6	-0.232 8	0.476 0	-0.009 2	0.677 9	-0.804 4	0.054 0	0.794 1	1.000 0

2.4 聚类分析 以白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮含有量和生长性状为参考指标, 对 7 个产地白术进行聚类分析, 根据欧氏距离 $D^2=16.08$ 将不同产地划分为 3 个类群, 见图 2。类群 I 共 5 个产地, 均为浙产白术, 分别为浙江磐安、浙江新昌、浙江於潜、浙江东阳、浙江庆元, 该类群块茎较瘦长, 中等大小, 倍半萜含有量较高; 类群 II、III 各有 1 个产地, 为非浙产白术, 分别为河

南温县与安徽亳州, 前者产块茎较小, 后者产块茎较大而宽胖, 两者倍半萜含有量均较低。

3 讨论与结论

本实验显示, 白术内酯 I 的最大检测波长为 276 nm, 白术内酯 II、白术内酯 III 与苍术酮的最大检测波长为 220 nm, 所以确定检测波长为 220、276 nm; 考察了流动相 (甲醇-水、乙腈-水、乙腈-0.2% 磷酸)、提取方法 (超声、索式提取、加

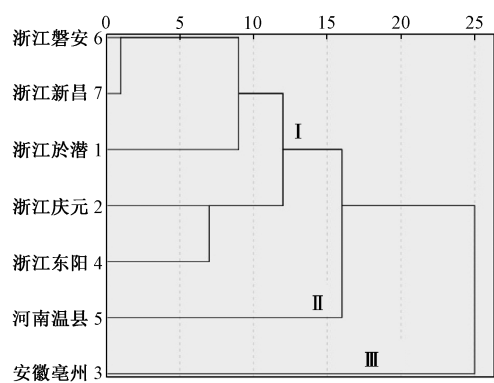


图 2 7 批样品聚类树状图

Fig. 2 Dendrogram of seven batches of samples

热回流)、提取时间(20、30、40 min)对白术倍半萜成分含有量的影响,发现4种成分在甲醇中超声处理(2 509 W, 33 kHz) 30 min 即可提取完全,以乙腈-水为流动相洗脱效果较好,各峰之间的分离度>1.5,理论塔板数>3 000,白术内酯 I、白术内酯 II、白术内酯 III、苍术酮保留时间分别为 24.238、17.644、25.014、41.202 min,定量限分别为 1.84、2.32、0.037、10.96 μg/mL,检测限分别为 0.76、1.07、0.021、10.96 μg/mL。

药用植物生长发育情况及环境条件对次生代谢产物积累都具有重要的影响,包括生长性状、经纬度、海拔、降雨量等^[21]。本实验显示,7 个产地白术块茎中 4 种倍半萜含有量存在统计学差异($P<0.01$),其中浙江产高于安徽、河南产;海拔、年平均温度与白术内酯 I、苍术酮含有量呈正相关,而且相关性系数较大。课题组发现,浙江於潜的海拔为 377 m,远低于浙江磐安的 661 m,但前者产样品中白术内酯 I 苍术酮的含有量却高于后者产,可能是由于前者海拔过高,导致年平均温度低于后者,影响了倍半萜在白术块茎中的积累,也表明於潜特定的生境因子可能是当地品种品质较好的原因之一。高经度、低纬度、高海拔的环境有利于白术倍半萜类成分积累,故可优先在拥有上述地域条件的浙江种质中选择。对于安徽、河南产地白术,本实验分别只收集到了 1 个样本,代表性较弱,下一步将继续进行安徽、河南、湖南等非浙江产地的资源收集与含有量测定。

参考文献:

[1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1987, 78(1): 28.

[2] 祁银涛, 杨 杰, 李建娟, 等. 白术药材质量标准研究[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(5): 1260-1262.

[3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 年版四部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 103-104.

[4] 易思荣, 黄 娅, 全 健, 等. 中药材白术的育种研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(3): 826-828.

[5] Wang C H, Duan H J, He L C. Inhibitory effect of atractylenolide I on angiogenesis in chronic inflammation *in vivo* and *in vitro* [J]. *Eur J Pharmacol*, 2009, 612(1-3): 143-152.

[6] Dong H Y, He L C, Huang M, *et al*. Anti-inflammatory components isolated from *Atractylodes macrocephala* Koidz. [J]. *Nat Prod Res*, 2008, 22(16): 1418-1427.

[7] 陈 静, 孙云超, 冉小库, 等. 白术利尿作用研究[J]. 中国现代中药, 2016, 18(5): 563-567.

[8] 赵玉娇, 高 耀, 周玉枝, 等. 白术在神经精神系统疾病中的药理作用及机制研究进展[J]. 中草药, 2017, 48(21): 4546-4551.

[9] 周若夏, 宋丽军, 施晓莹, 等. 白术内酯 I、II、III 体内外抗轮状病毒作用研究[J]. 中草药, 2019, 50(1): 104-110.

[10] 陈琴华, 余 飞, 王红梅, 等. 白术内酯 I、II、III 对炎性巨噬细胞细胞因子表达的影响[J]. 中国药师, 2017, 20(12): 2112-2116.

[11] 李 尧, 李 伟, 张颖颖, 等. 白术及麸炒白术拆分组分配伍对脾虚模型大鼠胃肠功能的影响[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(11): 2626-2628.

[12] 孙文平, 李发胜, 侯殿东, 等. 当归、白术、制白附子多糖对小鼠免疫调节作用的影响[J]. 中国中医药信息杂志, 2008, 15(7): 37-38.

[13] 王东旭, 李茹柳, 胡 灿, 等. 白术、黄芪糖复合物对 IEC-6 细胞迁移钾通道影响的研究[J]. 中药药理与临床, 2018, 34(1): 108-114.

[14] 梁志远, 甘秀海, 吴 坤, 等. 正交试验优选白术中白术内酯 I 和白术内酯 III 提取工艺[J]. 中成药, 2015, 37(6): 1356-1360.

[15] 梁 芬. 中药材白术栽培技术[J]. 安徽农学通报(上半月刊), 2010, 16(13): 269-270.

[16] 邹 辉, 杨 彬, 易美玲, 等. 白术化学成分分离鉴定[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(17): 43-48.

[17] 黄小千, 牟 洁, 朱 莹, 等. 白术挥发油提取工艺的优化及其化学成分研究[J]. 山东中医药大学学报, 2013, 37(4): 339-342.

[18] 伍蕊嗣, 刘 涛, 梁 悦, 等. 基于一测多评法的白术饮片成分含量测定[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2018, 37(4): 361-365.

[19] 张 兵, 张丽娜, 韩鹏军, 等. 白术中 3 种内酯成分的含量测定及指纹图谱研究[J]. 天津中医药大学学报, 2018, 37(5): 411-415.

[20] 刘 盼, 雷素娟, 唐 鹏, 等. 不同产地佛手 GC 指纹图谱及 4 种成分测定[J]. 中成药, 2018, 40(11): 2491-2496.

[21] 聂 芳, 吕伟旗, 汤晨凌. HPLC 法同时测定 14 个产地娑罗子中 4 种七叶皂苷[J]. 中成药, 2018, 40(12): 2703-2708.