不同干燥加工方式的白芷饮片质量评价Δ

朱兴龙[1,2*]，陈晓妍[1,2]，晏宇杭[1,2]，吴清华[1,2]，卢丽洁[1,2]，黄旭龙[1,2]，张佳旭[1,2]，郑全林[3]，裴　瑾[1,2#]（1.成都中医药大学药学院，成都　611137；2.西南特色中药资源国家重点实验室，成都　611137；3.遂宁天地网川白芷产业有限公司，四川 遂宁　629000）

中图分类号　R917　　**文献标志码**　A　　**文章编号**　1001-0408（2022）24-2985-05
DOI　10.6039/j.issn.1001-0408.2022.24.08

摘　要　目的　评价不同干燥加工方式的白芷饮片质量。**方法**　采用Adobe Photoshop 2020软件测定烘干蒸切、鲜切干燥、半鲜切干燥3种不同干燥方式所得白芷饮片的红绿度（*a*）、黄蓝度（*b*）、明度（*L*）值；采用高效液相色谱法测定3种不同干燥方式白芷饮片中伞形花内酯等9种香豆素类成分的含量；采用SPSS 26.00软件和SIMCA 14.0软件对32批白芷饮片中9种香豆素类成分含量进行主成分分析和偏最小二乘法-判别分析，采用灰色关联度分析饮片粉末颜色和香豆素类成分含量的关联性。**结果**　32批白芷饮片粉末的*a*、*b*、*L*值分别为0～2.4、6.0～20.3、35.6～51.1。伞形花内酯、白当归素、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素的含量分别为0.026～0.324、0.051～0.549、0～0.113、0～0.398、0.256～1.115、1.434～6.014、1.866～4.039、0.742～1.455、0.789～2.642 mg/g，总含量为6.442～13.382 mg/g。主成分分析结果显示，半鲜切干燥饮片（BZ-27～BZ-30、BZ-32）的综合得分排序靠前，其余两种饮片质量差异较大。偏最小二乘法-判别分析结果显示，半鲜切干燥饮片聚为一类，烘干蒸切饮片和鲜切干燥饮片分离度较差。灰色关联度分析结果显示，*L*、*b*值与佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素及*b*值与补骨脂素的关联系数均大于0.8，*a*值与各成分的关联度较低。**结论**　白芷饮片的外观性状与香豆素类成分含量具有较强关联性，可通过颜色大致判断饮片质量，即颜色较白的饮片质量较好；半鲜切干燥饮片质量优于烘干蒸切饮片和鲜切干燥饮片。

关键词　白芷饮片；干燥方法；外观性状；香豆素类成分；高效液相色谱法；质量评价

Quality evaluation of *Angelica dahurica* decoction pieces processed by different drying methods

ZHU Xinglong[1,2], CHEN Xiaoyan[1,2], YAN Yuhang[1,2], WU Qinghua[1,2], LU Lijie[1,2], HUANG Xulong[1,2], ZHANG Jiaxu[1,2], ZHENG Quanlin[3], PEI Jin[1,2]（1. School of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 2. State Key Laboratory of Southwestern Chinese Medicine Resources, Chengdu 611137, China; 3. Suining Tiandiwang Angelica anomala Industry Co., Ltd., Sichuan Suining 629000, China）

ABSTRACT　OBJECTIVE To evaluate the quality of *Angelica dahurica* decoction pieces processed by different drying methods. **METHODS** Adobe Photoshop 2020 software was used to determine the red green degree（*a*）, yellow blue degree（*b*）and brightness（*L*）values of *A. dahurica* decoction pieces processed by 3 drying methods as steamed-cut and fresh-cut-dried, and semi-fresh-cut-dried. The contents of nine coumarins such as umbelliferone in *A. dahurica* decoction pieces processed by 3 drying methods were determined by HPLC. SPSS 26.00 software and SIMCA14.0 software were used to conduct principal component analysis and partial least squares-discriminant analysis on the content of coumarin in 32 batches of *A. dahurica* decoction pieces. Gray correlation analysis was conducted on the color of the powder and the coumarins contents in *A. dahurica* decoction pieces. **RESULTS** The *a*, *b* and *L* were 0-2.4, 6.0-20.3 and 35.6-51.1 in 32 batches of *A. dahurica* decoction pieces. The contents of umbelliferone, byakangelicin, psoralen, xanthotoxin, bergapten, oxypeucedanin, imperatorin, phellopterin and isoimperatorin were 0.026-0.324, 0.051-0.549, 0-0.113, 0-0.398, 0.256-1.115, 1.434-6.014, 1.866-4.039, 0.742-1.455 and 0.789-2.642 mg/g, respectively. And the total content ranged 6.442-13.382 mg/g, respectively. The results of principal component analysis showed that the comprehensive scores of BZ-27-BZ-30 and BZ-32 batches of semi-fresh-cut-dried decoction pieces were in the top order, and the internal quality of the other two kinds of decoction pieces was quite different. The results of partial least squares discriminant analysis showed that semi-fresh-cut-dried decoction pieces were clustered into one category, poor separation was observed in steamed-cut and fresh-cut-dried decoction pieces. Results of gray correlation analysis showed that the correlation coefficients of *L* and *b* with bergapten, oxypeucedanin, imperatorin, phellopterin, isoimperatorin and *b* with psoralen were all greater than 0.8, *a* had a low correlation with all components. **CONCLUSIONS** The appearance traits of *A.*

Δ **基金项目**　四川省科技计划项目（No.2022YFS0582，2020YFN-0152）；四川省中医药重点学科建设项目

＊**第一作者**　硕士研究生。研究方向：中药资源开发利用与评价。E-mail：798698365@qq.com

＃**通信作者**　教授，硕士生导师，博士。研究方向：中药资源开发利用与评价。E-mail：peixjin@163.com

dahurica decoction pieces have strong correlation with the contents of coumarins. The quality of the decoction pieces can be roughly judged by the color, i.e. the whiter the color of the decoction pieces, the better the quality. The quality of sample obtained by semi-fresh-cut-dried is better than steamed-cut and fresh-cut-dried decoction pieces.

KEYWORDS *Angelica dahurica* decoction pieces; drying method; appearance traits; coumarins; HPLC; quality evaluation

白芷为伞形科植物白芷*Angelica dahurica*(Fisch. ex Hoffm.) Benth. et Hook. f. 或杭白芷*A. dahurica* (Fisch. ex Hoffm.) Benth. et Hook. f. *var. formosana* (Boiss.)Shan et Yuan的干燥根,具有解表散寒、祛风止痛、宣通鼻窍等功效[1]。白芷主要含有香豆素、挥发油等成分,具有抗炎镇痛、抗氧化及舒张血管等药理作用[2-3]。现代白芷药材加工方法以烘干蒸切法和鲜切干燥法为主[4-5],其中鲜切干燥法是一种集干燥与切片于一体的加工方法,具有能耗低、效率快等优点。干燥加工过程对药材饮片性状及成分影响显著,但目前有关白芷饮片质量的研究多为不同产地饮片质量评价[6-7],而关于干燥加工对白芷饮片质量影响的研究较少。药材性状和成分之间存在显著相关性,药材性状可在一定程度上反映其质量[8-9]。因此,本研究参考相关文献[10-12],以伞形花内酯等9种香豆素类成分含量为指标,结合饮片粉末颜色,采用化学识别模式和灰度关联分析评价白芷饮片的质量,探讨不同干燥加工方式的白芷饮片颜色与香豆素类成分含量的关联性,旨在为白芷饮片质量评价提供依据,也为白芷干燥加工机制研究奠定基础。

1 材料

1.1 主要仪器

本研究所用主要仪器有Ulti Mate 3000型高效液相色谱仪(美国Thermo Fisher Scientific公司),KQ-600DE型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司),BP210S型十万分之一分析天平、SQP型万分之一电子天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司],YLS16A(pro)型烘干法水分测定仪(上海天美天平仪器有限公司),UPT-Ⅱ-20T型优普系列超纯水器(成都超纯科技有限公司),D7500型单反相机[尼康映像仪器销售(中国)有限公司]。

1.2 主要药品与试剂

对照品伞形花内酯(批号CHB201122)、白当归素(批号CHB210104)、补骨脂素(批号CHB201119)、花椒毒素(批号CHB201203)、佛手柑内酯(批号CHB201127)、氧化前胡素(批号CHB210113)、欧前胡素(批号CHB210108)、珊瑚菜素(批号CHB210106)、异欧前胡素(批号CHB210110)均购自成都克洛玛生物科技有限公司,纯度均不低于98%;甲醇、乙腈、甲酸均为色谱纯,其他试剂均为分析纯,水为超纯水。

32批白芷饮片(编号BZ-1~BZ-32)经成都中医药大学药学院裴瑾教授鉴定,BZ-5~BZ-6、BZ-12~BZ-32为杭白芷*A.dahurica*(Fisch. ex Hoffm.)Benth. et Hook. f. *var. formosana*(Boiss.)Shan et Yuan的干燥根,其余批次为白芷*A. dahurica*(Fisch. ex Hoffm.)Benth.et Hook. f.的干燥根。饮片具体来源信息见表1(半鲜切干燥为将新鲜药材干燥至含水量为40%~50%时切制成片后,继续干燥至含水量低于14%)。

表1 32批白芷饮片的来源信息

编号	产地	购买时间	加工方式	来源
BZ-1~BZ-2	安徽	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-3~BZ-4	山东	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-5	四川	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-6	重庆	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-7	安徽	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-8~BZ-10	河北	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-11	河南	2021年8月	烘干蒸切	成都荷花池中药饮片市场
BZ-12~BZ-15	四川	2021年8月	烘干蒸切	彭州天地网中药材有限公司
BZ-16~BZ-18	四川	2021年8月	鲜切干燥	成都荷花池中药饮片市场
BZ-19~BZ-22	四川	2021年8月	鲜切干燥	彭州天地网中药材有限公司
BZ-23~BZ-24	四川	2021年8月	鲜切干燥	遂宁天地网川白芷产业有限公司
BZ-25~BZ-26	四川	2021年8月	鲜切干燥	银发资源开发股份有限公司
BZ-27~BZ-32	四川	2021年8月	半鲜切干燥	遂宁天地网川白芷产业有限公司

2 方法与结果

2.1 白芷饮片粉末颜色测定

随机取白芷饮片,粉碎后过四号筛,装入无色透明的圆形广口玻璃容器中,在角度、背景(摄影白色卡纸作为背景)、光线(LED长条灯板作为光源)一致的情况下采集图像,将图像导入Adobe Photoshop 2020软件,利用颜色取样器对粉末色度值进行提取[13],每批样品提取10次,计算平均值(表2)。结果显示,32批白芷饮片的红绿度(a)值为0~2.4,黄蓝度(b)值为6.0~20.3,明度(L)值为35.6~51.1。半鲜切干燥饮片L值较高,b值较低,表明半鲜切干燥白芷饮片颜色较其他加工方式的白芷饮片更白、更亮;除BZ-8、BZ-16、BZ-17、BZ-22白芷饮片粉末L值偏低、b值偏高(肉眼观察颜色呈暗黄色)外,其余烘干蒸切饮片和鲜切干燥饮片整体颜色差异不明显。

2.2 9种香豆素类成分含量测定

2.2.1 对照品溶液制备 精密称取伞形花内酯、白当归素、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素对照品适量,加50%乙醇溶解,制成上述各成分质量浓度均为0.4 mg/mL的单一对照品储备液。取各单一对照品储备液适量,置于同一容量瓶中,加50%乙醇稀释,制成上述各成分质量浓度均为40 μg/mL的混合对照品溶液,于4 ℃储藏,进样前经0.22 μm微孔滤膜滤过。

2.2.2 供试品溶液制备 取本品干燥(含水量<14%)粉末(过四号筛)0.5 g,精密称定,置于50 mL具塞锥形瓶中,加50%乙醇25 mL,称定质量,超声(功率500 W,频率40 kHz)处理60 min;取出,冷却至室温,用50%乙

表2　白芷饮片粉末的颜色色度值测定结果

编号	a	b	L	编号	a	b	L
BZ-1	1.0	12.4	44.4	BZ-17	1.2	19.1	38.9
BZ-2	0.6	8.4	49.3	BZ-18	1.0	10.9	39.9
BZ-3	1.0	10.6	45.2	BZ-19	1.0	13.9	42.7
BZ-4	0.0	10.0	50.0	BZ-20	0.3	11.1	46.4
BZ-5	1.0	11.1	46.9	BZ-21	0.3	10.3	44.8
BZ-6	1.0	11.4	47.1	BZ-22	2.4	20.3	41.0
BZ-7	0.7	8.8	45.4	BZ-23	0.1	10.3	49.0
BZ-8	2.0	15.2	35.6	BZ-24	0.1	10.3	51.1
BZ-9	1.0	13.6	40.9	BZ-25	0.7	11.4	46.5
BZ-10	1.0	9.3	41.1	BZ-26	0.2	12.9	48.1
BZ-11	1.8	12.8	38.4	BZ-27	1.0	7.3	44.3
BZ-12	1.3	13.2	39.1	BZ-28	0	6.0	43.4
BZ-13	1.0	10.6	39.6	BZ-29	0.4	8.4	44.8
BZ-14	2.0	12.9	37.1	BZ-30	0.0	7.1	48.5
BZ-15	0.7	9.3	46.8	BZ-31	0.1	6.2	48.4
BZ-16	1.0	18.5	42.6	BZ-32	1.0	8.7	44.5

醇补足减失的质量，取上清液，经0.22 μm微孔滤膜滤过，取续滤液，作为供试品溶液。

2.2.3　色谱条件　以Agilent C_{18}（4.6 mm×100 mm，1.8 μm）为色谱柱，以0.1%甲酸溶液（A）-乙腈（B）为流动相进行梯度洗脱（0～10 min，10%B→25%B；10～30 min，25%B→50%B；30～50 min，50%B→65%B；50～55 min，65%B→10%B）；柱温为30 ℃；流速为1.0 mL/min；检测波长为245 nm；进样量为10 μL。

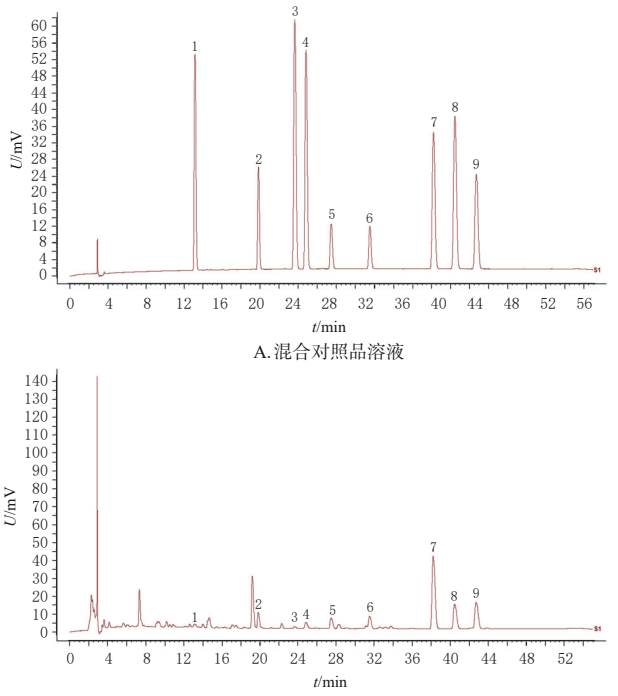
2.2.4　系统适用性试验　取上述混合对照品溶液、供试品溶液（编号BZ-1）、空白溶液（50%乙醇），按“2.2.3”项下色谱条件进样测定，记录色谱图（图1，空白图略）。结果显示，理论板数按伞形花内酯计均不低于5 000，各色谱峰与相邻色谱峰的分离度均大于1.5，空白溶液对测定无干扰。

2.2.5　线性关系考察　取“2.2.1”项下混合对照品溶液0.1、0.5、1、2、5、10 mL，分别置于10 mL容量瓶中，加50%乙醇定容，制成上述9个成分质量浓度均为0.4、2、4、8、20、40 μg/mL的系列线性溶液，按“2.2.3”项下色谱条件进样，记录峰面积。以各待测成分质量浓度为横坐标（x）、峰面积为纵坐标（y）进行线性回归。结果见表3。

2.2.6　精密度试验　取“2.2.2”项下供试品溶液（编号BZ-1），按“2.2.3”项下色谱条件连续进样6次，记录峰面积。结果显示，伞形花内酯等9种成分峰面积的RSD均小于1%（n=6），表明方法精密度良好。

2.2.7　重复性试验　精密称取样品（编号BZ-1）粉末，共6份，每份0.5 g，按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液，再按“2.2.3”项下色谱条件进样，记录峰面积并按标准曲线法计算样品含量。结果显示，伞形花内酯等9种成分含量的RSD均小于1%（n=6），表明方法重复性良好。

2.2.8　稳定性试验　取“2.2.2”项下供试品溶液（编号BZ-1），分别于室温（25 ℃）下放置0、3、6、9、12、24 h时，按“2.2.3”项下色谱条件进样，记录峰面积。结果显示，伞形花内酯等9种成分峰面积的RSD均小于1%（n=6），表明供试品溶液在室温下放置24 h内稳定性良好。



A.混合对照品溶液

B.供试品溶液（编号BZ-1）

1：伞形花内酯；2：白当归素；3：补骨脂素；4：花椒毒素；5：佛手柑内酯；6：氧化前胡素；7：欧前胡素；8：珊瑚菜素；9：异欧前胡素

图1　伞形花内酯等成分混合对照品、供试品溶液的HPLC图

表3　伞形花内酯等9种成分的回归方程与线性范围

待测成分	回归方程	r	线性范围/(μg/mL)
伞形花内酯	y=293.16x−0.060 8	0.999 3	0.4~40
白当归素	y=306.49x+0.135 8	0.999 1	0.4~40
补骨脂素	y=435.93x−0.038 4	0.999 6	0.4~40
花椒毒素	y=345.78x+0.085 1	0.999 7	0.4~40
佛手柑内酯	y=219.43x−0.020 8	0.999 5	0.4~40
氧化前胡素	y=183.27x+0.062 0	0.999 8	0.4~40
欧前胡素	y=293.55x−0.004 9	0.999 1	0.4~40
珊瑚菜素	y=348.76x−0.030 1	0.999 8	0.4~40
异欧前胡素	y=215.54x−0.070 4	0.999 5	0.4~40

2.2.9　加样回收率试验　精密称取样品（编号BZ-1）0.5 g，共6份，精密加入9种成分质量浓度均为400 μg/mL的混合对照品溶液（按“2.2.1”项下方法操作）5 mL，再精密加入50%乙醇20 mL，按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液，再按“2.2.3”项下色谱条件进样，记录峰面积并计算加样回收率。结果显示，伞形花内酯、白当归素、补骨脂素、花椒毒素、佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素的加样回收率分别为100.8%、99.73%、99.55%、101.52%、102.85%、100.27%、101.40%、102.33%、100.75%（RSD均小于2%，n=6）。

2.2.10　样品含量测定　取32批白芷饮片，按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液，再按“2.2.3”项下色谱条件进样，记录峰面积并按标准曲线法计算样品含量，每批样品测定3次。结果见表4。

表4　伞形花内酯等9种成分的含量测定结果（n=3，mg/g）

编号	伞形花内酯	白当归素	补骨脂素	花椒毒素	佛手柑内酯	氧化前胡素	欧前胡素	珊瑚菜素	异欧前胡素	总含量
BZ-1	0.187	0.406	0.026	0.081	0.433	1.772	2.350	0.874	1.389	7.517
BZ-2	0.036	0.378	0.025	0.062	0.491	1.434	3.412	0.974	1.606	8.418
BZ-3	0.039	0.281	0.033	0.077	0.543	3.678	2.027	0.749	1.273	8.699
BZ-4	0.148	0.341	0.031	0.076	0.689	3.937	2.598	0.891	1.440	10.150
BZ-5	0.026	0.346	−	0.024	0.318	1.461	2.113	0.764	1.390	6.442
BZ-6	0.049	0.398	0.030	0.046	0.562	1.713	3.329	0.883	1.592	8.602
BZ-7	0.054	0.455	0.031	0.131	0.628	1.634	4.039	0.981	1.733	9.685
BZ-8	0.139	0.549	0.055	0.398	0.925	3.141	4.008	1.345	2.612	13.172
BZ-9	0.112	0.449	0.029	0.321	1.115	4.491	3.120	1.102	2.642	13.382
BZ-10	0.044	0.385	0.033	0.182	0.666	2.307	3.354	1.003	1.772	9.746
BZ-11	0.105	0.096	0.045	0.251	0.819	2.427	2.832	1.020	1.583	9.179
BZ-12	0.104	0.194	0.063	0.350	0.559	1.834	2.404	0.901	1.531	7.941
BZ-13	0.056	0.376	0.041	0.261	0.715	1.897	2.481	0.935	1.328	8.090
BZ-14	0.076	0.325	0.045	0.144	0.513	2.185	3.030	0.922	1.513	8.752
BZ-15	0.036	0.360	0.027	0.066	0.430	2.136	2.771	0.837	1.452	8.115
BZ-16	0.097	0.368	0.043	0.065	0.599	5.842	2.222	0.928	1.515	11.678
BZ-17	0.162	0.531	0.113	0.157	0.692	5.339	2.646	1.061	1.489	12.189
BZ-18	0.108	0.338	0.047	0.155	0.450	2.597	2.554	0.786	1.444	6.479
BZ-19	0.067	0.115	0.047	0.111	0.288	2.726	1.923	1.219	0.909	7.405
BZ-20	0.058	0.101	0.032	−	0.301	3.071	1.866	1.187	0.892	7.508
BZ-21	0.064	0.144	0.059	−	0.406	3.657	2.355	1.455	1.109	9.249
BZ-22	0.043	0.214	0.032	0.079	0.256	2.493	2.023	1.147	0.789	7.076
BZ-23	0.039	0.172	0.024	0.092	0.364	2.572	2.040	1.156	0.821	7.280
BZ-24	0.054	0.275	0.029	0.120	0.356	3.424	2.127	1.288	0.928	8.600
BZ-25	0.056	0.287	−	−	0.394	3.443	2.068	1.371	1.003	8.622
BZ-26	0.028	0.224	0.030	−	0.332	2.836	1.907	1.143	0.791	7.291
BZ-27	0.324	0.065	0.030	0.148	0.559	5.352	2.958	0.953	1.537	11.927
BZ-28	0.101	0.051	0.037	0.209	0.529	6.014	2.305	0.809	1.590	11.645
BZ-29	0.073	0.052	0.022	0.094	0.490	4.641	2.349	0.772	1.462	9.955
BZ-30	0.160	0.098	0.024	0.113	0.483	4.815	2.633	0.814	1.621	10.761
BZ-31	0.057	0.069	0.037	0.299	0.599	4.356	2.353	0.742	1.074	9.587
BZ-32	0.089	0.084	0.084	0.323	0.773	5.319	3.205	1.004	1.883	12.763

−：含量低于定量限

2.3　香豆素类成分的主成分分析

以伞形花内酯等9种成分含量为指标，采用SPSS 26.0软件进行主成分分析。结果显示，前3个主成分的累计方差贡献率为72.366%，表明前3个主成分可以客观反映白芷饮片的质量，故选择前3个主成分对白芷饮片进行评价。结果见表5、表6。

表5　主成分特征值及方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	主成分	特征值	方差贡献率/%
f_1	3.560	39.555	f_6	0.503	5.586
f_2	1.778	19.754	f_7	0.335	3.717
f_3	1.175	13.057	f_8	0.114	1.264
f_4	0.789	8.761	f_9	0.097	1.076
f_5	0.651	7.229			

表6　9种香豆素成分在主成分中的贡献值

主成分	伞形花内酯	白当归素	补骨脂素	花椒毒素	佛手柑内酯	氧化前胡素	欧前胡素	珊瑚菜素	异欧前胡素
f_1	0.450	0.416	0.450	0.776	0.925	0.240	0.781	−0.099	0.921
f_2	0.532	−0.683	0.340	0.168	0.004	0.835	−0.401	−0.064	−0.148
f_3	−0.160	0.174	0.586	0.033	−0.014	0.008	−0.059	0.863	−0.161

以各主成分因子得分乘以主成分贡献率来计算不同批次白芷饮片的综合得分（F），F=0.357×f_1+0.189×f_2+0.145×f_3，综合得分越高，表示白芷饮片的质量越好[14]。结果显示，以BZ-9批饮片的得分最高，其次为BZ-8、BZ-32，半鲜切干燥（BZ-27～BZ-30）饮片的综合得分排序靠前。结果见表7。

表7　32批白芷饮片的综合得分及排序结果

编号	F	排序	编号	F	排序
BZ-1	3.384	26	BZ-17	5.116	6
BZ-2	3.900	17	BZ-18	3.834	20
BZ-3	3.846	18	BZ-19	3.075	28
BZ-4	4.436	12	BZ-20	3.119	27
BZ-5	3.059	29	BZ-21	3.842	19
BZ-6	3.970	16	BZ-22	2.863	32
BZ-7	4.438	11	BZ-23	2.982	30
BZ-8	6.191	2	BZ-24	3.474	25
BZ-9	6.374	1	BZ-25	3.518	24
BZ-10	4.501	9	BZ-26	2.947	31
BZ-11	4.254	13	BZ-27	5.185	5
BZ-12	3.728	21	BZ-28	5.186	4
BZ-13	3.612	23	BZ-29	4.492	10
BZ-14	3.978	15	BZ-30	4.851	8
BZ-15	3.707	22	BZ-31	4.124	14
BZ-16	5.026	7	BZ-32	5.773	3

2.4　香豆素类成分的偏最小二乘法-判别分析

以伞形花内酯等9种成分含量为变量，采用SIMCA14.0软件进行偏最小二乘法-判别分析。结果显示，模型的累积解释能力参数（R^2X、R^2Y）分别为0.720、0.692，预测能力参数（Q^2）为0.560，均大于0.5，表明模型具有较高的稳定性和预测率；半鲜切干燥饮片聚为一类，烘干蒸切饮片与鲜切干燥饮片分离度较差。结果见图2。

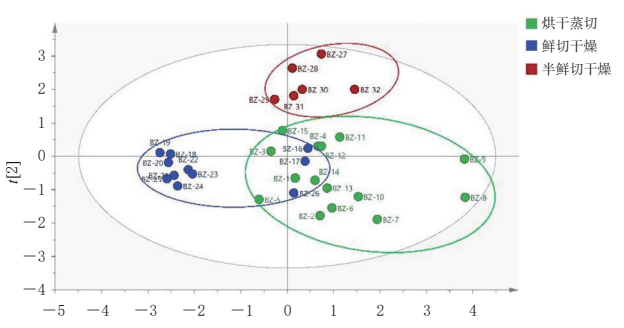


图2　32批饮片的偏最小二乘法-判别分析模型得分图

2.5　饮片颜色与香豆素类成分含量的灰色关联度分析

将饮片色度值、伞形花内酯等9种成分含量数据均一化处理后，分别设L、a、b值为母序列，计算其和伞形花内酯等9种成分含量的关联系数，关联系数越接近于1，表示关联度越强[15]。结果显示，L、b值与佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素及b值与补骨脂素的关联系数均大于0.8，而a值与伞形花内酯等9种成分的关联度较低。结果见表8。

表8　白芷饮片色度值与伞形花内酯等9种成分的关联系数分析结果

指标	伞形花内酯	白当归素	补骨脂素	花椒毒素	佛手柑内酯	氧化前胡素	欧前胡素	珊瑚菜素	异欧前胡素
L	0.746	0.750	0.792	0.697	0.831	0.810	0.869	0.890	0.858
a	0.661	0.694	0.695	0.650	0.713	0.618	0.700	0.683	0.714
b	0.788	0.787	0.847	0.718	0.818	0.805	0.849	0.881	0.835

3　讨论

3.1　香豆素类成分含量测定结果分析

本研究结果显示，佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素含量较高，分别为0.256～1.115、1.434～6.014、1.866～4.039、0.742～1.455、0.789～2.642 mg/g，其中氧化前胡素是白芷饮片中含量较高的香豆素类成分，其含量波动范围最大，在BZ-28批饮片中含量最高，为BZ-2批饮片的4.2倍，其中半鲜切干燥饮片的含量均较高；佛手柑内酯的含量波动范围亦较大，BZ-9批饮片含量为BZ-22批饮片的4.4倍；欧前胡素、异欧前胡素在白芷饮片中的含量仅次于氧化前胡素，两者的含量波动范围均较氧化前胡素小；珊瑚菜素含量波动范围亦较氧化前胡素小，表明32批白芷饮片中香豆素类成分含量存在差异。

3.2　白芷饮片颜色与香豆素类成分含量的相关性结果分析

本研究结果显示，白芷饮片成分含量和颜色之间关联程度较高，*L*、*b*值与佛手柑内酯、氧化前胡素、欧前胡素、珊瑚菜素、异欧前胡素及*b*值与补骨脂素的关联系数均大于0.8。现代研究结果显示，中药材组织细胞在干燥加工过程中并未失去活性，干燥加工可以调节酶与微生物的活性，直接或间接催化某种化学转化过程，改变药材内部显色物质、挥发油等成分的含量，从而影响药材色泽、气味等性状，故干燥过程中加工方法及干燥温度会影响饮片外观及成分含量[16]。干燥温度过高可使白芷饮片断面颜色变暗，有效成分含量降低[17－18]，这也是本研究中同种加工方式所产饮片颜色及质量差异显著的主要原因，即干燥过程的操作不当会影响白芷饮片质量。

3.3　白芷饮片质量评价及干燥加工建议

综合评价结果显示，32批白芷饮片中以BZ-8、BZ-9、BZ-32批饮片的综合得分较高，半鲜切干燥饮片（BZ-27～BZ-30）的综合得分排名均靠前。偏最小二乘法-判别分析结果显示，半鲜切干燥饮片聚为一类，烘干蒸切饮片和鲜切干燥饮片分离度较差，结合饮片的色度值结果，提示半鲜切干燥饮片的综合质量高于其他两种饮片，其颜色参数、成分含量波动范围较小，质量可控，且半鲜切干燥耗时较短，便于操作。此外，笔者建议在白芷饮片的实际生产过程中，在选择适宜干燥方式后，应注意干燥加工的温度和时长，避免过度加工导致饮片品质降低。

综上所述，白芷饮片的外观性状与香豆素类成分含量具有较强关联性，可通过颜色大致判断饮片质量，即颜色较白的饮片质量较好；半鲜切干燥饮片质量优于烘干蒸切饮片和鲜切干燥饮片。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：一部[S]. 2020年版. 北京：中国医药科技出版社，2020：109.

[2] 吉庆，马宇衡，张烨. 白芷的化学成分及药理作用研究进展[J]. 食品与药品，2020，22(6)：509-514.

[3] 雷雨恬，黄婷，陈文莉，等. 不同等级川白芷有效成分含量及抗炎镇痛作用对比研究[J]. 中药药理与临床，2021，37(1)：105-110.

[4] 李丽，张村，肖永庆，等. 白芷饮片产地加工方法探索[J]. 中国实验方剂学杂志，2011，17(5)：60-62.

[5] 蒋桂华，兰群，马逾英，等. 白芷替代熏硫的产地加工方法研究[J]. 时珍国医国药，2012，23(12)：3065-3067.

[6] 吴文平，索彩仙，霍文杰，等. 不同产地白芷药材质量评价[J]. 亚太传统医药，2021，17(10)：28-34.

[7] 李珍，乔向东，杨洋，等. 熵权法结合灰色关联度法评价白芷饮片质量[J]. 中国现代应用药学，2022，39(1)：61-67.

[8] 付小梅，杨超，吴志瑰，等. 不同采收期栀子中8个有效成分含量动态变化与颜色的相关性研究[J]. 中国中药杂志，2020，45(13)：3191-3202.

[9] 柴冲冲，毛民，袁金凤，等. 不同方法软化切制后的黄芩饮片颜色与5种黄酮类成分含量的相关性研究[J]. 中国中药杂志，2019，44(20)：4467-4475.

[10] 刘培，陈京，周冰，等. 不同干燥加工方法及其条件对杭白芷中香豆素及挥发油类化学成分的影响[J]. 中国中药杂志，2014，39(14)：2653-2659.

[11] 周冰，刘培，鲁学军，等. 禹白芷适宜干燥加工方式的优选研究[J]. 中药材，2016，39(7)：1509-1515.

[12] 倪凤燕，吕慧芳，毕霄鹤，等. 基于相对质量常数的丹参饮片等级评价[J]. 中国实验方剂学杂志，2021，27(5)：140-146.

[13] 肖强，叶文景，朱珠，等. 利用数码相机和Photoshop软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志，2005(6)：711-714.

[14] 刘天琪，江汉美，田宇，等. 菟丝子及其炮制品中挥发性成分比较及主成分分析[J]. 中国药房，2022，33(6)：729-734.

[15] 李力，潘倩雯，刘宏. 灰色关联度分析法在中药谱效学研究中的应用[J]. 中国药房，2018，29(11)：1581-1584.

[16] 段金廒，宿树兰，严辉，等. 药材初加工“发汗”过程及其酶促反应与化学转化机制探讨[J]. 中草药，2013，44(10)：1219-1225.

[17] 范天慈，窦志英，李捷，等. 不同干燥方式对中药成分影响的研究进展[J]. 中国现代中药，2021，23(11)：2017-2024.

[18] 周冰. 白芷药材品质评价与适宜干燥加工方法优化研究[D]. 南京：南京中医药大学，2015.

（收稿日期：2022-04-27　修回日期：2022-10-14）

（编辑：陈　宏）