

[药材资源]

丹参叶干燥过程中化学成分的动态变化

周 涛^{1,2}, 罗春梅², 张松林², 汤依娜², 黄志芳², 刘玉红², 刘云华², 陈 燕², 李青苗², 易进海^{1,2*}

(1. 西南医科大学药学院, 四川 泸州 646000; 2. 四川省中医药科学院 中药材品质及创新中药研究四川省重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: **目的** 研究丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge 叶干燥过程中化学成分的动态变化规律。**方法** 丹参叶甲醇提取物的分析采用 Waters ACQUITY UPLC BEH C₁₈ 柱 (2.1 mm×50 mm, 1.7 μm); 流动相乙腈-0.4% 甲酸水溶液, 梯度洗脱; 柱温 20 ℃; 检测波长不同时间段内分别为 328、354、328、286 nm; 体积流量 0.6 mL/min。**结果** 芦丁、异槲皮苷、迷迭香酸、丹酚酸 B 分别在 0.336 0~16.800 0、0.043 2~21.600 0、0.722 6~361.276 0、0.114 0~57.000 0 ng 的范围内线性关系良好 ($R^2 \geq 0.999\ 9$), 平均加样回收率分别为 102.43%、101.36%、100.76%、98.11%, RSD 分别为 1.70%、0.63%、2.60%、1.94%。**结论** 在干燥过程中, 丹参叶脱水率对各成分的含有量有显著影响, 含有量与水分呈负相关, 阴干为丹参叶的最佳干燥方式。

关键词: 丹参; 叶; 化学成分; 动态变化; UPLC

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-1528(2019)12-2946-07

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2019.12.024

Dynamic changes of chemical constituents in different drying processes of the leaves from *Salvia miltiorrhiza*

ZHOU Tao^{1,2}, LUO Chun-mei², ZHANG Song-lin², TANG Yi-na², HUANG Zhi-fang², LIU Yu-hong², LIU Yun-hua², CHEN Yan², LI Qing-miao², YI Jin-hai^{1,2*}

(1. School of Pharmacy of Southwest Medical University, Luzhou 646000, China; 2. Sichuan Provincial Key Laboratory of Quality and Innovation Research of Chinese Materia Medica, Sichuan Provincial Academy of Chinese Medicine Sciences, Chengdu 610041, China)

ABSTRACT: **AIM** To study the dynamic changes of chemical constituents in different drying processes of the leaves from *Salvia miltiorrhiza* Bge.. **METHODS** The analysis of methanol extract of the leaves from *S. miltiorrhiza* was performed on a 20 ℃ thermostatic Waters ACQUITY UPLC BEH C₁₈ column (2.1 mm×50 mm, 1.7 μm), with the mobile phase comprising of acetonitrile-0.4% formic acid flowing at 0.6 mL/min in a gradient elution manner, and the detection wavelength was set at 328, 354, 328, 286 nm during different time. **RESULTS** Rutin, isoquercitrin, rosmarinic acid and salvianolic acid B showed good linear relationships within 0.336 0-16.800 0、0.043 2-21.600 0、0.722 6-361.276 0、0.114 0-57.000 0 ng ($R^2 \geq 0.999\ 9$), whose average recoveries were 102.43%, 101.36%, 100.76%, 98.11%, with the RSDs of 1.70%, 0.63%, 2.60%, 1.94%, respectively. **CONCLUSION** In the drying process, the dehydration rate of the leaves from *S. miltiorrhiza* has a significant effect on the contents of each chemical constituent, and the contents are negatively correlated with moisture. Besides, drying in the shade is the best processing method for fresh leaves from *S. miltiorrhiza*.

KEY WORDS: *Salvia miltiorrhiza* Bge.; leaves; drying; chemical constituents; dynamic change; UPLC

收稿日期: 2019-05-03

基金项目: 国家中药标准化项目 (ZYBZH-Y-SC-40); 重大新药创制 (2018ZX09731-010, 2018ZX09201018-029)

作者简介: 周 涛 (1992—), 男, 硕士生, 研究方向为中药化学成分与质量标准。Tel: (028) 85210843, E-mail: 1668680318@qq.com

* 通信作者: 易进海 (1963—), 研究员, 研究方向为中药化学成分与质量评价。Tel: (028) 85210843, E-mail: yijinhai63@163.com

丹参为唇形科鼠尾草属植物丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge. 的干燥根及根茎，主产于四川、河南、山东、山西、陕西等地^[1]，具有活血祛瘀、清心除烦等功效^[2]，主要用于治疗心脑血管等疾病^[3-4]。近年来，丹参需求量日益增大，但大部分丹参地上部分茎叶被丢弃。对丹参茎叶进行合理开发利用，可有效减少资源浪费、扩大药源^[5]。目前丹参茎叶作为地方标准已收载于 2015 年版陕西省药材标准，与丹参功效相似，用于治疗胸痹心痛、脘腹胁痛、心烦不眠等^[6]。丹参叶的主要有效成分为酚酸和黄酮类^[7]，包括丹参素、咖啡酸、迷迭香酸、丹酚酸 B、芦丁、异槲皮苷等。

新鲜丹参（根及根茎）中酚酸成分含有量较低（丹酚酸 B 含有量<0.41%），晒干后含有量显著增加（丹酚酸 B 含有量≥3.0%）^[8]。新鲜丹参中丹酚酸 B 含有量<0.1%，经 50~160℃干燥后丹酚酸 B 极显著增加^[9]。本实验室预试研究发现，新鲜丹参叶中酚酸和黄酮成分含有量甚微，但在干燥过程中各成分含有量却显著增加。本研究采用 UPLC 法测定新鲜丹参叶于 50℃烘干、晒干和阴干过程中迷迭香酸、丹酚酸 B、芦丁、异槲皮苷的含有量和 3 种未知成分的峰面积，进一步探究丹参叶干燥过程中化学成分的动态变化规律，为丹参叶的采收加工提供科学方法和依据，对控制丹参叶质量，合理开发丹参叶资源，具有重要现实意义。

1 仪器与材料

1.1 仪器 ACQUITY UPLC system 超高效液相色谱仪（美国 Waters 公司）；KQ-300 型超声波清洗仪（昆山市超声仪器有限公司）；DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱（上海精宏实验设备有限公司）；DFT-200 型手提式高速粉碎机（温岭市林大机械有限公司）；HSY2-SP 型恒温水浴锅（北京市永光明医疗仪器厂）；AUW220D 型电子天平（十万分之一，日本岛津公司）；Milli-Q Integral 3 型超纯水机（美国 Millipore 公司）。

1.2 试剂 对照品迷迭香酸（批号 111871-201706，含有量 90.5%）、丹酚酸 B（批号 111562-201615，含有量 96.2%）、芦丁（批号 100080-201408，含有量 92.8%）购自中国食品药品检定研究院；对照品异槲皮苷（批号 MUST-18051005，含有量 99.7%）购自成都曼思特生物科技有限公司；乙腈（色谱纯，美国 Fisher 公司）；甲醇（分析纯，成都市科龙化工试剂厂）；甲酸（分析纯，成都市科龙化工试剂厂）；水（超纯水，超纯水机

制得）。

1.3 样品 新鲜丹参于 2018 年 11 月分别采自四川中江县石泉乡林家沟和古店乡雷家坪，经四川省中医药科学院李青苗研究员鉴定为唇形科鼠尾草属植物丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge.。当天送回实验室完成样品处理。

2 方法与结果

2.1 样品处理方法 摘取中江县石泉乡林家沟健康完好、无叶柄丹参鲜叶，混匀分成 13 份，每份 70 g，分为 X、H、S、Y 组。X 组 1 份样品，于 -80℃保存 48 h 备用（新鲜丹参叶 XX）。H、S、Y 每组各 4 份样品，分别采用 50℃烘干、晒干、阴干方式处理，以脱水率约 20% 为指标，分 4 次取样，至脱水率约为 20%、40%、60%、80%，称定质量，每组前 3 份样品于 -80℃保存 48 h 备用，第 4 份样品（脱水率约 80%）已干燥完全。上述 -80℃保存样品取出，置通风处阴干。各样品粉碎过 3 号筛，备用，见表 1。

为了进一步分析验证脱水是丹参叶干燥过程中各成分含有量增加的主导因素，另取中江县古店乡雷家坪健康完好、无叶柄丹参鲜叶，混匀分成 17 份，每份 70 g，分为 X、H、Y 组。X 组 1 份样品，于 -80℃保存 48 h 备用（新鲜丹参叶 XX）。H、Y 每组各 8 份样品，分别进行 50℃烘干和阴干，同上操作，以脱水率约 20% 为指标设置 4 个连续干燥时段，每个干燥时段各 2 份样品，1 份不密封、脱水（H1~H4，Y1~Y4），另 1 份用自封袋密封、不脱水（H1'~H4'，Y1'~Y4'），作为平行对照。干燥和取样时间等处理方法同上，见表 1。

2.2 混合对照品溶液制备 取各对照品适量，精密称定，加甲醇-水（8：2）制成芦丁、异槲皮苷、迷迭香酸、丹酚酸 B 质量浓度分别为 0.016 8、0.021 6、0.399 2、0.057 0 mg/mL 的混合对照品溶液。

2.3 供试品溶液制备 取本品粉末约 0.25 g，精密称定，置于 100 mL 具塞锥形瓶中，精密加入甲醇-水（8：2）溶液 25 mL，称定质量。回流 30 min，放至室温后称定质量，用甲醇-水（8：2）溶液补足减失质量，摇匀，滤过，滤液过 0.22 μm 微孔滤膜，即得。

2.4 色谱条件 Waters ACQUITY UPLC BEH C₁₈ 柱（2.1 mm×50 mm，1.7 μm）；柱温 20℃；流动相乙腈（A）-0.4% 甲酸水溶液（B），梯度洗脱（0~2.0 min，5%~12% A；2.0~2.2 min，12%~

表 1 样品信息

Tab. 1 Information of samples

来源	组号	编号	质量/g	脱水率/%	处理方法及参数
四川中江县石泉乡林家沟	X	XX	70.0	0.0	-80℃冷冻,阴干
	H	H1	57.1	18.4	烘0.5h,-80℃冷冻,阴干
		H2	43.5	37.9	烘1.5h,-80℃冷冻,阴干
		H3	30.1	57.0	烘3h,-80℃冷冻,阴干
		H4	15.7	77.6	烘7h干燥
	S	S1	56	20.0	晒1.5h,-80℃冷冻,阴干
		S2	43	38.6	晒2.5h,-80℃冷冻,阴干
		S3	26.8	61.7	晒4.5h,-80℃冷冻,阴干
		S4	15.1	78.4	晒8h干燥
	Y	Y1	56.7	19.0	阴4h,-80℃冷冻,阴干
		Y2	41.4	40.9	阴17h,-80℃冷冻,阴干
		Y3	29.6	57.7	阴23h,-80℃冷冻,阴干
		Y4	16.2	76.9	阴96h干燥
四川中江县古店乡雷家坪	X	XX	70.0	0.0	-80℃冷冻,阴干
	H	H1	57.0	18.6	烘0.5h,-80℃冷冻,阴干
		H1'	70.0	0.0	密封烘0.5h,-80℃冷冻,阴干
		H2	44.0	37.1	烘1.5h,-80℃冷冻,阴干
		H2'	54.8	21.7	烘0.5h,密封烘1h,-80℃冷冻,阴干
		H3	31.2	55.4	烘3h,-80℃冷冻,阴干
		H3'	39.3	43.9	烘1.5h,密封烘1.5h,-80℃冷冻,阴干
		H4	17.1	75.6	烘7h干燥
		H4'	32.1	54.1	烘3h,密封烘4h,-80℃冷冻,阴干
	Y	Y1	56.8	18.9	阴4h,-80℃冷冻,阴干
		Y1'	70.0	0.0	密封阴4h,-80℃冷冻,阴干
		Y2	42.6	39.1	阴17h,-80℃冷冻,阴干
		Y2'	57.0	18.6	阴4h,密封阴13h,-80℃冷冻,阴干
		Y3	30.7	56.1	阴23h,-80℃冷冻,阴干
		Y3'	41.0	41.4	阴17h,密封阴6h,-80℃冷冻,阴干
		Y4	17.9	74.4	阴96h干燥
		Y4'	32.3	53.9	阴23h,密封阴73h,-80℃冷冻,阴干

16% A; 2.2~4.0 min, 16% ~17% A; 4.0~6.5 min, 17% ~30% A; 6.5~7.5 min, 30% ~90% A; 7.5~8.5 min, 90% ~5% A); 体积流量 0.6 mL/min; 检测波长 0~2.5 min, 328 nm; 2.5~4 min, 354 nm; 4~5 min, 328 nm; 5~8.5 min, 286 nm; 进样量 1 μL。混合对照品及样品的 UPLC 色谱图见图 1。

2.5 方法学考察

2.5.1 线性关系考察 精密吸取“2.2”项下混合对照品溶液适量,以甲醇-水(8:2)溶液为溶剂分别制成不同稀释浓度的系列溶液,在“2.4”项条件下测定,以对照品质量浓度为横坐标(X),峰面积值为纵坐标(Y),进行回归,结果见表2。

2.5.2 精密度试验 精密吸取“2.2”项下混合对照品溶液 1 μL,在“2.4”项条件下连续进样 6 次。测得各对照品峰面积的 RSD 分别为 0.90%、0.74%、0.69%、0.73%,表明仪器精密度良好。

表 2 各成分线性关系

Tab. 2 Linear relationships of various constituents

成分	回归方程	R ²	线性范围/ng
芦丁	Y=2 905.1X-85.092	0.999 9	0.033 6~16.800 0
异槲皮苷	Y=3 470.3X-142.23	0.999 9	0.043 2~21.600 0
迷迭香酸	Y=5 262.2X-2 328.5	1.000 0	0.722 6~361.276 0
丹酚酸 B	Y=2 025.9X-156.52	1.000 0	0.114 0~57.000 0

2.5.3 稳定性试验 按“2.3”项下方法制备供试品溶液,在“2.4”项条件下,分别于 0、4、8、12、16、24 h 进样。测得各峰面积的 RSD 分别为 1.13%、0.87%、1.50%、1.42%,表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.5.4 重复性试验 取同一批样品 6 份,按“2.3”项下方法制备供试品溶液,在“2.4”项条件下测定。测得各质量分数平均值分别为 0.265、0.274、2.481、0.315 mg/g, RSD 分别为 1.41%、

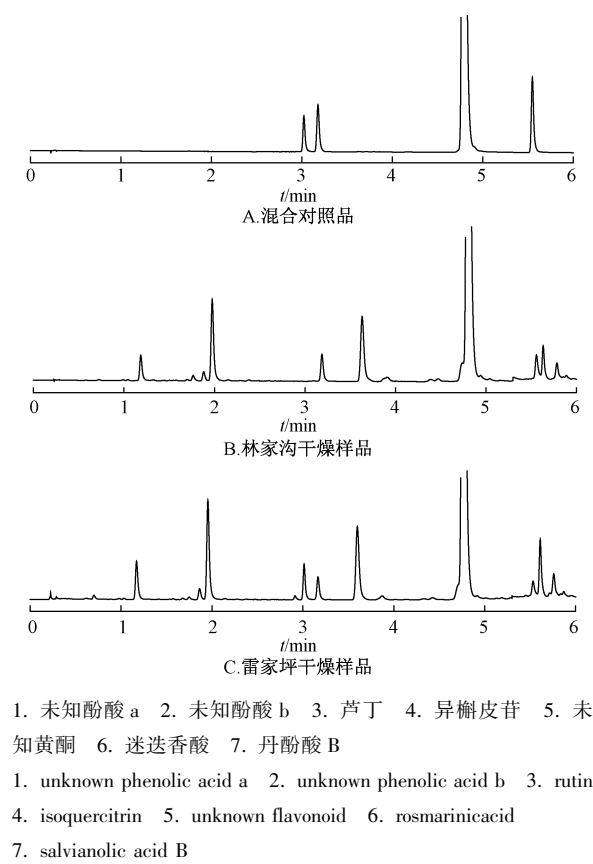


图 1 各成分 UPLC 色谱图

Fig. 1 UPLC chromatograms of various constituents

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	取样量/mg	原有量/mg	加入量/mg	测得量/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
芦丁	124.4	0.033 0	0.033 1	0.066 8	102.34	102.43	1.70
	124.6	0.033 0	0.033 1	0.066 6	101.38		
	124.8	0.033 1	0.033 1	0.066 7	101.65		
	124.6	0.033 0	0.033 1	0.067 6	104.59		
	124.6	0.033 0	0.033 1	0.066 2	100.20		
	124.8	0.033 1	0.033 1	0.067 6	104.39		
异槲皮苷	124.4	0.034 1	0.034 3	0.069 2	102.47	101.36	0.63
	124.6	0.034 1	0.034 3	0.068 7	100.85		
	124.8	0.034 2	0.034 3	0.068 7	100.67		
	124.6	0.034 1	0.034 3	0.068 9	101.23		
	124.6	0.034 1	0.034 3	0.068 9	101.39		
	124.8	0.034 2	0.034 3	0.069 0	101.53		
迷迭香酸	124.4	0.308 6	0.310 7	0.630 7	103.66	100.76	2.60
	124.6	0.309 1	0.310 7	0.611 5	97.32		
	124.8	0.309 6	0.310 7	0.613 6	97.83		
	124.6	0.309 1	0.310 7	0.623 3	101.12		
	124.6	0.309 1	0.310 7	0.625 7	101.89		
	124.8	0.309 6	0.310 7	0.628 8	102.73		
丹酚酸 B	124.4	0.039 2	0.039 1	0.078 3	100.12	98.11	1.94
	124.6	0.039 2	0.039 1	0.078 6	100.61		
	124.8	0.039 3	0.039 1	0.076 8	95.98		
	124.6	0.039 2	0.039 1	0.077 2	97.00		
	124.6	0.039 2	0.039 1	0.077 7	98.25		
	124.8	0.039 3	0.039 1	0.077 1	96.67		

1. 56%、0.63%、0.81%，表明该方法重复性良好。

2.5.5 加样回收率试验 取同一批已知含有量的样品约 0.125 g，共 6 份，精密称定，精密加入与样品中各成分约等量的单一成分对照品溶液，按“2.3”项下方法制备供试品溶液，在“2.4”项条件下进样，记录各色谱峰峰面积，测定各成分含有量，计算加样回收率，结果见表 3。

2.6 结果与分析

2.6.1 样品含有量测定 取表 1 中样品，按“2.3”项下方法制备供试品溶液，在“2.4”项条件下进样，结果见表 4~5。

2.6.2 干燥方式对各成分含有量的影响 表 4 显示，丹参叶于 50℃烘干、晒干、阴干干燥过程中，酚酸和黄酮成分的含有量呈极显著增加，似与脱水率相关。故将脱水率与各成分含有量作图分析，见图 2。表明，脱水率小于 20% 时，各成分含有量变化不大；当脱水率大于 20% 时，各成分含有量迅速显著增加，如阴干脱水率 0~18.4%~37.9%~57.0%~77.6%，迷迭香酸含有量分别增加 0.4、17.2、89.5、291.5 倍。表明丹参叶干燥过程中各成分含有量呈现前期延滞阶段和后期快速累积阶段，在前期延滞阶段，由于丹参叶中水分还比较充

表 4 林家沟样品各成分含有量测定结果

Tab. 4 Results of content determination of various constituents in samples from Linjiagou

编号	脱水率/%	质量分数/(mg·g ⁻¹)			峰面积		
		异槲皮苷	迷迭香酸	丹酚酸 B	未知酚酸 a	未知酚酸 b	未知黄酮
XX	0.0	0.028	0.126	0.097	58	1 519	152
H1	18.4	0.038	0.160	0.129	72	1 416	239
H2	37.9	0.141	0.802	0.165	139	1 926	1 051
H3	57.0	0.492	7.437	0.425	759	4 020	4 220
H4	77.6	1.099	21.412	1.855	1 916	8 156	10 267
S1	20.0	0.036	0.158	0.119	72	1 392	211
S2	38.6	0.175	1.722	0.231	215	2 396	1 384
S3	61.7	0.717	10.990	1.254	1 780	8 453	6 847
S4	78.4	1.246	29.004	3.084	3 569	13 245	11 708
Y1	19.0	0.040	0.172	0.128	91	2 706	280
Y2	40.9	0.201	2.293	0.401	425	3 933	1 806
Y3	57.7	0.699	11.407	1.358	1 754	8 270	6 840
Y4	76.9	1.313	36.854	4.722	3 889	13 317	14 196

表 5 雷家坪样品各成分含有量测定结果

Tab. 5 Results of content determination of various constituents in samples from Leijiaping

编号	脱水率/%	质量分数/(mg·g ⁻¹)				峰面积		
		芦丁	异槲皮苷	迷迭香酸	丹酚酸 B	未知酚酸 a	未知酚酸 b	未知黄酮
XX	0.0	0.038	0.033	0.129	0.061	49	2 715	329
H1	18.6	0.058	0.056	0.139	0.065	58	2 865	564
H1′	0.0	0.033	0.035	0.117	0.064	42	2 956	318
H2	37.1	0.173	0.170	0.715	0.128	182	3 081	2 042
H2′	21.7	0.074	0.082	0.150	0.093	56	3 026	820
H3	55.4	0.641	0.515	8.441	0.907	1 565	6 526	6 876
H3′	43.9	0.184	0.189	0.319	0.108	141	3 639	1 934
H4	75.6	1.421	0.914	29.873	3.895	5 612	16 816	12 696
H4′	54.1	0.384	0.325	0.796	0.187	453	5 382	3 430
Y1	18.9	0.054	0.050	0.146	0.071	60	2 615	517
Y1′	0.0	0.049	0.049	0.268	0.084	80	2 447	461
Y2	39.1	0.268	0.271	2.442	0.323	668	4 398	3 130
Y2′	18.6	0.049	0.048	0.123	0.075	42	2 528	478
Y3	56.1	0.786	0.709	11.866	1.332	2 312	8 423	8 173
Y3′	41.4	0.263	0.243	0.555	0.199	345	3 947	3 011
Y4	74.4	1.685	1.090	34.732	5.678	6 131	16 910	16 426
Y4′	53.9	0.248	0.193	0.238	0.328	132	4 617	2 099

足，各成分累积效率较低，在干燥胁迫持续过程中，当脱水率上升至约 40% 时，各成分累积效率显著提高，含有量迅速增加。此外，表 4 和图 2 表明，各成分含有量为阴干>晒干>烘干，阴干为丹参叶的最佳干燥方式。

2.6.3 成分含有量与脱水率的相关性 为验证脱水是丹参叶干燥过程中各成分含有量增加的主导因素，故设计了丹参叶常规干燥（脱水）与密封干燥（不脱水）的对比实验，见表 1。表 5 显示，丹参叶烘干、阴干过程中，酚酸和黄酮的含有量呈极显著增加，与表 4 结果一致。而密封样品因避免或减少了脱水，各成分含有量在前期延滞阶

段变化不大，如烘干样品 H1′和 H2′中迷迭香酸的含有量分别与 XX（鲜叶）、H1 的含有量相当，但在后期快速累积阶段却显著降低，如 H3′和 H4′中迷迭香酸的含有量显著低于 H2、H3 的含有量，表明脱水是丹参叶干燥过程中各成分含有量增加的直接因素。

应用 SPSS 25.0 对表 4 数据进行处理，进一步分析脱水率与各成分含有量的相关性。通过曲线拟合发现指数函数模型能够很好地模拟丹参叶在不同干燥方式下的干燥曲线。结果见表 6，表明在干燥过程中各成分的含有量随水分的丢失（脱水）逐渐增高，且增加速率越来越快。

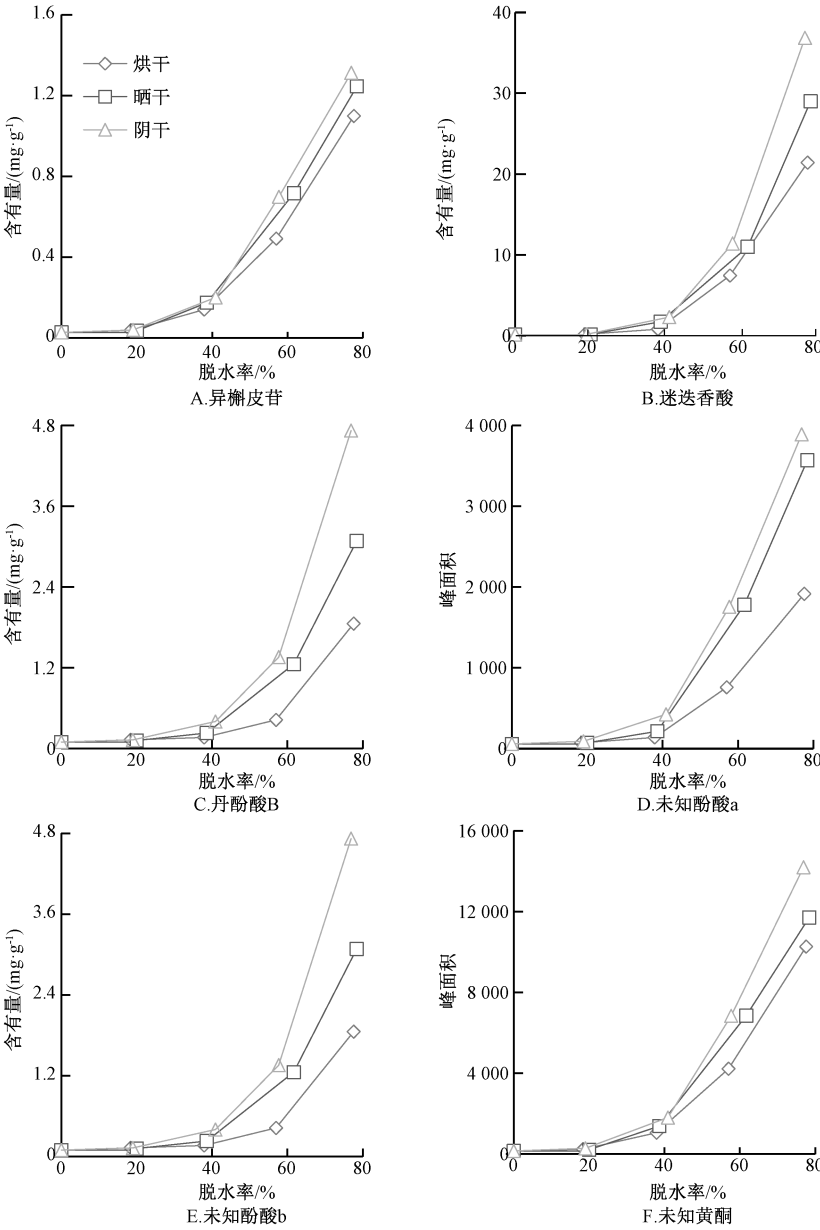


图 2 不同干燥方式各样品有效成分含有量动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of various constituents in the leaves of various samples of different drying methods

3 讨论

3.1 成分鉴定 本研究测定丹参叶中 7 种成分，分别为芦丁、异槲皮苷、迷迭香酸、丹酚酸 B、未知酚酸 a（1 号峰）、未知酚酸 b（2 号峰）和未知黄酮（5 号峰），其中 1 号峰和 2 号峰的紫外吸收光谱与迷迭香酸相同，推定为酚酸，5 号峰的紫外吸收光谱与芦丁和异槲皮苷相同，推定为黄酮，未知成分以单位质量的峰面积表征其含有量变化。研究发现不同来源的丹参叶各成分差异较大。

3.2 波长选择 通过 PDA 检测器对供试品溶液中主要色谱峰进行全波长扫描，结果显示芦丁、异槲皮苷、迷迭香酸、丹酚酸 B、未知酚酸 a、b 和未

知黄酮最大紫外吸收分别为 354、354、328、286、328、328、354 nm。应用 Empower 软件，利用 PDA 检测器，进行波长切换法以各色谱峰的最大吸收峰为检测波长测定含有量，提高了灵敏度且减少了杂质峰干扰。最终确定“2.4”项下条件。

3.3 样品干燥处理 研究发现丹参鲜叶干燥脱水，脱水率与各成分含有量增加密切相关，故干燥过程中以约 20% 等比脱水率分 4 次取样，前 3 次未完全干燥的样品和丹参鲜叶经 -80 ℃ 冷冻 48 h 后，再阴干粉碎测定含有量，即为干燥过程中各节点的实时含有量。

3.4 含有量动态规律分析 表 4~5 显示，新鲜丹

表 6 脱水率与各成分含有量的相关性分析

Tab. 6 Correlation analysis between dehydration rate and various constituents of the leaves

成分	相关系数						
	脱水率	异槲皮苷	迷迭香酸	丹酚酸 B	未知酚酸 a	未知酚酸 b	未知黄酮
烘干脱水率	1. 000						
异槲皮苷	0. 988 **	1. 000					
迷迭香酸	0. 980 **	0. 998 **	1. 000				
丹酚酸 B	0. 945 *	0. 937 *	0. 940 *	1. 000			
未知酚酸 1	0. 967 **	0. 981 **	0. 989 **	0. 972 **	1. 000		
未知酚酸 2	0. 936 *	0. 953 *	0. 962 **	0. 987 **	0. 987 **	1. 000	
未知黄酮	0. 990 **	1. 000 **	0. 998 **	0. 937 *	0. 981 **	0. 951 *	1. 000
晒干脱水率	1. 000						
异槲皮苷	0. 981 **	1. 000					
迷迭香酸	0. 979 **	0. 999 **	1. 000				
丹酚酸 B	0. 969 **	0. 973 **	0. 969 **	1. 000			
未知酚酸 1	0. 973 **	0. 984 **	0. 980 **	0. 998 **	1. 000		
未知酚酸 2	0. 948 *	0. 967 **	0. 962 **	0. 996 **	0. 996 **	1. 000	
未知黄酮	0. 982 **	1. 000 **	0. 999 **	0. 973 **	0. 984 **	0. 966 **	1. 000
阴干脱水率	1. 000						
异槲皮苷	0. 985 **	1. 000					
迷迭香酸	0. 983 **	0. 999 **	1. 000				
丹酚酸 B	0. 981 **	0. 984 **	0. 983 **	1. 000			
未知酚酸 1	0. 988 **	0. 997 **	0. 996 **	0. 994 **	1. 000		
未知酚酸 2	0. 992 **	0. 978 **	0. 971 **	0. 982 **	0. 986 **	1. 000	
未知黄酮	0. 989 **	1. 000 **	0. 998 **	0. 982 **	0. 997 **	0. 980 **	1. 000

注:各指标之间相互比较,* $P<0.05$,** $P<0.01$

参叶中酚酸和黄酮成分含有量很低,干燥过程中各成分含有量与脱水率(丢失水分)呈正相关。干燥过程中将样品(H1′~H4′,Y1′~Y4′)以自封袋密封,避免或减少脱水,各成分含有量明显小于对应的不密封脱水样品(H1~H4,Y1~Y4)。进一步比较分析烘干样品H1′/XX,H2′/H1的脱水率与各成分的含有量,显示二者脱水率相当,各成分含有量亦相似,同理,阴干样品也有相同的规律,表明脱水是丹参叶干燥过程中各成分含有量增加的直接因素。但在后期快速积累阶段,密封样品各成分含有量不增反而显著降低,与传统“发汗”加工方法使丹酚酸B含有量显著降低现象一致^[10]。

3.5 展望 酚酸和黄酮类在植物体内一般以化合态形式存在,主要通过酯键和醚键与多糖结合,存在于细胞壁内^[11-12]。当植物遭受逆境时,酚酸类亦会大量累积,以提高植物的抗逆性。丹参鲜叶在干燥胁迫过程中,随水分的丢失,其酚酸、黄酮类可能在某种机制的干预下或转变为游离态或大量积累,其作用机理或转化过程有待进一步研究。

参考文献:

[1] 詹志来,邓爱平,彭华胜,等. 基于历代本草产地变迁的药材道地性探讨—以黄芪、丹参为例[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(17): 3202-3208.

[2] 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: 76-77.

[3] 胡东华,王宇光,陈志武,等. 复方丹参方对大鼠心脏细胞色素 P450 酶的影响[J]. 中草药, 2014, 45(1): 75-80.

[4] 杨 倩,吕莉莉,孙 蓉. 基于网络药理学的丹参川芎嗪注射液作用机制分析[J]. 中 草 药, 2018, 49(11): 2606-2613.

[5] 顾俊菲,宿树兰,彭珂毓,等. 丹参地上部分资源价值发现与开发利用策略[J]. 中国现代中药, 2017, 19(12): 1659-1664.

[6] 陕西省食品药品监督管理局. 陕西省药材标准(2015 年版)[S]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2015: 18-19.

[7] 史国玉,郭庆梅,周凤琴. 丹参叶的化学成分研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2015, 38(4): 692-695.

[8] 冯小艳,周国军,李 焱,等. 不同产地丹参药材干燥前后化学成分含量变化[J]. 安徽医药, 2013, 17(11): 1863-1866.

[9] Li X B, Wang W, Zhou G J, *et al.* Production of salvianolic acid B in roots of *Salvia miltiorrhiza* (Danshen) during the post-harvest drying process [J]. *Molecules*, 2012, 17(3): 2388-2407.

[10] 王晓宇,李青苗,吴 萍,等. 不同加工方法对川产道地药材中江丹参药效成分的影响[J]. 中药材, 2017, 40(4): 831-833.

[11] Linh T N, Fujita H, Sakoda A. Release kinetics of esterified *p*-coumaric acid and ferulic acid from rice straw in mild alkaline solution[J]. *Bioresour Technol*, 2017, 232: 192-203.

[12] 胡文甫,谢丽霞,刘 娜,等. 细胞壁内酚酸类化合物的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(34): 12020-12022; 12034.