

参考文献:

[1] WS3-BC-0085-95, 中华人民共和国卫生部药品标准 (藏药第一册) [S].

[2] 刘治民, 赵纪峰, 秦松云, 等. 藏药榜嘎的资源与使用情况调查[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(24): 4898-4904.

[3] 刘治民, 秦松云, 赵纪峰, 等. 藏药“榜嘎”的本草考证[J]. 世界科学技术 (中医药现代化), 2017, 19 (4): 636-643.

[4] 南京中医药大学. 中药大辞典 (下册) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 2738.

[5] 张启立, 汪 洁, 李彦荣, 等. 露蕊乌头对大鼠骨关节炎治疗作用的研究[J]. 解放军药学报, 2018, 34 (6): 494-497.

[6] 郑彩霞. 藏药木里乌头及甘青乌头的质量研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.

[7] 卢 杰, 兰小中. 拉萨市珍稀濒危藏药植物资源调查研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(1): 127-132.

[8] 骆桂法, 杨凤梅. 藏药榜嘎的生药学研究[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(9): 2193-2194.

[9] 兰 钧, 次旦多吉, 旺杰次仁, 等. 藏药榜嘎的生药学研究[J]. 中国民族民间医药, 2018, 27(1): 28-32.

[10] 李艳茸, 李 春, 王智民, 等. 藏药甘青乌头化学成分研究 (Ⅲ) [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(7): 1163-1167.

[11] 王海顷, 蒋山好, 杨培明, 等. 甘青乌头的生物碱[J]. 天然产物研究与开发, 2002, 12(4): 13-15.

[12] 罗达尚. 新修晶珠本草[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2004: 298-300.

[13] 戴卫波, 董鹏鹏, 田素英, 等. 走马胎及其混淆品红马胎的生药学对比研究[J]. 中药材, 2018, 41(3): 565-569.

[14] 张立荣, 陈 南. 分离植物叶片上、下表皮新方法[J]. 生物学通报, 2009, 44(12): 49-50; 63.

[15] 周成蕾, 杨竹雅, 张 洁, 等. 15 种滇产乌头属植物花粉粒形态特征比较研究[J]. 云南中医学院学报, 2013, 36 (4): 13-16.

[16] 张 静, 孙 芸, 王红丽, 等. 新疆地产乌头属 6 种植物药及川乌花粉形态研究[J]. 西北药学杂志, 2013, 28 (5): 451-453.

丹参商品等级划分指标合理性的研究

王晓宇, 罗 冰, 张松林, 吴 萍, 郭俊霞, 易进海, 李青苗*
(四川省中医药科学院, 四川省道地药材系统开发工程技术研究中心, 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** 对丹参商品等级划分指标的合理性进行研究, 为该药材市场流通的快速鉴别、优质优价提供依据。**方法** 采用含水量表征“身干”, 颜色值 (a*、b*、L*) 表征“色红”, 主根上中部直径表征“条粗壮”, 结合丹参酮、丹参酮Ⅱ_A、丹酚酸 B 含量, 采用多元统计方法进行分析。**结果** a*、b* 与丹参酮、丹参酮Ⅱ_A 含量呈极显著正相关, L* 与丹酚酸 B 含量呈极显著正相关, 含水量与各成分含量无显著相关, 主根上中部直径与丹参酮、丹参酮Ⅱ_A 含量呈极显著负相关, 而与丹酚酸 B 含量无显著相关。a* 对第一主成分的正影响最显著。不同产地、等级药材之间, 丹酚酸 B 含量、明度值 L* 呈极显著差异。**结论** “色红”在丹参等级划分中具有显著的重要性, 应作为该药材首要判别指标。丹酚酸 B 含量、明度值 L* 可对不同等级丹参进行较为准确的区分。

关键词: 丹参; 商品等级; 划分指标; 合理性; 多元统计方法

中图分类号: R282 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2022)01-0293-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2022.01.057

收稿日期: 2020-02-27

基金项目: “重大新药创制”科技重大专项项目 (2018ZX09201018-029); 国家中药标准化项目 (ZYBZH-Y-SC-40); 中医药产业发展重大项目 (510201202109711); 四川省科技计划项目 (2018SZ0057, 2020ZHFP0096); 四川省科技厅重点研发项目 (2018SZ0056); 四川省中医药管理局科技研究专项 (Z021MS027)

作者简介: 王晓宇(1984—), 女, 硕士, 副研究员, 从事中药化学成分与质量标准化研究。Tel: (028) 85255011, E-mail: wangxiaoyu926@163.com.

*** 通信作者:** 李青苗(1976—), 女, 博士, 研究员, 从事中药材优质高效生产理论与技术研究。Tel: (028) 85255011, E-mail: qingmiaoli@sina.com.

丹参为唇形科植物丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge. 的干燥根和根茎^[1]，始载于《神农本草经》，列为上品，历代本草“以身干、条粗壮、色红、无芦头及须根杂质者为佳”^[2-6]，其中“身干”“色红”“条粗壮”是丹参品质及等级划分的重要判定指标^[7-12]。1984 年《76 种中药材商品规格标准》中丹参家种品主要以“主根上中部直径”划分等级^[13]，随着现代农业生长激素、化肥的施用，加工中不同技术、方法的应用，导致药材外观性状、感官品质等均发生较大改变，加之中药传统性状鉴别多因个人感官存在差异导致主观性较强，缺乏可具体量化的指标，因此沿用既往商品规格等级标准难以准确表征药材的内在品质，应对性状鉴别指标进行深入筛选。目前，丹参的主要研究多集中在化学成分方面^[14-19]，采用多元统计方法划分丹参商品规格等级的相关研究内容^[20-21]较少，本研究以“含水量”表征“身干”，“颜色值”表征“色红”，“主根上中部直径”表征“条粗壮”，结合相关性分析、主成分分析、聚类分析对丹参含水量、颜色值、主根上中部直径与主要成分含量进行综合性研究，进一步探讨丹参等级划分指标的科学性、合理性，以保障优质丹参药材进入市场流通环节及临床用药的安全有效，为丹参药材的优质优价、出口交易提供一定的实验基础。

1 材料

Agilent 1200 型高效液相色谱仪，配置 G1315D 型二极管阵列检测器、G1329B 自动控温自动进样器、1200LC 工作站（美国 Agilent 公司）；XS205 型电子分析天平（十万分之一，瑞士 Mettler-Toledo 公司）；SQP 型电子分析天平（百分之一）、BSA224S 型电子分析天平（万分之一）（德国 Sartouris 公司）；KQ2200 型超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；DHG-9240 型电热恒温鼓风干燥箱（上海一恒科学仪器有限公司）；DFY-200 型摇摆式高速万能粉碎机（温岭市林大机械有限公司）；CM-5 型分光测色计（日本 Konica Minolta 公司）；IP54 型电子数显卡尺（量程 150 mm，精度 0.01 mm，成都成量工具集团有限公司）。

丹参酮Ⅱ_A（批号 MUST-18032502，纯度 99.08%）、丹酚酸 B（批号 MUST-18032804，纯度 98.51%）对照品（成都曼斯特生物科技有限公司）。乙腈、甲醇为色谱纯（美国 Tedia 公司）；其他试剂均为分析纯；水为超纯水。

丹参购于四川、河南、山西、陕西、山东、河北，共 27 批，均为栽培品，经四川省中医药科学院李青苗研究员鉴定为唇形科植物丹参 *Salvia miltiorrhiza* Bge. 的干燥根及根茎，具体见表 1。

本实验参考《76 种药材商品规格标准》、中华中医药学会团体标准《中药材商品规格等级 丹参》（T/CACM 1021.7-2018），对药材进行规格等级的初步拟定，见表 2。

2 方法与结果

2.1 含水量测定 参照 2020 年版《中国药典》四部通则中含水量测定法第二法（烘干法），测定含水量。

2.2 丹参酮含量测定 丹参酮Ⅱ_A 呈橘红色，隐丹参酮呈

表 1 样品信息

批号	产地	等级数/个	批号	产地	等级数/个
SC-1	四川省巴中市	3	SX-2	山西省运城市	3
SC-2	四川省巴中市	3	SX-3	山西省临汾市	3
SC-3	四川省巴中市	3	SH-1	陕西省商洛市	3
SC-4	四川省巴中市	3	SH-2	陕西省商洛市	3
SC-5	四川省巴中市	3	SD-1	山东省济南市	3
SC-6	四川省德阳市	3	SD-2	山东省泰安市	3
SC-7	四川省德阳市	3	SD-3	山东省临沂市	3
SC-8	四川省绵阳市	3	SD-4	山东省临沂市	3
HN-1	河南省焦作市	3	SD-5	山东省济南市	3
HN-2	河南省洛阳市	3	HB-1	河北省石家庄	3
HN-3	河南省洛阳市	3	HB-2	河北省安国市	3
HN-4	河南省孟州市	3	HB-3	河北省邯郸市	3
HN-5	河南省洛阳市	3	HB-4	河北省邯郸市	3
SX-1	山西省运城市	3			

表 2 初拟药材规格等级划分

规格	等级	性状区别点
四川丹参	一级(Y)	主根上中部直径≥1.0 cm,长度≥10 cm
	二级(R)	主根上中部直径 0.6 ~ 1.0 cm,长度 ≥ 10 cm
	三级(S)	主根上中部直径≤0.6 cm,长度 ≥8 cm,偶有断节
其他地区丹参	一级(Y)	主根上中部直径≥0.8 cm,长度≥10 cm
	二级(R)	主根上中部直径 0.6 ~ 0.8 cm,长度 ≥ 10 cm
	三级(S)	主根上中部直径≤0.6 cm,长度 ≥8 cm,偶有断节

橙色，丹参酮Ⅰ呈棕红色，而且该类化合物大量积累在周皮部，使根呈现红色，“色越红”，其含量越高^[22]。因此，本实验参照 2020 年版《中国药典》一部丹参项下“含量测定”部分测定丹参酮含量。

2.2.1 色谱条件 Agilent C₁₈ 色谱柱（4.6 mm×250 mm，5 μm）；流动相乙腈（A）-0.02% 磷酸（B），梯度洗脱（0~ 6 min，61% A；6 ~ 20 min，61% ~ 90% A；20 ~ 20.5 min，90% ~ 61% A；20.5 ~ 25 min，61% A）；体积流量 1.0 mL/min；柱温 20 ℃；检测波长 270 nm；进样量 10 μL。色谱图见图 1。

2.2.2 线性关系考察 取对照品溶液适量，在“2.2.1”项色谱条件下进样测定。以峰面积为纵坐标（Y），对照品质量浓度为横坐标（X）进行回归，得方程为 Y=48 368X+2.251 6（r=0.999 8），在 1.91~38.24 μg/mL 范围内线性关系良好。

2.2.3 方法学考察 精密度试验中，丹参酮Ⅱ_A 含量 RSD 为 1.9%，表明仪器精密度良好；稳定性试验（24 h）中，丹参酮Ⅱ_A 峰面积 RSD 为 2.15%，表明溶液在 24 h 内稳定性良好；重复性试验中，丹参酮Ⅱ_A 含量 RSD（n=6）为 2.3%，表明该方法重复性良好；加样回收率试验中，丹参酮Ⅱ_A 平均加样回收率为 100.87%，RSD（n=5）为 2.7%。

2.3 丹酚酸 B 含量测定 丹参中酚酸类成分性质不稳定，易发生氧化水解，进而影响药材外观颜色。因此，本实验

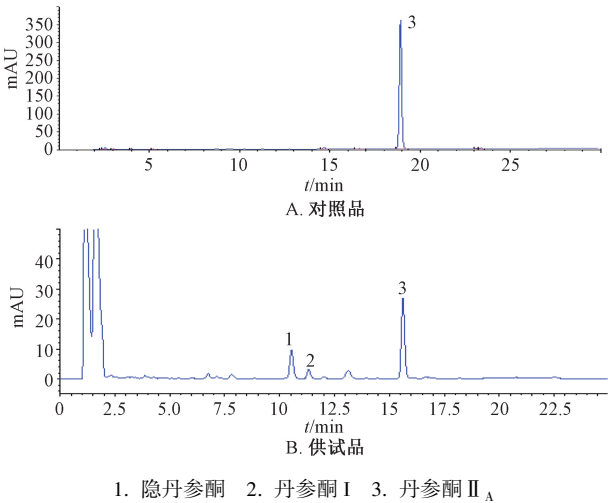


图 1 丹参酮 HPLC 色谱图

参照 2020 年版《中国药典》一部丹参项下的“含量测定”部分测定丹酚酸 B 含量。

2.3.1 色谱条件 Agilent C₁₈ 色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相乙腈-0.1% 磷酸 (22 : 78); 体积流量 1.2 mL/min; 柱温 20 ℃; 检测波长 286 nm; 进样量 10 μL。色谱图见图 2。

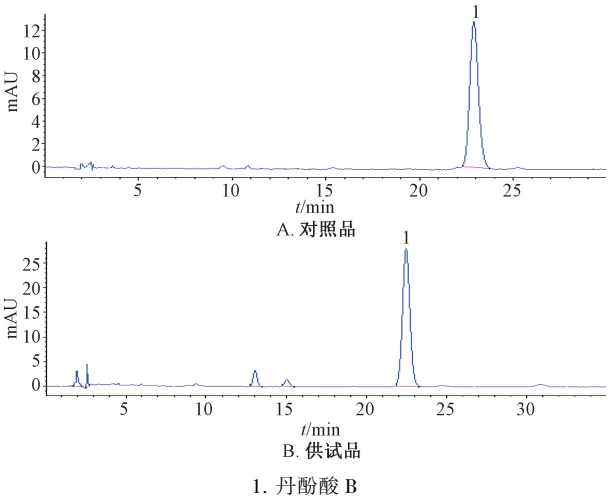


图 2 丹酚酸 B HPLC 色谱图

表 3 药材外观、等级划分指标测定结果

编号	等级	粉末颜色(肉眼)	含水量/%	主根上中部 直径/cm	颜色值			含量/%		
					L*	a*	b*	丹参酮	丹参酮Ⅱ _A	丹酚酸 B
SC-1	一级	砖红色/红棕色	9.94	10.75	61.04	14.37	21.70	0.568	0.358	7.52
	二级	砖红色/红棕色	9.83	8.51	60.80	15.03	22.83	0.587	0.362	7.33
	三级	砖红色/红棕色	9.96	7.00	54.82	16.56	23.57	0.570	0.348	5.53
SC-2	一级	棕红色	9.95	10.80	65.51	12.93	21.74	0.429	0.264	6.85
	二级	棕红色	10.02	9.04	64.85	13.54	21.05	0.433	0.270	6.51
	三级	砖红色/红棕色	9.00	7.73	65.36	13.14	20.83	0.549	0.328	6.01
SC-3	一级	黄棕色	10.22	11.06	62.10	11.47	20.28	0.314	0.186	6.78
	二级	黄棕色	9.42	8.71	69.76	10.86	18.66	0.367	0.237	6.47
	三级	黄棕色	10.14	7.14	67.73	10.85	18.45	0.344	0.223	6.07
SC-4	一级	砖红色/红棕色	9.11	10.22	55.90	10.31	21.54	0.537	0.236	6.68
	二级	砖红色/红棕色	9.74	8.91	54.07	12.78	23.65	0.534	0.279	6.21
	三级	砖红色/红棕色	10.47	7.29	51.39	12.85	22.22	0.632	0.299	6.04

2.3.2 线性关系考察 取对照品溶液适量,在“2.3.1”项色谱条件下进样测定。以峰面积为纵坐标 (Y),对照品质量浓度为横坐标 (X) 进行回归,得方程为 $Y=5\,341.5X+9.751\,6$ ($r=0.999\,7$),在 11.09~221.8 μg/mL 范围内线性关系良好。

2.3.3 方法学考察 精密度试验中,丹酚酸 B 含量 RSD 为 1.3%,表明仪器精密度良好;稳定性试验 (20 h) 中,丹酚酸 B 峰面积 RSD 为 2.34%,表明溶液在 20 h 内稳定性良好;重复性试验中,丹酚酸 B 含量 RSD ($n=6$) 为 2.8%,表明该方法重复性良好;加样回收率试验中,丹酚酸 B 平均加样回收率为 99.53%,RSD ($n=5$) 为 2.6%。

2.4 颜色值测定 采用国际照明委员会 (CIE) L* a* b* 色空间系统, a* 代表红-绿色轴 (红绿值), b* 代表黄-蓝色轴 (黄蓝值), L* 代表明度轴 (明度值)^[4]。本实验受光系统选择排除镜面的正反射光 (SCE, 适用于直接被人观测到的,要求测量结果和目视非常接近的样品),光源选择 D65 光源 (色温 6 504 K) 的正常日光,包括紫外线波长区,用来测量被日光,包括紫外线辐射所照明的试样。

2.4.1 样品制备 取药材粉末 (过 4 号筛) 约 2 g,装入自制玻璃测色皿中,盖上测色皿盖备用。

2.4.2 参数 检测波长 360~740 nm;反射测量;受光系统 SCE; L* a* b* 色空间;测定口径 3 mm;测量波长间隔 10 nm;标准观察者 10°; D₆₅ 光源。

2.4.3 测定方法 按“2.4.1”项下方法制备样品,在“2.4.2”项参数下测定,重复 3 次,取平均值。

2.5 主根上中部直径测定 取干燥药材适量,每个等级随机抽取 15 根,采用数显卡尺测定上中部直径,重复 3 次,取平均值。

2.6 外观、等级划分指标测定 表 3 显示, L*、a*、b* 均为正值,表明药材颜色大多偏红色和黄色,而且较为鲜明;含水量,主根上中部直径, L*、a*、b*, 丹参酮、丹参酮Ⅱ_A、丹酚酸 B 含量均存在不同程度的变异,以丹参酮Ⅱ_A 含量程度最大,含水量最小。

2.7 相关性分析 采用 SPSS 21.0 软件将外观性状指标 (含水量、颜色值、主根中上部直径) 与主要成分 (丹参

续表 3

编号	等级	粉末颜色(肉眼)	含水量/%	主根上中部 直径/cm	颜色值			含量/%		
					L*	a*	b*	丹参酮	丹参酮Ⅱ _A	丹酚酸 B
SC-5	一级	砖红色/红棕色	8.95	10.47	46.43	11.82	20.88	0.526	0.263	3.98
	二级	砖红色/红棕色	8.98	9.09	52.50	10.36	20.75	0.576	0.233	4.85
	三级	砖红色/红棕色	8.86	7.25	54.43	11.29	21.43	0.593	0.253	4.84
SC-6	一级	黄棕色	9.86	11.11	55.92	11.49	20.41	0.359	0.234	5.20
	二级	棕色	9.72	9.08	56.52	10.78	19.08	0.281	0.189	5.21
	三级	棕色	10.17	6.71	56.70	11.10	21.53	0.256	0.170	4.70
SC-7	一级	砖红色/红棕色	9.67	10.96	59.78	13.51	22.78	0.606	0.290	6.72
	二级	棕色	10.58	9.04	60.14	14.17	23.82	0.253	0.110	7.63
	三级	砖红色/红棕色	10.34	7.62	62.68	12.64	21.98	0.593	0.250	7.59
SC-8	一级	棕红色	9.75	9.40	62.66	13.08	21.88	0.475	0.305	6.39
	二级	棕红色	10.70	8.34	63.00	11.28	20.26	0.397	0.247	6.92
	三级	棕红色	10.03	7.35	62.35	13.65	22.47	0.392	0.253	6.86
HN-1	一级	棕红色	9.71	10.48	61.63	14.24	22.13	0.456	0.233	3.72
	二级	砖红色/红棕色	9.77	8.48	52.39	16.01	21.61	0.550	0.357	3.86
	三级	砖红色/红棕色	10.28	7.19	51.53	17.10	22.79	0.560	0.408	3.79
HN-2	一级	棕红色	10.54	11.05	58.27	9.71	19.92	0.438	0.187	3.16
	二级	砖红色/红棕色	10.29	9.05	49.67	14.04	22.23	0.588	0.316	3.13
	三级	砖红色/红棕色	10.02	7.10	49.26	13.28	20.92	0.582	0.445	3.44
HN-3	一级	棕红色	9.78	10.77	47.31	11.88	19.91	0.368	0.234	3.94
	二级	黄棕色	10.67	9.09	49.70	11.21	18.26	0.295	0.174	3.88
	三级	黄棕色	9.97	7.09	51.33	11.59	19.96	0.287	0.161	3.77
HN-4	一级	棕红色	9.33	11.06	50.65	12.59	18.72	0.434	0.257	3.30
	二级	棕红色	11.02	9.05	51.12	13.50	20.57	0.435	0.267	3.15
	三级	棕红色	10.12	7.10	54.90	12.43	20.51	0.433	0.262	3.32
HN-5	一级	棕红色	10.83	10.64	44.10	12.10	18.46	0.446	0.246	4.72
	二级	砖红色/红棕色	9.90	9.01	50.68	13.48	19.88	0.606	0.325	5.18
	三级	棕红色	11.18	7.08	46.54	11.44	18.94	0.399	0.212	5.67
SX-1	一级	棕红色	11.22	10.76	47.77	13.05	20.21	0.432	0.247	3.79
	二级	黄棕色	11.47	9.02	51.90	13.88	21.82	0.389	0.231	3.73
	三级	黄棕色	11.04	7.50	54.42	12.85	22.04	0.345	0.201	3.86
SX-2	一级	棕色	11.16	11.10	49.13	10.94	17.87	0.266	0.127	3.82
	二级	黄棕色	11.08	9.03	49.82	11.65	19.57	0.377	0.244	3.12
	三级	黄棕色	11.19	6.97	50.61	12.42	19.81	0.376	0.232	6.08
SX-3	一级	棕红色	11.04	10.90	47.71	12.64	19.54	0.476	0.265	3.16
	二级	砖红色/红棕色	9.85	8.84	51.94	12.66	20.88	0.517	0.292	3.64
	三级	黄棕色	10.57	6.95	50.68	12.78	21.32	0.383	0.213	3.44
SH-1	一级	砖红色/红棕色	11.31	11.08	49.13	14.98	22.13	0.607	0.309	5.50
	二级	棕红色	11.12	8.73	54.99	13.39	21.32	0.425	0.234	5.45
	三级	黄棕色	11.02	7.01	50.92	12.99	22.56	0.359	0.218	3.90
SH-2	一级	棕色	10.15	10.36	56.43	11.00	21.71	0.308	0.155	5.39
	二级	棕红色	10.48	8.90	54.54	11.81	21.07	0.416	0.225	5.95
	三级	棕色	10.86	6.79	58.01	10.01	20.94	0.288	0.136	5.63
SD-1	一级	砖红色/红棕色	11.32	10.57	59.71	11.93	21.04	0.566	0.425	5.70
	二级	砖红色/红棕色	10.57	8.93	57.92	14.32	20.34	0.602	0.332	5.73
	三级	砖红色/红棕色	10.71	6.73	59.17	16.48	24.9	0.628	0.266	5.17
SD-2	一级	砖红色/红棕色	10.77	10.98	58.48	12.12	21.82	0.560	0.291	5.92
	二级	砖红色/红棕色	10.38	8.64	56.07	11.48	20.45	0.597	0.347	6.05
	三级	砖红色/红棕色	10.24	7.21	51.22	13.31	21.04	0.531	0.312	4.01
SD-3	一级	砖红色/红棕色	10.19	10.01	61.88	13.58	22.17	0.563	0.319	6.34
	二级	砖红色/红棕色	10.22	8.72	63.50	15.17	23.18	0.614	0.318	5.99
	三级	砖红色/红棕色	10.78	7.38	63.60	14.91	22.95	0.586	0.291	5.67
SD-4	一级	砖红色/红棕色	10.65	10.69	62.50	12.86	20.77	0.529	0.323	6.11
	二级	砖红色/红棕色	9.87	9.03	58.99	15.32	23.52	0.602	0.353	5.18
	三级	砖红色/红棕色	9.53	6.96	55.00	16.06	22.2	0.571	0.398	5.39

续表 3

编号	等级	粉末颜色(肉眼)	含水量/%	主根上中部 直径/cm	颜色值			含量/%		
					L*	a*	b*	丹参酮	丹参酮Ⅱ _A	丹酚酸 B
SD-5	一级	棕红色	11.04	11.47	54.35	10.77	20.61	0.410	0.217	5.87
	二级	棕色	10.12	9.00	64.77	10.20	20.99	0.258	0.106	6.26
	三级	砖红色/红棕色	10.63	7.17	56.76	14.13	21.61	0.509	0.266	6.27
HB-1	一级	棕色	9.20	10.98	60.09	9.38	19.29	0.252	0.100	5.00
	二级	棕色	11.08	8.74	58.81	10.68	21.48	0.259	0.108	4.79
	三级	棕红色	11.42	7.31	51.39	13.08	21.59	0.396	0.216	7.04
HB-2	一级	棕色	11.47	10.03	58.55	6.96	18.22	0.297	0.117	5.62
	二级	黄棕色	10.04	8.83	53.35	12.07	22.67	0.347	0.193	3.16
	三级	砖红色/红棕色	10.16	7.01	54.15	14.85	23.07	0.569	0.300	5.68
HB-3	一级	砖红色/红棕色	10.08	10.88	51.65	10.35	19.17	0.521	0.316	7.77
	二级	砖红色/红棕色	11.29	9.05	51.36	15.26	22.17	0.600	0.268	7.45
	三级	棕红色	10.04	6.91	68.07	8.27	18.5	0.482	0.279	7.08
HB-4	一级	砖红色/红棕色	10.85	10.49	49.56	12.00	18.52	0.574	0.279	7.94
	二级	砖红色/红棕色	10.47	9.19	58.05	13.59	21.36	0.533	0.453	7.15
	三级	砖红色/红棕色	10.31	7.22	58.77	13.66	22.09	0.576	0.452	7.72
	最大值		11.47	11.47	69.76	17.10	24.90	0.632	0.453	7.94
	最小值		8.86	6.71	44.10	6.96	17.87	0.252	0.100	3.12
	平均值		10.32	8.91	55.94	12.64	21.08	0.460	0.260	5.38
	标准差		0.65	1.50	5.76	1.88	1.50	0.116	0.08	1.39
变异系数/%			6.30	16.83	10.30	14.87	7.12	25.22	30.77	25.84

注:变异系数=(标准差/平均值)×100%。

酮、丹参酮Ⅱ_A、丹酚酸 B) 含量进行关联,结果见表 4~5。由此可知,a*、b* 与丹参酮、丹参酮Ⅱ_A 含量呈极显著正相关,其中 a* 与丹参酮、丹参酮Ⅱ_A 含量的相关系数均大于 0.7,明度值 L* 与丹酚酸 B 含量的相关系数大于 0.5;含水量与各成分含量均无显著相关;主根上中部直径与丹参酮、丹参酮Ⅱ_A 含量呈极显著负相关,相关系数较低,而与丹酚酸 B 含量呈正相关,但不显著。

表 4 颜色值与各成分含量的相关性

相关系数	颜色值		
	L*	a*	b*
丹参酮含量	-0.385**	0.745**	0.448**
丹参酮Ⅱ _A 含量	-0.355**	0.768**	0.450**
丹酚酸 B 含量	0.646**	-0.117*	-0.056

注:**P*<0.05,***P*<0.01。

表 5 含水量、主根上中部直径与各成分含量的相关性

相关系数	含量/%		
	丹参酮	丹参酮Ⅱ _A	丹酚酸 B
含水量	-0.191	-0.158	-0.028
主根上中部直径	-0.191**	-0.192**	0.020

注:***P*<0.01。

2.8 主成分分析 选择主根上中部直径、L*、a*、b*、丹参酮含量、丹参酮Ⅱ_A 含量、丹酚酸 B 含量作为等级划分指标,采用 SPSS 21.0 软件进行主成分分析,结果见表 6~7。由此可知,前 4 个主成分的特征值均接近 1,其中第一、二、三、四主成分方差贡献率分别为 40.291%、21.976%、15.990%、10.124%,累积方差贡献率为 88.380%;第一主成分中载荷最高的指标是 a*,最低的是主根上中部直径,第二主成分中载荷最高的指标是 L*,最

低的是 a*,第三主成分中载荷最高的指标是主根上中部直径,最低的是 b*,第四主成分中载荷最高的指标是主根上中部直径,最低的是丹参酮Ⅱ_A 含量。

表 6 主成分方差贡献率

主成分	特征值	初始特征值方差	累积方差
		贡献率/%	贡献率/%
1	2.820	40.291	40.291
2	1.538	21.976	62.266
3	1.119	15.990	78.256
4	0.709	10.124	88.380
5	0.424	6.056	94.437
6	0.261	3.727	98.164
7	0.129	1.836	100.000

表 7 主成分载荷矩阵

指标	主成分			
	1	2	3	4
主根上中部直径	-0.318	0.021	0.774	0.545
L*	0.109	0.879	-0.135	0.071
a*	0.848	-0.245	-0.148	0.249
b*	0.732	0.064	-0.399	0.477
丹参酮含量	0.841	-0.076	0.389	-0.154
丹参酮Ⅱ _A 含量	0.824	-0.097	0.367	-0.289
丹酚酸 B 含量	0.262	0.828	0.189	-0.101

2.9 聚类分析

2.9.1 K-中心聚类 采用 SPSS 21.0 软件,以主根上中部直径、丹参酮含量、丹参酮Ⅱ_A 含量、丹酚酸 B 含量、L*、a*、b* 为指标进行 K-中心聚类分析,结果见表 8~11。由此可知,丹酚酸 B 含量、L* 呈极显著差异 (*P*<0.01),b* 呈显著差异 (*P*<0.05),可作为等级划分的主要参考依据。

表 8 最终聚类中心 (n=81)

等级划分指标	聚类		
	1	2	3
主根上中部直径	8.93	8.96	8.85
丹参酮含量	0.470	0.466	0.457
丹参酮Ⅱ _A 含量	0.271	0.263	0.256
丹酚酸 B 含量	6.45	4.52	5.57
L [*]	63.88	50.09	56.93
a [*]	12.74	12.82	12.42
b [*]	21.20	20.55	21.53

表 9 最终聚类中心间距离

聚类	1	2	3
1	1		
2	13.944	1	
3	7.028	6.999	1

2.9.2 系统聚类 将 27 批样品的丹酚酸 B 含量、L^{*} 分别导入 SPSS 21.0 软件，以平方 Euclidean 距离为度量标准，采用组间联接法进行系统聚类，结果见图 3~4。由此可知，度量距离为 15 时，27 批样品以丹酚酸 B 含量为指标可聚

表 10 各等级划分指标方差分析

等级划分指标	聚类		误差		F 值	P 值
	均方	自由度	均方	自由度		
主根上中部直径	0.104	2	2.298	78	0.045	0.956
丹参酮含量	0.001	2	0.014	78	0.082	0.921
丹参酮Ⅱ _A 含量	0.001	2	0.006	78	0.215	0.807
丹酚酸 B 含量	22.712	2	1.396	78	16.263	<0.001
L [*]	1 145.284	2	4.639	78	246.858	<0.001
a [*]	1.350	2	3.583	78	0.377	0.687
b [*]	7.624	2	2.122	78	3.593	0.032

表 11 聚类所占数量及比例

聚类	数量/个	比例/%
1	19	23.46
2	31	38.27
3	31	38.27
合计	81	100.0

为 2 类，四川、河北产区（S1~S4、S7~S8、S26~S27）为 1 类，河南、山西、陕西产区（S9~S12、S14~S16）为另 1 类；在度量距离为 10 时，27 批样品以 L^{*} 为指标也可聚为 2 类，四川产区（S2~S3、S7~S8）为 1 类，河南、山西（S10~S16）为另 1 类。

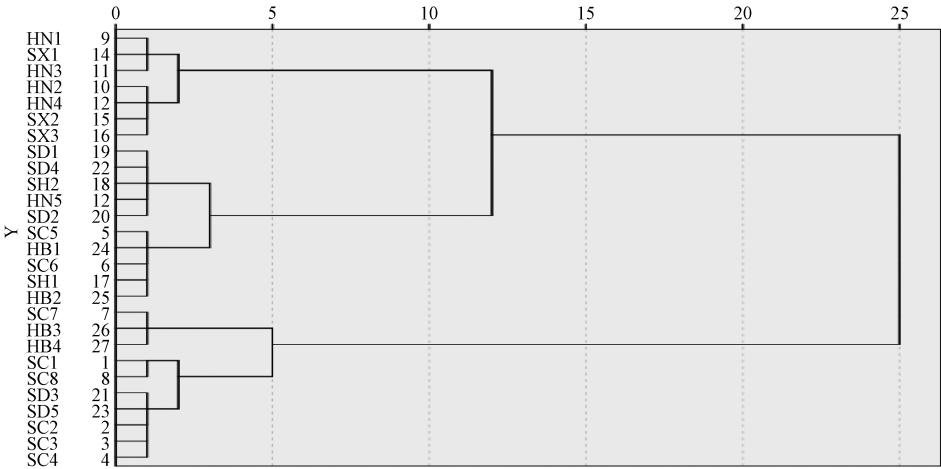


图 3 丹酚酸 B 含量聚类分析树状图

3 讨论

本研究采用分光测色计同时测定了丹参药材表皮及粉末的颜色值，结果发现，同批样品相同等级任取的 15 根丹参药材根茎，表皮颜色值之间差异较大，RSD 值均大于 20%；分析原因可能与丹参药材加工中“忌水洗”（除去泥沙即干燥，）有关。而相同药材得到的粉末颜色值之间差异较小，RSD 值均小于 5%。表明药材粉末颜色值的精密度较高；故采用粉末颜色值进行结果判定较为准确。

据调查全国中药材市场中丹参规格多以产地划分，在

此项下依据主根直径进行等级划分，直径越大，等级越高；而报道称丹参根部直径越大，脂溶性、水溶性成分含量越低，药材内在质量差^[7]。本研究结果显示，在选定的 7 个等级划分指标中，“色红”（红绿值 a^{*}）作为第一主成分，在丹参等级划分中具有显著的重要性，应作为丹参等级划分的首要判别指标。其次，丹酚酸 B 含量、颜色明度值 L^{*} 可对不同等级丹参进行较为准确的区分，该结果可快速判别丹参药材等级，为丹参药材的市场流通、优质优价提供有力保证。

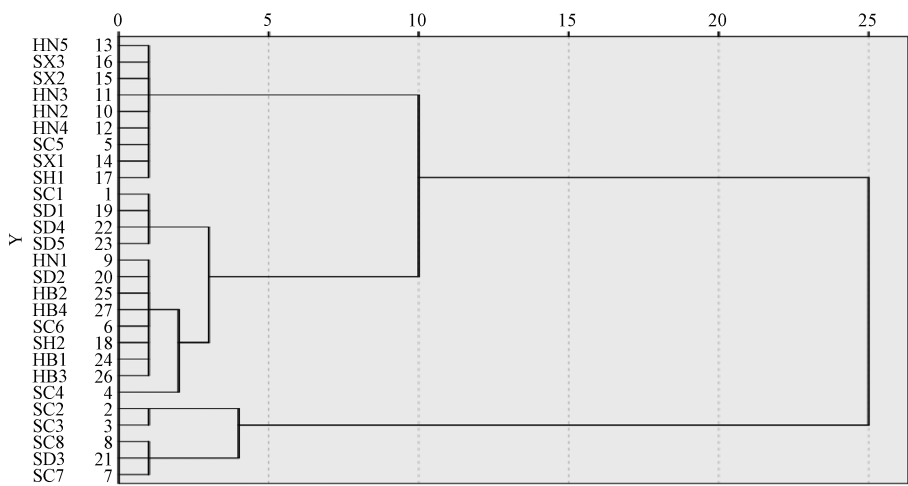


图 4 L* 聚类分析树状图

参考文献:

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020 年版一部 [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 77.

[2] 刘文泰. 本草汇精要 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1982: 338.

[3] 李时珍. 本草纲目 (校点本) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1795: 942.

[4] 卢之颐. 本草乘雅半偈 (校点本) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1986: 551.

[5] 肖培根. 新编中药志 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 767.

[6] 金世元. 金世元中药材传统经验鉴别 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2012: 79.

[7] 尉广飞, 李 翠, 刘 谦, 等. 丹参根部直径与其活性成分含量间的相关性研究 [J]. 中成药, 2015, 37 (8): 1780-1784.

[8] 尉广飞, 李 佳, 刘 谦, 等. 丹参根部颜色及其与活性成分含量的相关性研究 [J]. 山东农业科学, 2015, 47 (8): 59-62.

[9] 刘 伟, 周冰谦, 王 晓, 等. 丹参药材粉末色泽与有效成分含量的相关性 [J]. 中华中医药杂志, 2019, 34 (4): 1466-1470.

[10] 邓寒霜, 王新军. 丹参药材分级标准验证实验 [J]. 药学进展, 2006, 30 (1): 35-39.

[11] 刘 蕾, 李静怡. 不同等级及不同部位的丹参原药材中丹参酮Ⅱ_A 含量的考察 [J]. 中国药业, 2007, 16 (8): 32-33.

[12] 翁德会, 刘玉华, 付 敏, 等. 丹参药材分级与相关指标含量关系的探讨 [J]. 时珍国医国药, 2014, 25 (10): 2495-2497.

[13] 中华人民共和国卫生部, 国家医药管理局. 七十六种药材商品规格标准 [S]. 1984: 37-38.

[14] 何 昱, 成金乐, 徐吉银, 等. HPLC-DAD 同时测定丹参中原儿茶醛、丹酚酸 B、隐丹参酮、丹参酮Ⅱ_A 四种成分的含量 [J]. 世界科学技术 (中医药现代化), 2011, 13 (4): 688-692.

[15] 金樟照, 祝 明, 张文婷, 等. 不同产地丹参水溶性成分和脂溶性成分指纹图谱测定及相关性研究 [J]. 中草药, 2004, 35 (10): 1174-1177.

[16] 宋 嫻, 赵志刚, 郜舒蕊. 不同产地栽培与野生丹参药材品质评价 [J]. 中成药, 2014, 36 (5): 1026-1029.

[17] 黄 敏, 丁晓彦, 赵瀚年. 山东栽培丹参指纹图谱的研究 [J]. 食品与药品, 2011, 13 (11): 400-404.

[18] 李 垚, 杨德智, 苏 斌, 等. 超高效液相色谱法同时检测丹参中 14 种水溶性成分 [J]. 医药导报, 2019, 38 (12): 1624-1629.

[19] 东莎莎, 程素盼, 马天宇, 等. UPE-HILIC-DAD-ESI-TOF/MS 法测定山东产区丹参中丹酚酸类成分 [J]. 山东科学, 2019, 32 (5): 38-45.

[20] 刘春梅, 石 琪, 李 佩, 等. 丹参饮片分级与质量评价指标的现状分析 [J]. 湖北中医药大学学报, 2012, 14 (2): 66-68.

[21] 李 佩, 陈 斯, 胡慧芬, 等. 丹参饮片外观性状与丹酚酸 B 含量的关系探讨 [J]. 湖北中医药大学学报, 2014, 16 (4): 47-49.

[22] 王 芸, 陈军峰, 张 磊, 等. 基于“有效成分—性状”的关联分析评价丹参品质的研究 [J]. 世界科学技术 (中医药现代化), 2019, 21 (5): 835-843.