

# 基于色度分析原理的青黛有效成分含量与其色度值的相关性分析

刘娟汝, 刘晓梅, 刘雨诗, 刘红梅, 王晓雅, 张存艳, 郭力\*  
(成都中医药大学药学院, 西南道地药材协同创新中心, 中药资源系统研究与  
开发利用国家重点实验室, 成都 611137)

**[摘要]** **目的:** 研究青黛粉末外观颜色及其提取液颜色与靛蓝、靛玉红含量的相关性。**方法:** 采用 HPLC 法测定 27 批青黛中靛蓝、靛玉红的含量, 采用分光测色仪测定青黛粉末及提取液的色度值  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 。运用 SPSS 20.0 软件对青黛有效成分含量与其色度值进行相关性及多元线性回归分析。**结果:** 感官评定青黛粉末外观颜色结果表明, 随着粉末颜色加深, 分光测色仪测定粉末和提取液的明亮度 ( $L^*$ ) 降低、红-绿色度 ( $a^*$ ) 升高。相关性分析表明, 靛蓝含量与青黛粉末  $L^*$  呈负相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数为  $-0.520$ ; 与  $a^*$  呈正相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数为  $0.567$ 。靛玉红含量与青黛粉末、提取液的  $L^*$  呈负相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数分别为  $-0.635$ ,  $-0.580$ ; 与  $a^*$  呈正相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数分别为  $0.706$ ,  $0.493$ 。**结论:** 青黛粉末外观颜色较深者, 其靛蓝、靛玉红含量较高; 青黛粉末  $L^*$ ,  $a^*$  与靛蓝、靛玉红含量的相关性比提取液的相关性大; 青黛粉末颜色与靛蓝、靛玉红含量具有显著相关性, 为青黛快速鉴别方法提供参考依据; 采用分光测色仪测定青黛色度值的方法具有稳定性、科学性和可靠性。

**[关键词]** 青黛; 有效成分; 色度分析; 分光测色仪

**[中图分类号]** R284.2; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)23-0165-06

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20191811

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20190611.1631.001.html>

**[网络出版时间]** 2019-06-12 9:18

## Correlation Between Effective Components Content and Color Values of Indigo Naturalis Basde on Chromatometry

LIU Juan-ru, LIU Xiao-mei, LIU Yu-shi, LIU Hong-mei, WANG Xiao-ya, ZHANG Cun-yan, GUO Li\*  
(Southwest Genuine Medicinal Materials Collaborative Innovation Center, The State Key Laboratory of Resources Systems Research and Development Utilization of Traditional Chinese Medicine (TCM), College Pharmacy, Chengdu University of TCM, Chengdu 611137, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the correlation between the color of Indigo Naturalis (powder and its extracting solution) and effective components (indigo and indirubin) content. **Method:** The contents of indigo and indirubin in 27 batches of Indigo Naturalis were determined by HPLC, and the chromaticity values  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  of powder and extracting solution were determined by color colorimeter. SPSS 20.0 software was used to analyze the correlation and multiple linear regression between the content of active components and the chromaticity values of Indigo Naturalis. **Result:** By visual observing the appearance of the powder, we find that, as the powder color deepened, the brightness values ( $L^*$ ) of the powder and extract were decreased, while the red-green value ( $a^*$ ) were increased. The correlation analysis showed that the contents of indigo were negatively correlated with the

**[收稿日期]** 20181218(004)

**[基金项目]** 四川省青年科技创新研究团队专项计划项目(2017TD0001); 成都中医药大学中药学学科特色创新科研团队项目(CXTD2018012)

**[第一作者]** 刘娟汝, 在读硕士, 从事中药化学成分及质量标准化研究, E-mail: 1348404265@qq.com

**[通信作者]** \* 郭力, 博士, 教授, 从事中药化学成分及质量标准化研究, E-mail: gli64@sina.com

brightness value ( $L^*$ ) of the powder ( $P < 0.01$ ), and the correlation coefficient was  $-0.520$ , while they were positively correlated with the red-green value ( $a^*$ ) ( $P < 0.01$ ), and the correlation coefficient was  $0.567$ . The contents of indirubin were negatively correlated with the brightness value ( $L^*$ ) of powder and extract ( $P < 0.01$ ), and the correlation coefficients were  $-0.635$  and  $-0.580$ , respectively, while they were positive correlation with the red-green value ( $a^*$ ) ( $P < 0.01$ ), and the correlation coefficient were  $0.706$  and  $0.493$ , respectively.

**Conclusion:** The darker the powder color of Indigo Naturalis, the higher the content of indigo and indirubin. The  $L^*$  and  $a^*$  values of indigo powder were more correlated with indigo and indirubin content than with the extracting solution. The color of powder was significantly correlated with the content of indigo and indirubin, which provided reference for rapid identification of Indigo Naturalis. The method of measuring the color of Indigo Naturalis by color colorimeter is stable, scientific and reliable.

[**Key words**] Indigo Naturalis; effective components; color analysis; color colorimeter

青黛为爵床科植物马蓝、蓼科植物蓼蓝或十字花科植物菘蓝的叶或茎叶经加工制得的干燥粉末、团块或颗粒,具有清热解毒、清肝定惊、凉血消斑的功效。青黛作为一种传统中药,临床应用广泛,现代研究发现靛蓝、靛玉红是青黛主要的药效成分,尤其是靛玉红,具有抗肿瘤、改善银屑病、改善结肠炎等多种药理活性<sup>[1-3]</sup>。靛蓝、靛玉红同时也是青黛中的呈色物质,靛蓝与靛玉红互为同分异构体,靛蓝是最早作为一种青色色素被应用在染料行业,作为制青的原料,后发展为药用<sup>[4]</sup>;靛玉红为紫红色结晶。青黛炮制过程中,吡咯苷类物质经过水解、氧化后形成靛蓝、靛玉红,但受物种、制备工艺、产地、气候等因素的影响,各地所产青黛的颜色存在一定差异,《中国药典》规定青黛“为深蓝色粉末”,然而对于“深蓝色”的界定,目前并无统一、可量化的标准,主观差异较大。

色度分析是利用国际照明委员会(CIE)色度空间系统对颜色进行客观表达,利用  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值代表 3 个不同的坐标轴( $L^*$  代表明亮度,  $a^*$  代表红-绿色轴,  $b^*$  代表黄-蓝色轴),指示颜色在几何坐标轴中的位置,可用于快速在线检测<sup>[5]</sup>。药材的颜色是其有效成分等物质基础的外在体现,在药材品质评价中占据重要地位<sup>[6-8]</sup>。课题组前期研究发现,青黛存在大量掺伪现象,使得市场混乱,真假难辨<sup>[9]</sup>,因此,本研究采用  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  色度空间对青黛的颜色进行客观量化,探究靛蓝、靛玉红 2 种有效成分与青黛粉末、提取液颜色之间的相关性,以阐释青黛有效成分含量与颜色的相关性,为探索一种青黛快速鉴别的方法提供理论支持。

## 1 材料

青黛样品于成都市金牛区、新都区、青羊区、高新区、武侯区 20 余家药店及成都荷花池药材市场

采购,共计 27 批次,经成都中医药大学李敏教授鉴定为爵床科植物马蓝 *Baphicacanthus cusia*,蓼科植物蓼蓝 *Polygonum tinctorium*,十字花科植物菘蓝 *Isatis indigotica* 的叶或茎叶经加工制得的干燥粉末。

CM-5 型分光测色仪(日本柯尼卡美能达公司);1260 型高效液相色谱仪,1100 型高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司);UP-II-10T 型优普系列超纯水机(成都超纯科技有限公司);BP121S 型电子分析天平(德国赛多利斯有限公司)。

靛蓝、靛玉红对照品(成都曼斯特生物科技有限公司,批号分别为 MUST-18041401, MUST-18032610,纯度分别为 98.09% 98.36%);甲醇(Fisher Scientific 公司,色谱纯);甲醇,三氯甲烷, *N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)(成都科龙化工试剂厂,分析纯)。

## 2 方法

**2.1 青黛粉末外观颜色** 日光下,肉眼观察 27 批青黛样品的外观颜色,根据样品的颜色差异,将颜色分为浅蓝色(--)、蓝色(-)、深蓝色(+)和墨蓝色(++)。

### 2.2 靛蓝、靛玉红的含量测定<sup>[10-11]</sup>

**2.2.1 靛蓝的含量测定** 色谱条件:Comatex  $C_{18}$  色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5  $\mu$ m),流动相甲醇-水(75:25),流速 1.0 mL·min<sup>-1</sup>,检测波长 606 nm,柱温 25  $^{\circ}$ C,进样量 10  $\mu$ L。

对照品溶液的制备:取靛蓝对照品适量,精密称定,置 250 mL 量瓶中,加 2% 水合氯醛的三氯甲烷溶液(取水合氯醛,置硅胶干燥器中放置 24 h,称取 2.0 g,加三氯甲烷至 100 mL,放置,出现浑浊,以无水硫酸钠脱水,滤过,即得)约 220 mL,超声 1.5 h,放冷,加 2% 水合氯醛的三氯甲烷溶液至刻度,摇匀,得每 1 mL 中含靛蓝 9.92  $\mu$ g 的对照品溶液。

供试品溶液的制备:取青黛样品约 50 mg,精密称定,置 250 mL 量瓶中,加 2% 水合氯醛的三氯甲烷溶液约 220 mL,超声 30 min,放冷,加 2% 水合氯醛的三氯甲烷溶液至刻度,摇匀,滤过,取续滤液,即得。

**2.2.2 靛玉红的含量测定** 色谱条件:Comatex C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm),流动相甲醇-水(70:30),流速 1.0 mL·min<sup>-1</sup>,检测波长 292 nm,柱温 25 °C,进样量 10 μL。

对照品溶液的制备:取靛玉红对照品适量,精密称定,置 50 mL 量瓶中,加 DMF 约 45 mL,超声使溶解,放冷,加 DMF 至刻度,摇匀;精密量取 10 mL,置 100 mL 量瓶中,加 DMF 至刻度,摇匀,得每 1 mL 中含靛玉红 4.95 μg 的对照品溶液。

样品溶液的制备:取青黛样品约 50 mg,精密称定,置 25 mL 量瓶中,加 DMF 约 20 mL,超声 30 min,放冷,加 DMF 至刻度,摇匀,滤过,取续滤液,即得。

**2.3 样品的颜色测定** 采用分光测色仪测量 27 批青黛粉末及提取液的颜色。 $L^*$  代表明亮度, $L^*$  越大,明亮度越大,反之越小; $a^*$  代表红绿色度, $+a^*$  为红色方向,反之为绿色方向, $+a^*$  越大,则颜色越红,反之则颜色越绿; $b^*$  代表黄蓝色度, $+b^*$  为黄色方向,反之为蓝色方向, $+b^*$  越大,则颜色越黄,反之则颜色越蓝。

**2.3.1 测定条件** 测定光源 D65,照明系统排除镜面反射(SCE),测定试场 10° 视角,测试区域 30 mm,起止波长 360 ~ 740 nm。对仪器进行白板与黑板校正后,进行样品测定。

**2.3.2 青黛粉末的颜色测定** 取青黛粉末约 2 g 于测色皿中,均匀平铺于测色皿底部,按 2.3.1 项下条件进行测定,每组样品重复测定 3 次,取平均值。

**2.3.3 提取溶剂的选择** 青黛中无机成分占 90%,主要组分为碳酸钙,有机成分总含量约占 10%,且均为亲脂性成分,因此选择亲脂性溶剂对青黛进行提取。根据文献[11]报道和预试验现象,选择三氯甲烷,DMF 和甲醇 3 种溶剂进行考察。取同一青黛样品约 0.5 g,加入提取溶剂 10 mL,振摇,静置 30 min,过滤,取滤液,按 2.3.1 项下条件进行测定,重复测定 3 次,取平均值。

**2.3.4 取样量的选择** 分别取青黛粉末 0, 0.2, 0.5, 0.8, 1, 2 g 于具塞试管中,加入最佳提取溶剂 10 mL,振摇,静置 30 min,过滤,取滤液,按照 2.3.1 项下条件进行测定,重复测定 3 次,取平均值。

**2.3.5 提取液的颜色测定** 取青黛样品 0.5 g 于

具塞试管中,精密量取三氯甲烷溶液 10 mL,振摇,静置 30 min,过滤,按照 2.3.1 项下条件进行测定,重复测定 3 次,取平均值。

**2.4 精密度试验** 取同一青黛样品适量,分别按照 2.3.1 项下方法测定青黛粉末、提取液色度值,连续测定 6 次,结果显示 3 种测定方法的 RSD 均 < 1%,表明仪器精密度良好。

**2.5 重复性试验** 取同一青黛样品 6 份,分别按照 2.3.1 项下方法测定青黛粉末、提取液色度值,结果显示 3 种测定方法的 RSD 均 < 5%,表明该方法重复性较好。

**2.6 稳定性试验** 取同一青黛样品适量,制备青黛粉末、提取液样品,分别在 0, 30, 60, 120, 150, 180 min 后按照 2.3.1 项下方法测定,结果 3 种测定方法的 RSD 均 < 3%,表明供试品在 180 min 内稳定。

### 3 结果

**3.1 提取液的选择** 采用 DMF 提取青黛时, $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  均最小,说明 DMF 作提取溶剂时不利于色度值的检测;采用甲醇提取青黛时, $L^*$  值最大, $b^*$  值远远小于三氯甲烷,说明甲醇对青黛的蓝色成分提取不充分。采用三氯甲烷提取青黛时, $L^*$  适中, $a^*$ ,  $b^*$  值均最大,有利于色度值的识别,因此,选择三氯甲烷为提取溶剂。见图 1。

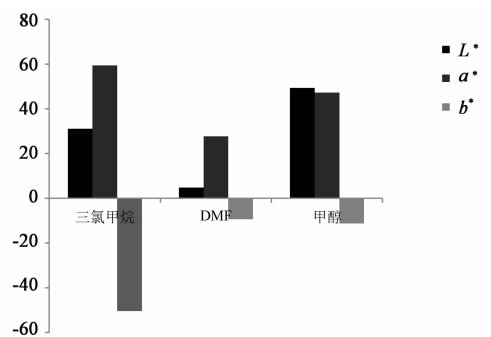


图 1 不同提取溶剂的色度值

Fig. 1 Color values of Naturalis Indigo in different extractant solvents

**3.2 取样量的选择** 随着取样量增加, $L^*$  值不断下降,在取样量为 1 g 时趋于稳定; $a^*$  值不断增加,在取样量为 0.5 g 时趋于稳定; $b^*$  值随着取样量增加呈现先降低后增加的趋势,在取样量为 0.5 g 时达到最小,即蓝色最深。说明取样量对  $b^*$  值影响最大,因此,综合考虑,选择 0.5 g 为最佳取样量。见图 2。

**3.3 青黛传统鉴别及色度值测量** 不同外观颜色

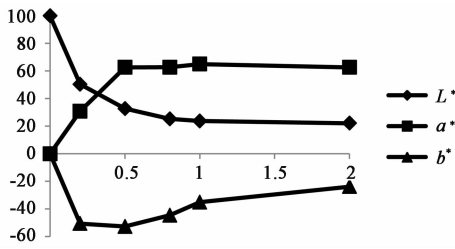


图 2 不同取样量的色度值比较

Fig. 2 Color values of different sample quantity

的青黛粉末,其色度值具有明显差异,在一定程度上,青黛粉末蓝色越深,则粉末与提取液的明亮度  $L^*$  越低,靛蓝、靛玉红的含量也越高。见表 1。

**3.4 相关性分析** 以  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值依次为自变量,靛蓝、靛玉红含量依次为因变量,用 SPSS 20.0 对青黛粉末、提取液的色度值与靛蓝、靛玉红的含量之间进行 Pearson 相关性分析,结果见表 2。

如表 2 所示,靛蓝含量与青黛粉末  $L^*$  值呈负相

表 1 青黛外观颜色及其色度值测量 ( $n=3$ )

Table 1 Appearance color of powder and color values of Indigo Naturalis ( $n=3$ )

No.	外观颜色	蓝色程度	青黛粉末			提取液			靛蓝 /%	靛玉红 /%
			$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$		
1	蓝色	-	43.55	-5.78	-7.79	39.36	49.06	-47.17	2.0	0.21
2	蓝色	-	43.12	-5.68	-7.32	45.31	41.92	-52.82	2.1	0.20
3	深蓝色	+	33.21	-5.05	-5.42	41.96	40.48	-46.82	2.0	0.23
4	深蓝色	+	31.74	-4.42	-4.75	37.18	45.86	-46.63	2.1	0.30
5	深蓝色	+	31.71	-4.53	-5.49	30.21	58.70	-42.75	3.1	0.37
6	深蓝色	+	30.02	-4.37	-4.17	41.62	39.81	-46.64	2.9	0.33
7	深蓝色	+	32.12	-4.46	-7.71	45.22	32.66	-47.83	3.1	0.29
8	深蓝色	+	32.32	-4.83	-5.18	40.15	42.42	-45.05	2.4	0.24
9	深蓝色	+	35.86	-5.28	-7.30	37.93	44.62	-40.91	2.8	0.24
10	深蓝色	+	32.64	-4.22	-8.70	31.08	60.59	-51.31	4.2	0.39
11	深蓝色	+	32.66	-4.47	-7.06	42.27	42.18	-49.63	3.0	0.28
12	深蓝色	+	36.43	-5.09	-5.06	38.03	51.32	-50.99	2.1	0.25
13	深蓝色	+	33.42	-4.71	-5.98	36.19	56.44	-55.73	2.5	0.31
14	深蓝色	+	31.76	-4.53	-5.40	35.48	51.61	-49.31	2.7	0.33
15	深蓝色	+	31.81	-4.44	-5.36	35.84	49.63	-46.42	2.7	0.34
16	深蓝色	+	37.20	-5.22	-5.75	38.75	50.41	-48.61	2.1	0.24
17	深蓝色	+	35.80	-5.17	-6.65	35.07	49.43	-47.72	2.2	0.21
18	深蓝色	+	31.34	-4.44	-6.20	38.74	49.19	-49.96	2.8	0.29
19	深蓝色	+	30.69	-4.27	-6.50	31.73	53.98	-46.54	3.4	0.34
20	深蓝色	+	35.11	-5.24	-6.93	38.28	41.53	-38.70	3.0	0.27
21	深蓝色	+	30.21	-4.45	-5.70	29.56	52.20	-41.17	3.0	0.33
22	深蓝色	+	35.85	-4.54	-4.57	37.98	46.73	-49.05	2.4	0.28
23	墨蓝色	++	28.14	-3.70	-6.89	37.42	55.44	-56.29	2.4	0.29
24	墨蓝色	++	30.23	-3.93	-6.05	40.84	49.00	-53.39	3.2	0.29
25	墨蓝色	++	30.23	-4.83	-5.17	36.82	39.27	-33.87	2.8	0.28
26	墨蓝色	++	29.00	-3.94	-3.78	35.10	51.77	-48.10	3.1	0.35
27	墨蓝色	++	29.01	-4.20	-9.56	53.00	28.78	-49.16	3.0	0.25

关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数为  $-0.520$ ; 与  $a^*$  值呈正相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数为  $0.567$ ; 与青黛粉末  $b^*$  值和提取液的色度值均无相关性 ( $P > 0.05$ )。

靛玉红含量与青黛粉末、提取液的  $L^*$  值呈负相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数分别为  $-0.635$ ,  $-0.580$ ; 与  $a^*$  值呈正相关 ( $P < 0.01$ ), 相关性系数分别为

表 2 青黛有效成分含量与色度值的相关系数 ( $n = 27$ )

Table 2 Correlation coefficient between content of effective component and color values ( $n = 27$ )

成分	青黛粉末			提取液		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
靛蓝	-0.520 <sup>2)</sup>	0.567 <sup>2)</sup>	-0.285	-0.263	0.159	0.117
靛玉红	-0.635 <sup>2)</sup>	0.706 <sup>2)</sup>	0.236	-0.580 <sup>2)</sup>	0.493 <sup>2)</sup>	0.014

注: <sup>1)</sup>  $P < 0.05$ , <sup>2)</sup>  $P < 0.01$ 。

0.706, 0.493; 与青黛粉末  $b^*$  值、提取液  $b^*$  值无相关性 ( $P > 0.05$ )。由此可以看出, 靛蓝、靛玉红含量与青黛粉末  $L^*$ ,  $a^*$  的相关性较提取液更大, 青黛粉末  $L^*$  值越小,  $a^*$  值越大, 靛蓝、靛玉红的含量则越高。

### 3.5 粉末色度值与有效成分含量回归方程的建立

由相关性分析得知, 靛蓝、靛玉红含量与青黛粉末色度值的相关性较大, 虽然黄-蓝色度值  $b^*$  与其相关性较小, 但是青黛的性状描述为“深蓝色粉末”,  $b^*$  值能体现青黛的蓝色程度, 因此以青黛粉末  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  值为自变量, 以靛蓝与靛玉红的含量依次为因变量, 采用 SPSS 20.0 对靛蓝、靛玉红的含量与青黛粉末色度值做回归分析。

由表 3 可知, 靛蓝、靛玉红含量与粉末  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  的  $R^2$  分别为 0.469, 0.519, 说明靛蓝、靛玉红的含量受色度值影响的程度分别为 46.9%, 51.9%。由方差分析可知, 色度值与靛蓝、靛玉红的回归方程  $P$  均  $< 0.01$ , 见表 4。因此认为回归方程均具有统计学意义, 回归方程见表 5。

表 3 色度值与靛蓝、靛玉红含量的回归分析

Table 3 Regression analysis between color value and content of indigo and indirubin

项目	靛蓝	靛玉红
$R$	0.685	0.721
$R^2$	0.469	0.519
调整 $R^2$	0.400	0.457
标准估计的误差	0.398 5	0.037 09

## 4 讨论与结论

色度分析法已被《中国药典》收录, 用于溶液颜色的检查, 但还未运用到中药材及其加工品中。近年来, 中药质量评价研究中逐渐引入色度分析技术, 例如广陈皮<sup>[12-13]</sup>、红花<sup>[14]</sup>、西红花<sup>[15]</sup>、栀子<sup>[6]</sup>、枸杞<sup>[16]</sup>、丹参<sup>[17]</sup>等, 研究发现中药材中有效成分含量与其粉末、断面或提取液等的色度值具有显著相关

表 4 色度值与靛蓝、靛玉红含量的方差分析

Table 4 Anova analysis between color values and the content of indigo and indirubin

成分	模型	平方和	$df$	均方	$F$	$P$
靛蓝	回归	3.227	3	1.076	6.774	0.002
	残差	3.652	23	0.159		
	总计	6.879	26			
靛玉红	回归	0.034	3	0.011	8.288	0.001
	残差	0.032	23	0.001		
	总计	0.066	26			

表 5 色度值与靛蓝、靛玉红含量的回归方程

Table 5 Regression equation of color value and content of indigo and indirubin

成分	回归方程
靛蓝	$Y_1 = -0.036L + 0.381a - 0.150b + 4.769$
靛玉红	$Y_2 = 0.000252L + 0.069a + 0.003b + 0.005$

注:  $Y_1$  为靛蓝的含量;  $Y_2$  为靛玉红的含量;  $L, a, b$  分别为青黛粉末的  $L^*, a^*, b^*$  值。

性。颜色是中药材的重要属性, 也是鉴别、检验和评价时必不可少的指标, 传统的经验鉴别虽然简便, 但说法不一, 易受主观因素影响, 利用色度分析技术可以对中药材及其加工的颜色实现数字化的转化, 使中药的质量评价更为便捷、客观, 为中药材及其加工品的快速鉴别提供一个新思路。

本研究通过肉眼观察粉末颜色、测定粉末的色度值发现, 青黛的颜色深浅程度与明亮度  $L^*$  有关, 青黛粉末颜色越深, 明亮度  $L^*$  越小, 提示可以通过青黛粉末的色度值把模糊的主观判断进行量化, 使判断结果更加客观科学。通过对靛蓝、靛玉红含量与青黛粉末、提取液色度值的相关性进行分析后发现, 靛蓝、靛玉红含量与明亮度  $L^*$ , 红-绿色度值  $a^*$  的相关性较大, 且与粉末色度值的相关性大于与提取液色度值的相关性, 靛蓝、靛玉红与青黛粉末的  $L^*$  值呈负相关, 与  $a^*$  呈正相关,  $L^*$  值越小,  $a^*$  值越大, 则靛蓝、靛玉红的含量越高。通过回归分析发现, 靛蓝、靛玉红的含量与青黛粉末的色度值所构成的回归方程具有统计学意义, 提示可以通过青黛粉末的色度值推断青黛的有效成分含量, 为建立青黛快速、简便的质量评价方法提供参考。

研究表明, 当青黛的工艺条件出现差异时, 会造成靛蓝、靛玉红的含量不同, 在高温、富氧、升高 pH 的条件下, 有利于靛玉红的生成, 而定向生成靛蓝则需要控制温度、氧气, 并且降低 pH<sup>[4]</sup>。靛蓝、靛玉红

的这种含量差异在青黛的色度值上也会体现出来。本研究只对市售青黛进行了色度与含量的相关分析,课题组下一步还将对不同制备工艺、不同原材料制备的青黛粉末进行色度分析,探究色度值与含量的相关性,为以青黛色度值作为质量评价体系提供更多的证据。

[参考文献]

[ 1 ] LI Z H, ZHU C F, AN B P, et al. Indirubin inhibits cell proliferation, migration, invasion and angiogenesis in tumor-derived endothelial cells [ J ]. *Onco Targets Therapy*, 2018, 11 : 2937-2944.

[ 2 ] XIE X J, DI T T, WANG Y, et al. Indirubin ameliorates imiquimod-induced psoriasis-like skin lesions in mice by inhibiting inflammatory responses mediated by IL-17A-producing gamma delta T cells [ J ]. *Mol Immunol*, 2018, 101 : 386-395.

[ 3 ] Tokuyasu N, Shomori K, Amano K, et al. Indirubin, a constituent of the Chinese Herbal medicine Qing-Dai, attenuates dextran sulfate sodium-induced murine colitis [ J ]. *Yonago Acta Med*, 2018, 61 ( 2 ) : 128-136.

[ 4 ] 刘泽玉. 青黛炮制过程中原理与工艺的优化研究 [ D ]. 成都: 成都中医药大学, 2011.

[ 5 ] 何晓凤, 王露露, 张晶. 基于色度学原理的颜色分析方法在药物研究领域的应用概况 [ J ]. *药物分析杂志*, 2018, 38 ( 9 ) : 1471-1475.

[ 6 ] 裴建国, 刘婧, 付小梅, 等. 不同采收期栀子颜色与其 3 类有效成分相关性研究 [ J ]. *中药材*, 2017, 40 ( 10 ) : 2280-2285.

[ 7 ] 马婷婷, 龚慕辛, 王智民, 等. 甘草色泽与有效成分含量的相关性研究 [ J ]. *中国中药杂志*, 2017, 42 ( 19 ) : 3776-3785.

[ 8 ] 徐曼菲, 吴志生, 刘晓娜, 等. 从辨色论质谈中药质量评价方法 [ J ]. *中国中药杂志*, 2016, 41 ( 2 ) : 177-181.

[ 9 ] 姚志昂. 青黛的质量考察与掺伪研究 [ D ]. 成都: 成都中医药大学, 2011.

[ 10 ] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部 [ M ]. 北京: 中国医药科技社, 2015: 199.

[ 11 ] 王艳. 青黛的化学成分及其结构特征的研究 [ D ]. 成都: 四川大学, 2004.

[ 12 ] 王光宁, 何瑞瑜, 陈天娇, 等. 广陈皮的外观颜色客观量化及其陈化年份判别模型的建立 [ J ]. *中国实验方剂学杂志*, 2018, 24 ( 22 ) : 22-27.

[ 13 ] 王智磊, 伍清芳, 刘素娟, 等. 基于色度分析原理的广陈皮贮藏年限判别 [ J ]. *天然产物研究与开发*, 2017, 29 ( 8 ) : 1355-1361.

[ 14 ] 徐红霞, 吴沂芸, 裴瑾, 等. 红花黄酮类成分与其色度值相关性研究 [ J ]. *中药材*, 2018, 41 ( 1 ) : 49-54.

[ 15 ] 胡静, 唐小慧, 饶桦静, 等. 西红花色泽与化学成分含量的相关性分析. *中药材*, 2018, 41 ( 8 ) : 1918-1922.

[ 16 ] 杨丽, 陈鸿平, 李雪莲, 等. 不同“变色”程度枸杞子外观颜色表征与内在色素类成分变化相关性 [ J ]. *中国实验方剂学杂志*, 2015, 21 ( 8 ) : 47-50.

[ 17 ] 王海, 严铸云, 沈昱翔, 等. 丹参药材的颜色特征与有效成分的相关性研究 [ J ]. *中药新药与临床药理*, 2014, 25 ( 3 ) : 333-338.

[责任编辑 顾雪竹]