

色空间法结合化学计量学研究麦麸含水量、粒径及其用量对麸炒山药外观颜色的影响

丁宁¹, 任榕霞², 王杨¹, 崔伟亮³, 张磊¹, 李慧芬^{1*}

1. 山东中医药大学, 山东 济南 250355

2. 济南市企业技术进步促进中心, 山东 济南 250102

3. 山东省食品药品检验研究院, 山东 济南 250101

摘要:目的 以色空间法结合化学计量学研究麦麸对麸炒山药外观颜色的影响, 为中药炮制辅料麦麸质量标准的制定和麸炒炮制工艺的优选提供依据。方法 以不同含水量(ω)、不同粒径(Φ)的麦麸为辅料以及加入不同用量(n)的麦麸, 分别制备麸炒山药。采用色差仪测定麸炒山药外观色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 及总色度值 E_{ab}^* [L^* 为亮度, a^* 为红绿色度值, b^* 为黄蓝色度值, $E_{ab}^*=(L^{*2}+a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$], 采用 SIMCA 14.1 和 SPSS statistics 26 对麸炒山药外观色度值进行数据分析。结果 麦麸含水量主要影响麸炒山药外观色度值 a^* , 含水量越大, a^* 值越小; 麦麸粒径主要影响麸炒山药外观色度值 L^* , 粒径越细, L^* 值越分散; 麦麸用量则主要影响麸炒山药外观色度值 a^* 、 b^* , 每 100 g 山药用麦麸 5~20 g, 麦麸用量越大, a^* 、 b^* 值越大。合适规格麦麸炮制的麸炒山药外观色度值及总色度值范围分别为 $81.09 \leq E_{ab}^* < 90.12$ 。基于色度值的麦麸规格参数非标准化判别函数式分别为 $\omega=0.688 L^*+1.264 a^*-0.872 b^*-18.113$, $\Phi=0.058 L^*+0.049 a^*-3.696$, $n=0.346 L^*+0.867 a^*-24.666$ 。结论 麦麸含水量 $<25\%$, 粒径 10~50 目, 每 100 g 山药饮片用麦麸 10~15 g, 炮制出的麸炒山药饮片符合《中国药典》2020 年版性状要求。过于潮湿、粒径过细及麦麸用量过大或过小均难以满足麸炒山药的外观颜色要求。

关键词: 麦麸; 含水量; 粒径; 用量; 麸炒山药; 色度值; 化学计量学; 色空间法

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2023)19-6286-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2023.19.010

Effect of moisture content, particle size and dosage of wheat bran on appearance color of stir-fried *Dioscoreae Rhizoma* by color space method with chemometrics

DING Ning¹, REN Rong-xia², WANG Yang¹, CUI Wei-liang³, ZHANG Lei¹, LI Hui-fen¹

1. Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China

2. Jinan Center for Advancement of Enterprise Technology, Jinan 250102, China

3. Shandong Institute for Food and Drug Control, Jinan 250101, China

Abstract: Objective To study the effects of wheat bran on the color of stir-fried Shanyao (*Dioscoreae Rhizoma*, DR, Chinese yam) with wheat bran (sDRwb) by color space method and chemometrics, so as to provide the basis for the formulation of the quality standard of wheat bran and the optimization of the stir-fried processing technology with wheat bran. **Methods** Stir-fried *Dioscoreae Rhizoma* was prepared by adding wheat bran with different amounts (n), different moisture content (ω) and particle size (Φ) as excipients. The color difference meter was used to determine the appearance chroma value L^* , a^* , b^* and the total chroma value E_{ab}^* [L^* is the brightness, a^* is the red-green degree value, b^* is the yellow-blue degree value, $E_{ab}^*=(L^{*2}+a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$]. SIMCA 14.1 and SPSS statistics 26 were used to analyze the appearance chroma value of sDRwb. **Results** The moisture content of wheat bran mainly affected the appearance chroma value a^* , and the higher the moisture content was, the smaller the a^* value was. The particle size of wheat bran mainly affected the appearance chroma value L^* , and the smaller the particle size was, the more dispersed the L^* value was. The amount of wheat bran mainly affected the appearance chroma value a^* and b^* . Within the range of 5—20 g wheat bran/100 g DR, the higher the amount of

收稿日期: 2023-03-24

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2021CXGC010511); 国中医药科技中药函[2022]59号; 山东中医药大学2022年教育教学研究课题(ZYY2022019)

作者简介: 丁宁(1998—), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 研究方向为中药新药研发与炮制原理研究。E-mail: dn0716@126.com

*通信作者: 李慧芬(1979—), 女, 副教授, 从事中药新药研发与炮制原理研究。E-mail: lhfen007@126.com

wheat bran was, the higher the value of a^* and b^* was. The range of appearance chroma value and total chroma value of sDRwb processed with wheat bran of suitable specification were $81.09 \leq E_{ab}^* < 90.12$. The discriminant functions of non-standardized wheat bran specification parameters based on chroma values were $\omega = 0.688 L^* + 1.264 a^* - 0.872 b^* - 18.113$, $\Phi = 0.058 L^* + 0.049 a^* - 3.696$, $n = 0.346 L^* + 0.867 a^* - 24.666$, respectively. **Conclusion** The water content of wheat bran is less than 25%, the grain size is 10—50 mesh, 10—15 g of wheat bran is added into every 100 g of raw Chinese yam decoction pieces, and the concocted stir-fried *Dioscoreae Rhizoma* decoction pieces meet the requirements of *Chinese Pharmacopoeia*.

Key words: wheat bran; moisture content; particle size; amounts; stir-fried *Dioscoreae Rhizoma*; chrominance value; chemometrics; color space method

中药炮制辅料是指在中药炮制过程中,除主药以外所加入的具有辅助作用的附加物料,它对主药可起协调作用^[1]。麦麸为禾本科植物小麦经磨粉过筛后的种皮,是中药炮制中常用的辅料^[2]。以麦麸炮制能缓和药物的燥性,增强疗效,除去药物不良气味,使药物色泽均匀一致^[3-5]。邓旭坤等^[6]和容艳芬^[7]分别研究了麦麸粒径对麸炒山药和麸炒白术外观性状的影响,发现麦麸粒径越小,其在锅中冒浓烟的时间越短,炮制品越容易出现糊化、粘片和焦化。吴慧等^[8]考察了麦麸粒径及含水量对麸炒白术外观性状及白术内酯含量的影响,发现麦麸粒径越小、含水量越高,炮制品外观颜色越差,且内在质量也降低。已有的研究表明,麦麸的粒径和含水量对麸炒饮片外观的影响显著,但均采用主观性状描述的方式进行评判,未能进行客观评价。

根据国际照明委员会(International Commission on Illumination, CIE)色空间的色彩模型(Lab)原理,色差仪可对物体的颜色数据进行坐标式量化,通过输出 L^* 、 a^* 、 b^* 3 组数据(L^* 为亮度, a^* 为红绿色度值, b^* 为黄蓝色度值),构建被测量物品的色度坐标^[9-11],在中药材的采收^[12-13]、基原鉴别^[14-15]、质量评价^[16-17]、真伪判断^[18-19]、炮制加工^[20]等中药研究方面均有应用,但并未检索到此技术在中药炮制辅料质量差异研究中的应用。

本课题组前期采用色差仪对麸炒山药、酒白芍、熟地黄等中药饮片及其粉末进行外观颜色的客观化评价,不仅丰富了中药饮片质量评价体系,还为优化中药最佳炮制工艺提供了参考^[21-23]。但未检索到采用色差仪研究中药炮制辅料对饮片外观颜色影响的文献。

本实验以山药为例,采用色空间技术结合化学计量学方法,研究麦麸含水量(ω)、粒径(Φ)及其用量(n)对药物外观颜色的影响,为中药炮制辅料麦麸质量标准的制定和麸炒炮制工艺的优选提供依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

3nh-NH300 型色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;QE-400 型粉碎机,浙江屹立工贸有限公司;FA1204B 型万分之一天平,上海天美天平仪器有限公司;SUPOR C22-CS03 型电陶炉,浙江苏泊尔家电制造有限公司;Smart AS872 型红外测温仪,东莞万创电子制品有限公司。

1.2 材料

山药饮片,批号 2202090111,亳州市沪谯药业有限公司,经山东中医药大学中药鉴定教研室李峰教授鉴定,为薯蓣科薯蓣属植物薯蓣 *Dioscorea opposita* Thunb. 的干燥根茎切制的厚片(厚度 2~4 mm)。麦麸,批号 201007,山东百味堂中药饮片有限公司,含水量为 10.0%,经山东中医药大学中药鉴定教研室李峰教授鉴定,为禾本科小麦属植物小麦 *Triticum aestivum* L. 的种皮。

2 方法与结果

2.1 不同含水量麦麸及其炒制的麸炒山药饮片以及清炒山药饮片的制备

2.1.1 不同含水量麦麸的制备 取麦麸(过筛 10~24 目)分为 4 组,喷洒一定量的水,得到 4 组麦麸,含水量分别为 10.0%、15.0%、25.0%、35.0%,密封冷冻保存。

2.1.2 麸炒山药对照饮片的制备 根据《中国药典》2020 年版通则 0213 麸炒法炒制:锅预热后加入 10 g 麦麸,待起烟后投入 100 g 山药饮片,以 400 °C 炒制 1 min。邀请 3 名有经验的中药炮制专家参与外观性状和颜色的判断和描述,一致认为图 1-c 中的饮片颜色符合《中国药典》2020 年版^[24]中对于麸炒山药的炮制程度描述,并以此作为本研究的对照饮片。

2.1.3 不同含水量麦麸炒制的麸炒山药饮片的制备 取山药饮片 4 组,每组 100 g,分别投入不同含水量的麦麸 10 g,按“2.1.2”项下麸炒山药对照饮片的

炮制工艺, 得到4组不同含水量麦麸炒制的麸炒山药饮片(A~D)。代表性饮片外观见图2。

2.1.4 清炒山药饮片的制备 根据麸炒山药的炮制工艺(400 °C炒制1 min)不加麦麸进行炒制, 代表性饮片外观见图1-b。

2.2 不同粒径麦麸及其炒制的麸炒山药饮片的制备

2.2.1 不同粒径麦麸的制备 取麦麸(含水量10.0%)粉碎, 分别过筛10~24目、24~50目、50~65目、>65目。

2.2.2 不同粒径麦麸炒制的麸炒山药饮片的制备 取山药饮片4组, 每组100 g, 分别投入不同粒径的麦麸10 g, 按“2.1.2”项下麸炒山药对照饮片的炮制工艺, 得到4组不同粒径麦麸炒制的麸炒山药饮片(E~H)。代表性饮片外观见图3。

2.3 不同用量麦麸炒制的麸炒山药饮片的制备

取山药饮片4组, 每组100 g, 分别投入含水量为10.0%、过筛10~24目的麦麸5、10、15、20 g, 按“2.1.2”项下麸炒山药对照饮片的炮制工艺, 得

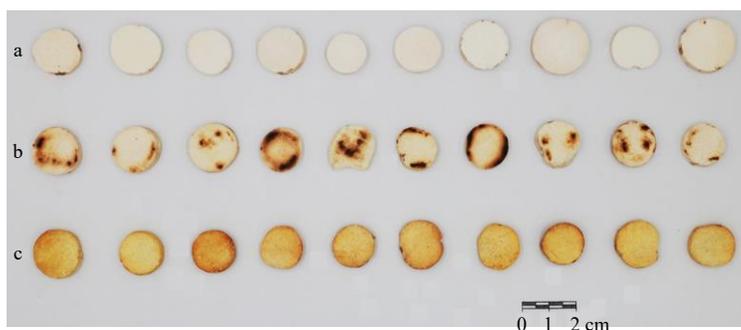


图1 山药饮片(a)、清炒山药饮片(b)、麸炒山药对照饮片(c)

Fig. 1 *Dioscoreae Rhizoma* (DR, a), stir-fried DR (b) and stir-fried DR with wheat bran (sDRwb) control decoction pieces (c)

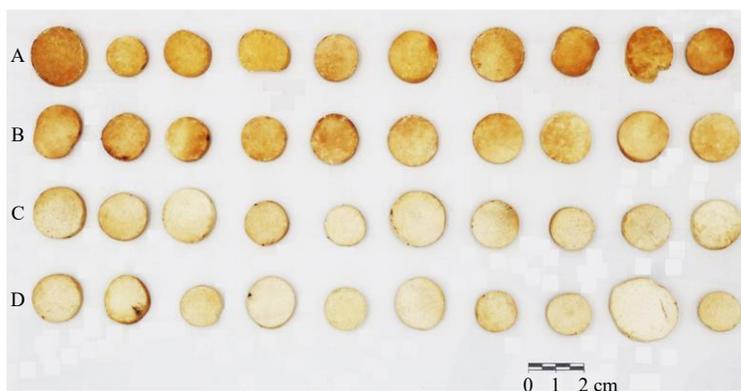


图2 10.0% (A)、15.0% (B)、25.0% (C)、35.0% (D) 含水量的麦麸炒制的麸炒山药饮片

Fig. 2 Stir-fried DR decoction pieces with wheat bran with 10.0% (A), 15.0% (B), 25.0% (C), 35.0% (D) moisture content

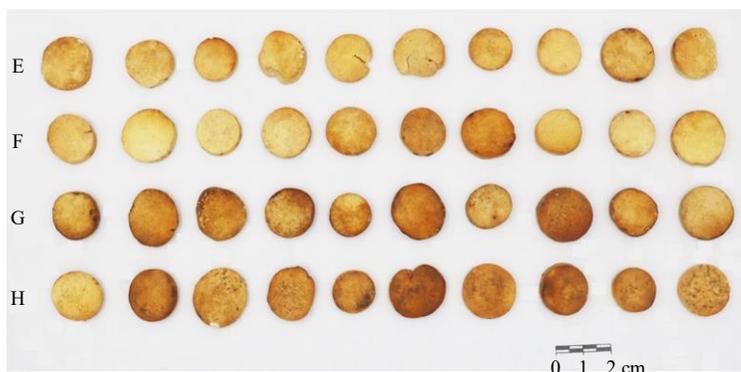


图3 10~24目(E)、24~50目(F)、50~65目(G)、>65目(H)粒径的麦麸炒制的麸炒山药饮片

Fig. 3 Stir-fried DR decoction pieces with wheat bran with 10—24 mesh (E), 24—50 mesh (F), 50—65 mesh (G), > 65 mesh (H) particle sizes

到 4 组不同用量麦麸炒制的麸炒山药饮片 (I~L)。代表性饮片外观见图 4。

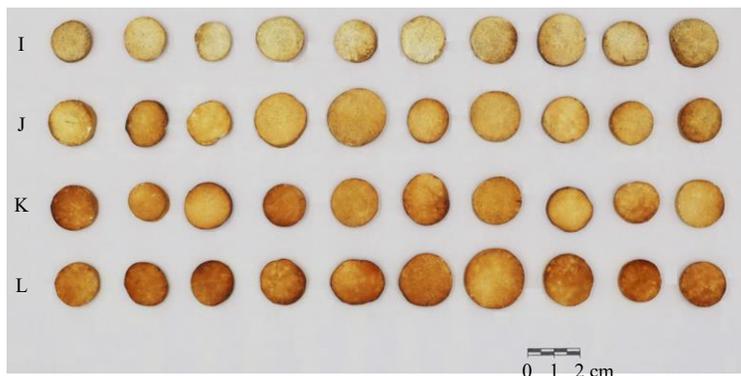


图 4 5 g (I)、10 g (J)、15 g (K)、20 g (L) 麦麸炒制的麸炒山药饮片

Fig. 4 Stir-fried DR decoction pieces with 5 g (I), 10 g (J), 15 g (K), 20 g (L) wheat bran

含光方式为包含镜面正反射光 (specular component include, SCI)。

2.4.2 色差仪方法学考察 取 1 片麸炒山药饮片平铺于色差仪测试口处, 连续测定 10 次, 分别计算 L^* 、 a^* 、 b^* 值的 RSD, 验证其精密性, 结果 $RSD < 3.0\%$, 表明仪器精密性良好; 取 10 片颜色相近的麸炒山药饮片平铺于色差仪测试口处, 分别计算 L^* 、 a^* 、 b^* 值的 RSD, 验证其重复性, 结果 $RSD < 3.0\%$, 表明仪器重复性良好。

2.4.3 色度值测定 每组麸炒山药饮片均随机取 10 片, 平铺于色差仪测试口平整处, 扫描测定其切面颜色, 每片扫描 3 次取平均值, 测定麸炒山药外观色度值 L^* 、 a^* 、 b^* , 并计算样品总色度值 [E_{ab}^* , $E_{ab}^* = (L^{*2} + a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$], 取每组平均值, 结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。并分别将各组数据导入 SPSS statistics 26 软件进行参考值范围的计算。

2.5 数据分析

2.5.1 主成分分析 (principal component analysis, PCA) 将色差仪测得的各组麸炒山药外观色度值分别导入 SIMCA 14.1 软件进行 PCA。

2.5.2 非标准化典则判别函数式分析 将麦麸含水量 (ω)、麦麸粒径 (Φ)、麦麸量 (n) 数据作为因变量, 麸炒山药外观色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 作为自变量, 导入 SPSS statistics 26 软件进行显著性差异分析, 并将 L^* 、 a^* 、 b^* 数值对 ω 、 Φ 、 n 进行线性分析。

2.6 山药、清炒山药、麸炒山药对照饮片的色度值测定结果

按“2.4.3”项下方法对山药、清炒山药、麸炒山药对照饮片进行外观色度值测定, 结果见表 1。将数据导入 SPSS statistics 26 软件进行显著性差异

2.4 样品色度值的测定

2.4.1 测定条件 主光源为 D65, 测量口径 8 mm,

表 1 山药、清炒山药、麸炒山药对照饮片外观色度值测定结果 ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

Table 1 Appearance chrominance value determination results of DR, stir-fried DR, and stir-fried DR with wheat bran (sDRwb) decoction pieces ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

样品	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
山药	91.94 ± 1.11	1.66 ± 0.56	8.48 ± 1.73	92.37 ± 1.01
清炒山药	80.24 ± 7.73	6.31 ± 2.54	21.24 ± 4.64	83.53 ± 6.32
麸炒山药	73.23 ± 3.61	10.52 ± 3.00	41.54 ± 1.76	84.94 ± 3.01

分析, 山药与清炒山药、山药与麸炒山药、清炒山药与麸炒山药的 L^* 、 a^* 、 b^* 色差值均具有显著性差异 ($P < 0.01$)。

2.7 麦麸不同含水量对山药外观颜色影响的考察结果

2.7.1 色度值测定结果 按“2.4.3”项下方法对不同含水量麦麸炒制的麸炒山药饮片进行外观色度值测定, 结果见表 2。与“2.6”项中麸炒山药对照饮片色度值对比, 含水量为 10% 麦麸炮制的饮片最为

表 2 不同含水量对麦麸炒制的麸炒山药色度值测定结果 ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

Table 2 Chroma value determination results of DR stir-fried by wheat bran with different moisture contents ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

麦麸含水量/%	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
10.0	70.99 ± 2.93	14.22 ± 2.19	39.00 ± 2.85	82.28 ± 2.04
15.0	79.07 ± 2.82 [#]	9.70 ± 3.88	39.72 ± 5.25	89.10 ± 2.51 ^{##}
25.0	84.41 ± 3.75 ^{###}	4.09 ± 2.55 ^{###}	23.75 ± 5.85 ^{###}	87.85 ± 2.85
35.0	85.00 ± 4.67 ^{###}	3.83 ± 2.02 ^{###}	24.21 ± 5.61 ^{###}	88.57 ± 2.51

与麸炒山药对照饮片比较: [#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$

[#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$ vs sDRwb control decoction pieces

接近。麦麸含水量由 10% 增加到 25% 时，麸炒山药饮片外观色度值 L^* (亮度) 增大， a^* (红-绿色度值) 减小， b^* (黄-蓝色度值) 变化无显著性差异。表明当麦麸含水量不超过 25% 时，麦麸含水量越高，麸炒山药饮片外观颜色越亮，红色逐渐变浅。含水量由 25% 增加到 35% 时，麸炒山药外观色度值及总色度值变化无显著性差异。

2.7.2 PCA 将外观色度值导入 SIMCA 14.1 软件进行 PCA，样品色度值聚类情况见图 5。可以看出

各组麸炒山药外观色度值分布在 3 个不同的区域，表明麦麸含水量为 10.0%、15.0% 和 25.0% 时麸炒山药饮片切面颜色的区分度良好；麦麸含水量为 25.0% 和 35.0% 时，麸炒山药饮片切面颜色基本重叠在一起，说明麦麸含水量超过 25.0% 时，饮片的切面颜色变化不大。导致这一结果的原因可能是由于麦麸含水量过高，投入锅内后无法快速焦化而导致产生烟气不足，难以达到麸炒的目的。因此，建议作为炮制辅料的麦麸含水量不宜超过 25.0%。

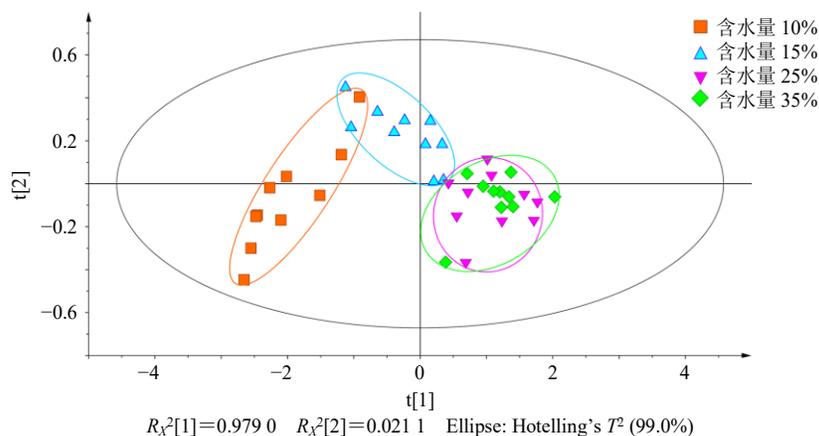


图 5 不同含水量麦麸炒制的麸炒山药 L^* 、 a^* 、 b^* 值的 PCA 图

Fig. 5 PCA of L^* , a^* and b^* values of DR stir-fried by wheat bran with different moisture contents

2.8 不同粒径麦麸对山药外观颜色影响的考察结果

2.8.1 色度值的测定 按“2.4.3”项下方法对不同粒径麦麸炒制的麸炒山药饮片进行外观色度值测定，结果见表 3。与“2.6”项中麸炒山药对照饮片色度值对比，粒径为 10~24 目、24~50 目麦麸炮制的麸炒山药饮片最为接近。麦麸粒径为 10~24 目、24~50 目的麸炒山药饮片外观色度值 L^* (亮度) 明显大于麦麸粒径为 50~65 目及 >65 目的饮片，表明由麦麸粒径为 10~50 目的麦麸炒制的麸表 3 不同麦麸粒径对炒制的麸炒山药外观色度值测定结果 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 3 Chroma value determination results of DR stir-fried by wheat bran with different particle sizes ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

麦麸粒径/目	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
10~24	71.92 ± 1.93	13.51 ± 0.63 ^{##}	42.11 ± 1.71	84.45 ± 1.91
24~50	74.46 ± 3.80	12.04 ± 1.31	41.94 ± 3.55	86.42 ± 2.97
50~65	64.76 ± 4.88 ^{##}	14.93 ± 1.57 ^{##}	42.41 ± 3.00	78.99 ± 3.29 ^{##}
>65	61.15 ± 7.29 ^{##}	15.08 ± 1.45 ^{##}	37.69 ± 3.52 ^{##}	73.48 ± 7.49 ^{##}

与麸炒山药对照饮片比较：^{##} $P < 0.01$

^{###} $P < 0.01$ vs sDRwb control decoction pieces

炒山药饮片明显亮于麦麸粒径 > 50 的麦麸炒制的麸炒山药饮片；饮片的 a^* (红-绿色度值)、 b^* (黄-蓝色度值) 变化不明显，表明麦麸粒径的变化对饮片外观的红绿色及黄蓝色影响不大。另外，每组内外观色度值 L^* (亮度) 的标准差随麦麸粒径的减小而显著增加，表明麦麸粒径越小，组内饮片的明暗度越不均匀。

2.8.2 PCA 将色度值导入 SIMCA 14.1 软件进行 PCA，样品外观色度值聚类情况见图 6。由图 6 可知，各组的麸炒山药饮片分布的区域相互重叠，切面颜色的区分度不明显，说明麦麸粒径的变化对饮片的颜色影响不明显。麦麸粒径为 10~24 目时饮片颜色均匀度相对集中，随着麦麸粒径的减小，饮片颜色离散度逐渐增大，表明饮片颜色的均匀度降低。可能是因为麦麸粒径越小，越容易糊化粘片，致使饮片颜色的均匀度变低。因此，建议作为炮制辅料的麦麸粒径不宜小于 24 目。

2.9 不同用量麦麸对山药外观颜色影响的考察结果

2.9.1 色度值的测定 按“2.4.3”项下方法对不同用量麦麸炒制的麸炒山药饮片进行外观色度值测定，结果见表 4。由表 4 可知，与“2.6”项中麸炒山药

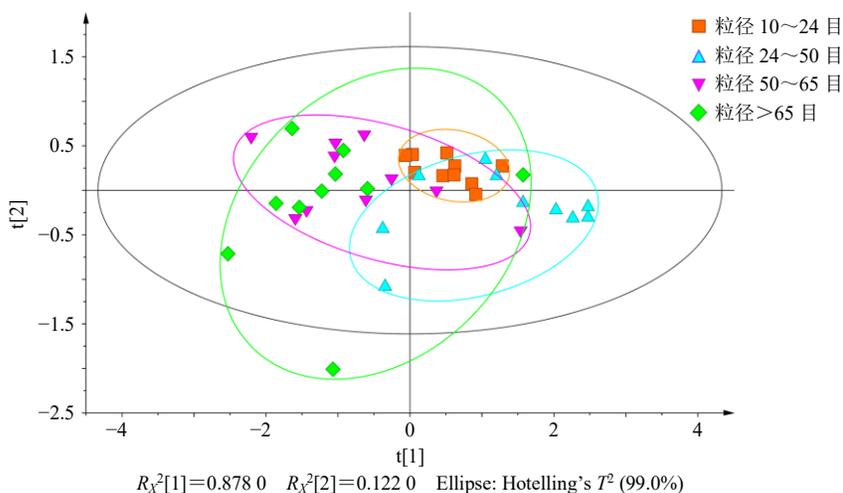


图6 不同粒径麦麸炒制的麸炒山药 L^* 、 a^* 、 b^* 值的PCA图

Fig. 6 PCA of L^* , a^* and b^* values of sDRwb by wheat bran with different particle sizes

表4 麦麸用量对麸炒山药外观色度值测定结果 ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

Table 4 Chroma value determination results of DR stirred by different dosages of wheat bran ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

麦麸用量/g	L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
5	77.89 ± 3.41 [#]	5.33 ± 1.79 ^{##}	28.70 ± 4.03 ^{###}	83.32 ± 2.59
10	76.09 ± 4.53	10.63 ± 2.35	41.58 ± 2.03	87.46 ± 3.42
15	73.35 ± 4.38	15.12 ± 3.10 [#]	47.86 ± 3.35 ^{##}	89.09 ± 1.69 ^{###}
20	67.54 ± 5.67 ^{###}	19.24 ± 2.98 ^{##}	52.27 ± 2.12 ^{##}	87.76 ± 2.77

与麸炒山药对照饮片比较: [#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$

[#] $P < 0.05$ ^{##} $P < 0.01$ vs sDRwb control decoction pieces

对照饮片色度值对比, 麦麸用量为 10 g 和 15 g 的麸炒山药饮片最为接近。麦麸用量由 5 g 增至 20 g 时, 麸炒山药饮片切面外观色度值 L^* (亮度) 减小, 表明随着麦麸用量的增加, 麸炒山药切面的亮度逐渐变暗; 饮片色度值 a^* (红-绿色度值) 显著增加, 表明麦麸用量越大, 饮片颜色越红; 饮片色度值 b^* (黄-蓝色度值) 显著增加, 表明麦麸用量越大, 饮片颜色越黄。

2.9.2 PCA 将色度值导入 SIMCA 14.1 软件进行 PCA, 样品外观色度值聚类情况见图 7。由图 7 可知, 不同样品的色度值基本分布在 4 个区域, 表明

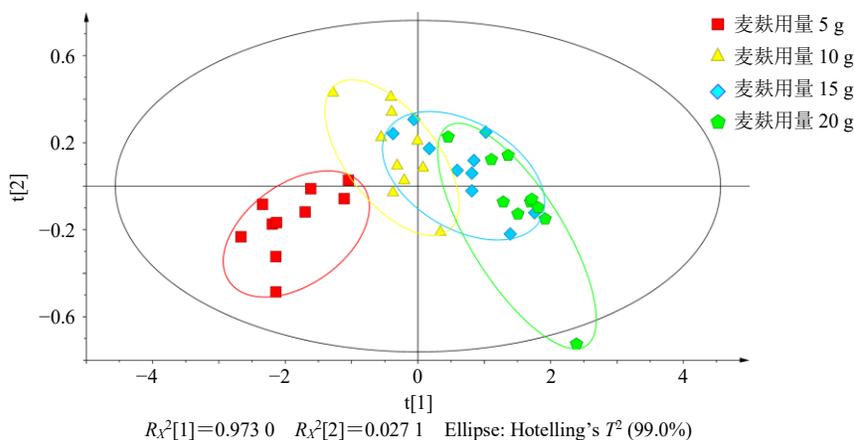


图7 不同麦麸量炒制的麸炒山药 L^* 、 a^* 、 b^* 值的PCA图

Fig. 7 PCA of L^* , a^* and b^* values of of sDRwb by different dosages of wheat bran

麦麸用量的不同导致麸炒山药饮片外观颜色存在差异。但麦麸用量为 15、20 g 时, 颜色范围存在明显交集, 表明麦麸用量超过 15 g 时, 饮片外观颜色将不再发生明显变化。麦麸量为 5 g 时, 麸炒山药颜色范围与其余各组均无交集, 同时, 实验中发现该

组饮片相较其余各组颜色明显偏淡, 且饮片表面粘附一定量的焦糊麦麸, 推测可能是由于麦麸用量太少导致麦麸投入锅中迅速炭化从而粘附到饮片表面, 同时, 因为麦麸量过少产生的烟气少, 导致麸炒山药的颜色偏淡且暗。因此, 建议麸炒山药的麦

麸用量为每 100 g 山药用麦麸 10~15 g。

2.10 参考值范围

由于各组数据满足多元正态分布，故参考值范围采用正态分布法。不同麦麸炮制麸炒山药外观色度值双侧 90%参考范围见表 5。

麦麸含水量 < 25% 的麸炒山药饮片 L^* 值为 69.58~85.99, a^* 值为 3.08~15.04, b^* 值为 22.19~40.14, E_{ab}^* 值为 81.09~89.11。麦麸粒径 < 50 目的麸炒山药饮片 L^* 值为 70.74~76.78, a^* 值为 11.24~

13.90, b^* 值为 39.76~44.11, E_{ab}^* 值为 83.28~88.23。麦麸用量为 10~15 g 的麸炒山药饮片 L^* 值为 70.68~78.85, a^* 值为 9.19~17.01, b^* 值为 40.33~49.91, E_{ab}^* 值为 85.37~90.12。

根据表 5 的色度值参考范围，结合色度值测定结果及 PCA，以 E_{ab}^* 值范围作为参考，确定合适规格麦麸炮制的麸炒山药的外观色度值范围为 $69.58 \leq L^* < 80.51$ 、 $8.37 \leq a^* < 17.01$ 、 $37.87 \leq b^* < 49.91$ 、 $81.09 \leq E_{ab}^* < 90.12$ 。

表 5 不同麦麸规格炮制麸炒山药外观色度值双侧 90%参考范围

Table 5 Bilateral 90% reference range of appearance chroma value of sDRwb by different wheat bran specifications

麦麸规格		L^*	a^*	b^*	E_{ab}^*
含水量	10.0 g	69.58~72.40	13.41~15.04	37.87~40.14	81.09~83.47
	15.0 g	77.63~80.51	8.37~11.03	38.16~41.28	88.12~90.07
	25.0 g	82.82~85.99	3.08~5.10	22.19~25.30	86.58~89.11
	35.0 g	83.44~86.56	3.01~4.64	21.92~26.49	87.55~89.60
粒径	10~24 目	70.74~73.10	13.13~13.90	41.07~43.15	83.28~85.62
	24~50 目	72.13~76.78	11.24~12.85	39.76~44.11	84.60~88.23
	50~65 目	61.78~67.74	13.98~15.89	40.58~44.25	73.98~81.01
	>65 目	56.69~65.61	14.19~15.97	35.54~39.84	68.89~78.06
麦麸用量	5 g	75.80~79.97	4.24~6.42	26.23~31.16	81.74~84.90
	10 g	73.32~78.85	9.19~12.06	40.33~42.81	85.37~89.54
	15 g	70.68~76.03	13.23~17.01	45.81~49.91	88.06~90.12
	20 g	64.07~71.00	17.42~21.06	50.98~53.57	86.07~89.45

2.11 非标准化典则判别函数式分析

将色差仪测得麸炒山药饮片 L^* 、 a^* 、 b^* 色差值以及相应的麦麸含水量 ω 、麦麸粒径 Φ 、麦麸用量 n 导入 SPSS Statistics 26 软件进行显著性差异分析，并将 L^* 、 a^* 、 b^* 数值对 ω 、 Φ 、 n 进行线性分析，结果见表 6~8。

由表 6 可知，自变量 L^* 、 a^* 、 b^* 值的 P 值均 < 0.05，故麦麸含水量 ω 与色差值 L^* 、 a^* 、 b^* 存在判别意义，非标准化典则判别函数式为 $\omega = 0.688 L^* + 1.264 a^* - 0.872 b^* - 18.113$ ；由表 7 可知，自变量 L^* 、 a^* 值的 P 值 < 0.05, b 值的 P 值 > 0.05，故麦麸粒径 Φ 与色差值 L^* 、 a^* 有判别意义，与 b^* 值不存在判别意义，非标准化典则判别函数式为 $\Phi = 0.058 L^* + 0.049 a^* - 3.696$ ；由表 8 可知，自变量 L^* 、 a^* 值的 P 值 < 0.05, b^* 值的 P 值 > 0.05，故麦麸用量 n 与色差值 L^* 、 a^* 有判别意义，与 b^* 值不存在判别意义，非标准化典则判别函数式为 $n = 0.346 L^* + 0.867 a^* - 24.666$ 。

表 6 L^* 、 a^* 、 b^* 值对麦麸含水量的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of L^* , a^* and b^* values on water content of wheat bran

参数	P 值	非标准 化系数	共线性统计 量 (VIF)	调整 R^2	Durbin-Watson 检验
常量	0.071	-18.113		0.586	0.639
L^*	0.000	0.688	5.142		
a^*	0.001	1.264	15.722		
b^*	0.000	-0.872	7.277		

3 讨论

实验发现麦麸含水量 < 25.0%，粒径在 10~50 目，麦麸用量为每 100 克山药饮片投入 10~15 g 的条件炮制出的麸炒山药符合《中国药典》2020 年版规定，麦麸过于潮湿、粒径过小、用量过少炮制出的饮片难以达到外观颜色要求，建议尽快制定炮制辅料麦麸的质量标准以保障麸炒饮片质量。

本实验采用色差仪测定了麸炒山药切面外观色度值，采用软件 SIMCA 14.1 进行了 PCA，结果发

表7 L^* 、 a^* 、 b^* 值对麦麸粒径的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of L^* , a^* and b^* values on particle size of wheat bran

参数	P 值	非标准 化系数	共线性统计 量 (VIF)	调整 R^2	Durbin-Watson 检验
常量	0.000	-3.696		0.393	0.483
L^*	0.000	0.058	3.308		
a^*	0.000	0.049	3.308		
b^*	0.080	0.000	0.000		

表8 L^* 、 a^* 、 b^* 值对麦麸用量的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of L^* , a^* and b^* values on dosage of wheat bran

参数	P 值	非标准 化系数	共线性统计 量 (VIF)	调整 R^2	Durbin-Watson 检验
常量	0.000	-24.666		0.557	0.492
L^*	0.000	0.346	3.308		
a^*	0.001	0.867	3.308		
b^*	0.359	-0.059	0.000		

现以外观色度值为评价指标可以客观判断炮制品外观颜色随麦麸品质变化的趋势。归纳了符合《中国药典》2020年版规定的山药饮片色度值的双侧90%参考范围为 $69.58 \leq L^* < 80.51$ 、 $8.37 \leq a^* < 17.01$ 、 $37.87 \leq b^* < 49.91$ 、 $81.09 \leq E_{ab}^* < 90.12$ 。建立了色差值 L^* 、 a^* 、 b^* 与麦麸含水量、麦麸粒径、麦麸用量之间的非标准化典则判别函数式 $\omega = 0.688 L^* + 1.264 a^* - 0.872 b^* - 18.113$ 、 $\Phi = 0.058 L^* + 0.049 a^* - 3.696$ 、 $n = 0.346 L^* + 0.867 a^* - 24.666$ ，表示色差值与麦麸含水量、粒径及用量存在函数关系。实际生产中，生产企业可根据本研究中对照饮片色差值的范围，将生产中所用麦麸含水量、粒径或用量代入非标准化典则判别函数式中预测样品外观颜色减少生产误差，也可以在炮制品外观颜色不符合要求时，代入非标准化典则判别函数式中查找原因，判断辅料品质，优化炮制工艺。

在本研究中，麦麸含水量主要对麸炒山药饮片外观色度值 L^* （亮度值） a^* （红-绿色度值）影响较大，可能的原因是麦麸含水量越大，越不利于其迅速焦化产生足量烟气从而无法达到充分熏炒药物的目的，直接影响了饮片亮度及红色值；麦麸粒径主要影响了饮片 L^* （亮度值）的标准差，可能的原因是麦麸粒径越小，其受热产生烟气越短暂迅速，大量烟气来不及与饮片充分接触染色，并且麦麸中的淀粉越容易受热糊化并且粘到饮片表面，共同导致

饮片炮制不均匀，使同一批次饮片亮度差异较大；麦麸用量主要对饮片 a^* （红-绿色度值）、 b^* （黄-蓝色度值）影响较大，可能的原因是加入的麦麸越多，其受热产生的烟气越浓，使得饮片熏炒的颜色越深，红色、黄色越重。

该方法根据中药炮制的特点，利用现代技术对传统炮制饮片质量客观量化的评判进行探索研究，有利于中药炮制的现代化发展，为麦麸质量的评定提供了科学依据与评价指标。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 龚千锋. 中药炮制学 [M]. 第4版. 北京: 中国中医药出版社, 2016: 42.
- [2] Hemdane S, Jacobs P J, Dornez E, et al. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2016, 15(1): 28-42.
- [3] 钟凌云. 中药炮制学 [M]. 第5版. 北京: 中国中医药出版社, 2021: 147.
- [4] Li Q, Sun H R, Zhang M, et al. Characterization of the flavor compounds in wheat bran and biochemical conversion for application in food [J]. *J Food Sci*, 2020, 85(5): 1427-1437.
- [5] 王伶俐, 应泽茜, 孙贝贝, 等. 基于 Box-Behnken 设计-响应面法优化蜜麦麸的制备工艺 [J]. *中草药*, 2021, 52(12): 3538-3543.
- [6] 邓旭坤, 吕晓宇, 刘陶世, 等. 麦麸粒径对麸炒山药外观性状的影响 [J]. *时珍国医国药*, 2006, 17(5): 678-679.
- [7] 容艳芬. 炮制辅料麦麸质量标准研究 [D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2018.
- [8] 吴慧, 单国顺, 赵文龙, 等. 不同麦麸对白术炮制品质量的影响 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2014, 20(6): 55-60.
- [9] León K, Mery D, Pedreschi F, et al. Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images [J]. *Food Res Int*, 2006, 39(10): 1084-1091.
- [10] Hasan M M, Raadsma H W, Thomson P C, et al. Genetic parameters of color phenotypes of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. *Front Genet*, 2022, 13: 1002346.
- [11] 陈鹏, 肖晓燕, 梅茜, 等. 基于仿生技术对薏苡仁麸炒过程中色泽气味变化研究 [J]. *中草药*, 2022, 53(14): 4285-4297.
- [12] 陈鹏, 肖晓燕, 梅茜, 等. 基于仿生技术对薏苡仁麸炒过程中色泽气味变化研究 [J]. *中草药*, 2022, 53(14): 4285-4297.
- [13] 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.
- [14] 郑晓倩, 徐超, 金传山, 等. 基于颜色变化的“九蒸九晒”黄精炮制火候及内外在质量的相关性研究 [J]. 中草药, 2022, 53(6): 1719-1729.
- [15] Wang Y, Cui W L, Pang G W, *et al.* Analyses of physical and chemical compositions of different medicinal specifications of CRPV by use of multiple instrumental techniques combined with multivariate statistical analysis [J]. *Molecules*, 2022, 27(10): doi: 10.3390/MOLECULES 27103285.
- [16] 欧阳少琴, 陈慧荣, 拱健婷, 等. 基于颜色气味信息融合的苦杏仁走油程度判别分析与质量预测模型建立 [J]. 中草药, 2023, 54(12): 3806-3814.
- [17] 芦海生, 李婷, 姜丹, 等. 基于 DNA 条形码、UPLC 及色度学方法鉴定与评价化橘红 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(20): 4419-4425.
- [18] 侯富国, 桂新景, 王艳丽, 等. 基于智能视觉技术的白及饮片真伪快速辨识方法研究 [J]. 中草药, 2023, 54(2): 509-519.
- [19] 刘瑞新, 郝小佳, 张慧杰, 等. 基于电子眼技术的中药川贝母真伪及规格的快速辨识研究 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(14): 3441-3451.
- [20] 田崇娅, 王明慧, 周倩, 等. 基于外观色泽与内在质量相关性分析的炒甘草炮制工艺研究 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(10): 2409-2412.
- [21] 甄臻, 王杨, 魏海峰, 等. 基于颜色变化的麸炒山药质量标准及炮制工艺探究 [J]. 中成药, 2021, 43(3): 816-819.
- [22] 甄臻, 李慧芬, 刘静, 等. 基于粉末和显微特征颜色数字化的生地黄与熟地黄判别 [J]. 中草药, 2021, 52(24): 7438-7446.
- [23] 王杨, 甄臻, 隆毅, 等. 基于颜色变化的酒白芍质量标准及炮制工艺研究 [J]. 中药材, 2020, 43(9): 2141-2145.
- [24] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 30.

[责任编辑 郑礼胜]