

多指标-响应面法结合色度优化盐知母炮制工艺

陈亚楠, 翁丽丽, 肖春萍, 姜雨昕, 杨静容, 侯晓琳* (长春中医药大学药学院, 长春 130117)

摘要:目的 优化盐知母炮制工艺,并明确盐知母化学成分含量与颜色值之间的相关性。方法 以芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 A II、知母皂苷 A III、知母皂苷 B II 和知母皂苷 B III 为评价指标,以盐水量、炒制时间和炒制温度为影响因素,利用 Design-Expert 12.0 软件,Box-Behnken 响应面法结合加权法,优化盐知母炮制工艺,并测定响应面法项下不同工艺参数的 17 份样品色度值,对其成分与色度值进行 Pearson 相关性分析。结果 最佳炮制工艺为每 200 g 知母饮片加入 $80 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的盐水 50 mL,炒制时间 15 min,炒制温度 $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$;色度研究结果表明,芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 的含量与色度值 L^* 呈负相关,与色度值 a^* 、 b^* 均呈正相关,说明 L^* 值越小、 a^* 值越大、 b^* 值越大,盐知母越接近深黄色,芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 含量越高。结论 优选得到的炮制工艺稳定可行,建立测定盐知母中 7 个成分的分析方法准确可靠,盐知母化学成分与颜色值具有显著相关性,可通过外观色泽初步评价盐知母的品质,为其多维度质量评价提供理论依据。

关键词:盐知母;响应面法;炮制工艺;色度;加权法

doi:10.11669/cpj.2025.01.003 中图分类号:R282 文献标志码:A 文章编号:1001-2494(2025)01-0021-11

Optimization of Processing Technology of Salt Anemarrhena Rhizoma Using Multi-index Response Surface Method Combined with Chromaticity

CHEN Yanan, WENG Lili, XIAO Chunping, JIANG Yuxin, YANG Jingrong, HOU Xiaolin* (College of Pharmacy, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China)

ABSTRACT:OBJECTIVE To optimize the processing technology of salt Anemarrhenae Rhizoma, and to clarify the correlation between the chemical composition content and color value of salt Anemarrhenae Rhizoma. **METHODS** Mangiferin, neomangiferin, isomangiferin, timosaponin A II, timosaponin A III, timosaponin B II and timosaponin B III were used as evaluation indexes, and the amount of salt water, stir-frying time and stir-frying temperature were used as influencing factors. Design-Expert 12.0 software, Box-Behnken response surface method combined with weighting method were used to optimize the processing technology of salt Anemarrhena Rhizoma. The chromaticity values of 17 samples with different process parameters under response surface method were determined, and Pearson correlation analysis was performed on their components and chromaticity values. **RESULTS** The optimum processing technology was as follows; 50 mL of $80 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ salt water was added to each 200 g of Anemarrhenae Rhizoma decoction pieces, the stir-frying time was 15 min, and the stir-frying temperature was $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$. The results of chromaticity study showed that the content of mangiferin, neomangiferin, isomangiferin and timosaponin B II was negatively correlated with the chromaticity value L^* , and positively correlated with the chromaticity values a^* and b^* , indicating that the smaller the L^* value, the larger the a^* value, the larger the b^* value, the closer the salt to the dark yellow, the higher the content of mangiferin, neomangiferin, isomangiferin and timosaponin B II. **CONCLUSION** The optimized processing technology is stable and feasible. The analysis method for the determination of 7 components in salt Anemarrhenae Rhizoma is accurate and reliable. The chemical composition of salt Anemarrhenae Rhizoma has a significant correlation with the color value. The quality of salt Anemarrhenae Rhizoma can be preliminarily evaluated by the appearance color, which provides a theoretical basis for its multi-dimensional quality evaluation.

KEY WORDS: salt Anemarrhenae Rhizoma; Box-Behnken; preparative technic; chromaticity; weighted method

知母为百合科植物知母 (*Anemarrhena asphodeloides* Bge.) 的干燥根茎,具有清热泻火,滋阴润燥的功效,临床常用于外感热病、肠燥便秘等症,为重要的

传统大宗药用品种之一。近代研究证明,知母中含有皂苷类、黄酮类、多糖类、生物碱类、类固醇类等化学成分^[1-2]。芒果苷、新芒果苷、异芒果苷等黄酮类化合

基金项目:吉林省科技发展计划项目资助(20220204065YY)

作者简介:陈亚楠,女,硕士研究生 研究方向:中药品质鉴定、质量标准及其开发利用研究 * 通讯作者:侯晓琳,女,硕士,实验师
研究方向:中药品质评价与资源开发研究 Tel:(0431)86172211

物和知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ、知母皂苷 BⅢ等皂苷类化合物为知母主要药效成分^[3],其中知母皂苷 AⅢ能调节 PI3K/Akt 途径蛋白的活性,并且是胰腺导管腺癌(PDAC)细胞增殖的有效抑制剂^[4],具有较高研究价值和研究前景。历代对知母的炮制有生用、炒炙、盐炙、酒炙、蜜炙等。目前,多采用盐炙,《中国药典》2020 年版记载知母饮片为知母和盐知母两种^[5]。查阅各地炮制规范及《中国药典》2020 年版,发现关于知母的炒制方法,尚无明确统一的量化标准,从而导致实际炮制工艺中,不易掌握控制工艺参数,由于炮制时“度”的把握不准而导致知母饮片药效下降,严重影响临床疗效。

生知母常用于清热泻火、生津润燥,盐炙后可引药下行,增强滋阴降火的作用^[6]。中药饮片在炮制过程中,不仅药材的颜色发生改变,而且内在的化学成分组成和含量也发生改变,说明中药饮片在炮制过程中颜色的变化和成分含量之间存在相关性^[7-9]。《中国药典》2020 年版规定:“盐知母形如知母片,色黄或微带焦斑。味微咸”,仅规定盐知母性状指标,但工艺参数尚不明确,无法保证产品质量的均一稳定。近几年,色度分析方法逐渐被引入中药质量评价领域,应用 CIE 色度空间系统 L*、a*、b*(L*为亮度,a*为红绿色度,b*为黄蓝色度)对颜色进行客观表达^[10-11],故本实验以知母多个有效成分含量为评价指标,通过加权法结合 Box-Behnken 响应面法优化盐知母炮制工艺,并借助色差分析技术,对盐知母样品的色泽指标进行量化,研究外观色泽与其化学成分的相关性,从多指标、多维度筛选盐知母炮制工艺参数,为该药材质量评价体系的建立提供参考依据。

1 材料

1.1 主要仪器

Prominence-ILC-2030 岛津高效液相色谱仪、AUW120D 分析天平(日本岛津公司);ELSD-1260 蒸发光散射检测器(美国安捷伦公司);NH310 型色差仪(深圳市三恩驰科技有限公司);MS-5 型炒货机(迈斯机械有限公司)。

1.2 试药

知母饮片购自吉林省北药中药制药集团有限公司(批号 20220215),经长春中医药大学翁丽丽教授鉴定为百合科植物知母(*Anemarrhena asphodeloides* Bge.)的干燥根茎。对照品芒果苷(批号 B20837,纯度 98%)、新芒果苷(批号 B21397,纯度 98%)、异芒果苷(批号 B21543,纯度 98%)、知母皂苷 AⅡ(批号

B27334,纯度 98%)、知母皂苷 AⅢ(批号 B21656,纯度 98%)、知母皂苷 BⅡ(批号 B21657,纯度 98%)、知母皂苷 BⅢ(批号 B21658,纯度 95%)均购自上海源叶生物科技有限公司,食用盐(批号 NY/T 1040,福建省泉州晶海轻化有限公司)。冰醋酸、乙腈为色谱纯,屈臣氏纯净水,其余为分析纯。

1.3 盐知母的制备

分别精密称取食用盐 4 g 溶于 30、40、50、60、70 mL 纯净水中,制得盐水备用。取“1.2”项下的知母饮片,按照《中国药典》2020 年版方法进行炮制,具体为:“加盐水(每 100 kg 饮片加 2 kg 盐)拌匀,闷至盐水被吸尽,置预热的炒制设备内,文火炒干,取出,放凉”。

2 方法与结果

2.1 盐知母黄酮类和皂苷类成分含量测定

2.1.1 色谱条件 色谱条件 1:黄酮类成分(芒果苷、新芒果苷、异芒果苷),色谱柱为 Agilent ZORB-AX SB-C₁₈(4.6 mm×250 mm,5 μm);0.2% 冰醋酸-乙腈(91:9)为流动相;体积流量 1.0 mL·min⁻¹;柱温 30 ℃;进样体积 10 μL;检测波长 258 nm。

色谱条件 2:皂苷类成分(知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ、知母皂苷 BⅢ),色谱柱为 Agilent ZORBAX SB-C₈(4.6 mm×250 mm,5 μm);水(A)-乙腈(B)为流动相,梯度洗脱(0~10 min,8%~15% B;10~20 min,15%~28% B;20~35 min,28%~35% B;35~50 min,35%~40% B;50~60 min,40%~60% B;60~70 min,60%~8% B);体积流量 1.0 mL·min⁻¹;柱温 26 ℃;进样体积 20 μL;蒸发器温度 50 ℃;雾化器温度 50 ℃;载气体积流量 1 400 mL·min⁻¹。

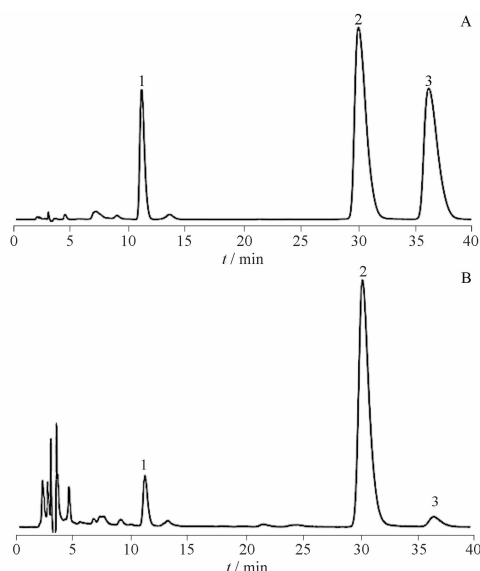
2.1.2 对照品溶液的制备 黄酮类成分:取芒果苷、新芒果苷、异芒果苷对照品适量,精密称定,加体积分数 50% 乙醇制成每 1 mL 分别含上述对照品 45.6、41.3、13.2 μg 的混合溶液,即得。

皂苷类成分:取知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ、知母皂苷 BⅢ对照品适量,精密称定,加甲醇制成每 1 mL 分别含上述对照品 4.0、34.0、117.0、5.2 μg 的溶液,即得。

2.1.3 供试品溶液的制备 黄酮类成分:取知母饮片(粉碎,过三号筛)约 0.1 g,精密称定,置具塞锥形瓶中,精密加入体积分数 50% 乙醇 25 mL,称定质量,超声处理(功率 250 W,频率 40 kHz)30 min,放冷,加体积分数 50% 乙醇补足减失的质量,滤过,取续滤液,即得。

皂苷类成分:取知母饮片(粉碎,过三号筛)约1.0 g,精密称定,置具塞锥形瓶中,精密加入甲醇25 mL,称定质量,超声处理(功率250 W,频率40 kHz)30 min,放冷,加甲醇补足减失的质量,滤过,取续滤液,即得。

芒果苷、新芒果苷、异芒果苷混合对照品(A)和盐知母饮片样品(B)HPLC图见图1,知母皂苷AII、知母皂苷AIII、知母皂苷BII、知母皂苷BIII混合对照品(A)和盐知母饮片样品(B)HPLC图见图2。



1 - 新芒果苷; 2 - 芒果苷; 3 - 异芒果苷。
1 - Neomangiferin; 2 - Mangiferin; 3 - Isomangiferin.

图1 新芒果苷、芒果苷、异芒果苷混合对照品(A)和盐知母样品(B)HPLC图

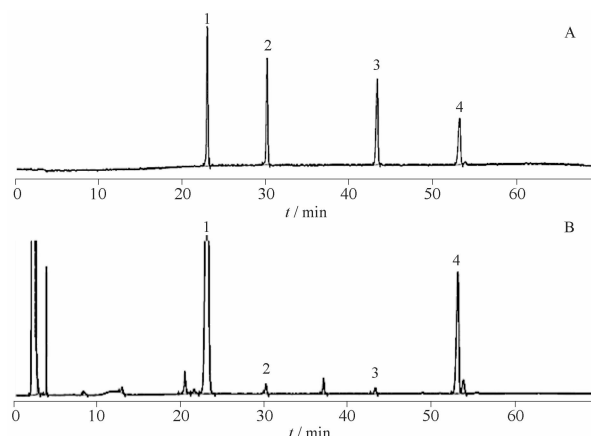
Fig. 1 HPLC of mixed neomangiferin, mangiferin, isomangiferin reference substance(A) and salt Anemarrhena Rhizoma decoction pieces(B)

表1 盐知母指标成分的线性关系

Tab. 1 Linear relationship of index components of salt Anemarrhena Rhizoma

Index component	Regression equation	<i>r</i>	Range of linearity/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	Detection limit/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	Limit of quantitation/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
Mangiferin	$Y = 3\ 659\ 050.048\ 1X + 198\ 614.520\ 5$	0.999 8	45.6 - 456.0	3.25	9.82
Neomangiferin	$Y = 3\ 045\ 708.912\ 4X + 146\ 105.794\ 5$	0.999 6	41.3 - 413.0	2.76	8.47
Isomangiferin	$Y = 3\ 045\ 708.912\ 4X + 146\ 105.794\ 5$	0.999 8	13.2 - 132.0	0.89	3.22
Timosaponin A II	$Y = 2\ 015.884\ 8X + 17.092\ 6$	0.999 6	4.0 - 40.0	0.13	0.98
Timosaponin A III	$Y = 8\ 056.287\ 0X + 416.563\ 0$	0.999 5	34.0 - 340.0	1.64	5.28
Timosaponin B II	$Y = 16\ 874.574\ 4X + 13\ 932.186\ 3$	0.999 6	117.0 - 1 170.0	10.21	31.43
Timosaponin B III	$Y = 4\ 871.946\ 8X + 15.388\ 9$	0.999 6	5.2 - 52.0	0.26	0.92

2.2.2 精密度实验 精密吸取“2.1.2”项下黄酮类成分混合对照品溶液10 μL 、皂苷类成分对照品溶液20 μL ,按“2.1.1”项下色谱条件,注入液相色谱仪。连续进样6次,依法测定,记录峰面积值,结果芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷AII、知母



1 - 知母皂苷BII; 2 - 知母皂苷BIII; 3 - 知母皂苷AII; 4 - 知母皂苷AIII。
1 - timosaponin BII; 2 - timosaponin BIII; 3 - timosaponin AII; 4 - timosaponin AIII.

图2 知母皂苷混合对照品(A)和盐知母样品(B)的HPLC图
Fig. 2 HPLC diagram of mixed timosaponin reference substance (A) and salt Anemarrhena Rhizoma decoction pieces sample (B)

2.2 方法学考察

2.2.1 线性关系实验 分别吸取“2.1.2”项下黄酮类成分混合对照品溶液0.2、0.6、1.0、1.4、1.8、2.0 mL置于2 mL量瓶中,用体积分数50%乙醇定容至刻度,制成黄酮类成分的系列线性溶液,分别精密吸取10 μL ,按“2.1.1”项下色谱条件1注入液相色谱仪。

分别吸取“2.1.2”项下皂苷类成分对照品溶液0.2、0.6、1.0、1.4、1.8、2.0 mL置于2 mL量瓶中,用甲醇定容刻度,制成皂苷类成分的系列线性溶液,分别精密吸取20 μL ,按“2.1.1”项下色谱条件2注入液相色谱仪。

以峰面积为纵坐标(Y),浓度为横坐标(X),绘制盐知母指标成分的标准曲线,结果见表1。

皂苷AIII、知母皂苷BII和知母皂苷BIII峰面积的相对标准偏差(RSD)分别为0.17%、1.57%、0.16%、1.56%、1.79%、1.94%和1.71% ($n = 6$),表明仪器精密度良好。

2.2.3 重复性实验 精密称取同一批供试品6份,

按“2.1.3”项下方法制备供试品溶液,按“2.1.1”项下色谱条件进样,计算样品平均含量,结果芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ和知母皂苷 BⅢ平均含量为 9.48、3.11、0.53、0.49、8.42、30.16 和 1.09 mg·g⁻¹,其含量的 RSD 分别为 1.58%、1.75%、1.51%、1.62%、1.59%、1.14% 和 1.89% (n=6),表明方法重复性良好。

2.2.4 稳定性实验 精密吸取“2.1.3”项下黄酮类成分 10 μL、皂苷类成分 20 μL,按“2.1.1”项下色谱条件,在 0、2、4、6、8、10、12、24 h 分别注入液相色谱仪。依法测定,以芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ和知母皂苷 BⅢ峰面积积分值为指标,记录峰面积积分值,结果芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ和知母皂苷 BⅢ峰面积的 RSD 分别为 0.67%、0.97%、0.95%、1.78%、

1.89%、1.88% 和 1.82% (n=8),表明供试品溶液在室温下放置 24 h 稳定。

2.2.5 加样回收率实验 精密称取盐知母粉末(过三号筛)0.05 g,共 6 份,分别加入混合对照品溶液 2 mL(每 1 mL 含芒果苷 4.420 9 mg、新芒果苷 1.358 7 mg、异芒果苷 0.329 0 mg)。

精密称取盐知母粉末(过三号筛)0.5 g,共 6 份,分别加入对照品溶液 2 mL(每 1 mL 含知母皂苷 AⅡ 0.161 7 mg、知母皂苷 AⅢ 1.408 2 mg、知母皂苷 BⅡ 1.219 4 mg、知母皂苷 BⅢ 0.157 7 mg)。

按“2.1.1”项下色谱条件,依法测定,计算加样回收率。结果显示,芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 AⅡ、知母皂苷 AⅢ、知母皂苷 BⅡ和知母皂苷 BⅢ的平均加样回收率分别为 100.25%、104.33%、99.40%、100.05%、98.86%、98.45% 和 102.71% (n=6),结果见表 2。

表 2 盐知母指标成分的加样回收率

Tab. 2 Sample recovery rate of index components of *Anemarrhenae Rhizoma salt*

Index component	<i>m</i> (Known quantity)/mg	<i>m</i> (Added)/mg	<i>m</i> (Measured)/mg	Recovery/%	Average recovery rate/%	RSD/%
Mangiferin	4.431 6	4.420 9	8.881 3	100.651 2	100.25	0.79
	4.400 6	4.420 9	8.835 5	100.315 9		
	4.419 1	4.420 9	8.904 0	101.447 3		
	4.428 3	4.420 9	8.808 0	99.068 7		
	4.430 6	4.420 9	8.860 4	100.200 7		
	4.415 4	4.420 9	8.828 2	99.816 4		
Neomangiferin	1.352 5	1.358 7	2.775 2	104.710 4	104.33	0.48
	1.351 2	1.358 7	2.777 3	104.958 9		
	1.355 3	1.358 7	2.774 7	104.473 1		
	1.359 7	1.358 7	2.777 8	104.373 1		
	1.370 4	1.358 7	2.781 1	103.829 9		
	1.363 1	1.358 7	2.771 3	103.641 4		
Isomangiferin	0.335 2	0.329 0	0.665 4	100.361 4	99.40	1.49
	0.317 4	0.329 0	0.650 1	101.129 0		
	0.335 8	0.329 0	0.658 3	98.016 2		
	0.341 2	0.329 0	0.671 1	100.296 1		
	0.347 6	0.329 0	0.667 7	97.310 1		
	0.296 7	0.329 0	0.623 3	99.267 5		
Timosaponin AⅡ	0.162 0	0.161 7	0.326 0	101.467 2	100.05	1.68
	0.166 0	0.161 7	0.327 2	99.701 5		
	0.160 5	0.161 7	0.324 5	101.427 5		
	0.161 7	0.161 7	0.325 5	101.321 4		
	0.161 7	0.161 7	0.319 1	97.320 8		
	0.158 5	0.161 7	0.318 6	99.033 6		
Timosaponin AⅢ	1.440 3	1.408 2	2.827 6	98.512 1	98.86	1.89
	1.358 9	1.408 2	2.723 8	96.921 6		
	1.415 9	1.408 2	2.839 0	101.053 2		
	1.371 9	1.408 2	2.742 2	97.304 4		
	1.447 1	1.408 2	2.873 1	101.262 0		
	1.415 2	1.408 2	2.796 5	98.090 3		
Timosaponin BⅡ	1.248 0	1.219 4	2.451 9	98.727 9	98.45	1.76
	1.160 8	1.219 4	2.337 4	96.481 9		
	1.199 0	1.219 4	2.419 2	100.059 6		
	1.238 8	1.219 4	2.430 2	97.696 3		
	1.207 4	1.219 4	2.436 9	100.825 4		
	1.262 5	1.219 4	2.444 3	96.910 7		
Timosaponin BⅢ	0.164 2	0.157 7	0.328 2	103.958 4	102.71	1.70
	0.159 9	0.157 7	0.323 0	103.400 8		
	0.160 0	0.157 7	0.322 2	102.812 8		
	0.150 2	0.157 7	0.307 7	99.876 2		
	0.157 2	0.157 7	0.322 3	104.678 1		
	0.154 8	0.157 7	0.314 9	101.507 6		

2.3 综合评价指标的确定

《中国药典》2020年版中规定的知母指标成分为芒果苷和知母皂苷 B II, 知母主要药效成分为黄酮类成分(芒果苷、新芒果苷、异芒果苷)和皂苷类成分(知母皂苷 A II、知母皂苷 A III、知母皂苷 B II、知母皂苷 B III), 故本实验将黄酮类成分、皂苷类成分各按 50% 的比例, 运用加权法按公式 1 计算综合评分, 考察各评价指标对综合评分的影响。

$$\text{综合评分} = \left[\frac{x_i \text{芒果苷}}{x_i(\text{max}) \text{芒果苷}} + \frac{x_i \text{新芒果苷}}{x_i(\text{max}) \text{新芒果苷}} + \frac{x_i \text{异芒果苷}}{x_i(\text{max}) \text{异芒果苷}} \right] \times 50\% + \left[\frac{x_i \text{知母皂苷 A II}}{x_i(\text{max}) \text{知母皂苷 A II}} + \frac{x_i \text{知母皂苷 A III}}{x_i(\text{max}) \text{知母皂苷 A III}} \right] \times 50\%$$

表 3 盐知母盐水量实验考察结果。n=3, $\bar{x} \pm s$

Tab. 3 The results of salt water test of salt Anemarrhenae Rhizoma. n=3, $\bar{x} \pm s$

Salt discharge/mL ⁻¹	Index							Comprehensive score
	Mangiferin /mg · g ⁻¹	Neomangiferin /mg · g ⁻¹	Isomangiferin /mg · g ⁻¹	Timosaponin A II /mg · g ⁻¹	Timosaponin A III /mg · g ⁻¹	Timosaponin B II /mg · g ⁻¹	Timosaponin B III /mg · g ⁻¹	
30	7.60 ± 0.77	9.89 ± 0.76	0.55 ± 0.02	0.53 ± 0.06	9.29 ± 0.47	25.22 ± 0.77	7.69 ± 0.37	69.36
40	7.73 ± 0.69	12.39 ± 0.69	0.50 ± 0.05	0.85 ± 0.13	10.86 ± 0.55	16.22 ± 0.85	46.92 ± 0.51	94.85
50	8.44 ± 0.73	11.07 ± 0.71	0.57 ± 0.03	0.88 ± 0.12	10.79 ± 0.53	22.96 ± 0.71	42.73 ± 0.55	95.05
60	5.59 ± 0.71	7.20 ± 0.61	0.43 ± 0.02	0.89 ± 0.11	11.95 ± 0.51	4.33 ± 0.81	66.26 ± 0.45	82.03
70	7.21 ± 0.75	9.24 ± 0.72	0.46 ± 0.01	0.37 ± 0.05	9.08 ± 0.43	25.39 ± 0.75	3.67 ± 0.31	64.09

2.4.2 炒制时间的选择 取 200 g 知母饮片 5 份, 加入质量浓度为 66.7 mg · mL⁻¹ 的盐水 60 mL, 闷润 1 h, 140 °C 下分别炒制 10、15、20、25、30 min, 结合加权法, 选出炒制时间为 10、15、20 min 进行后续研究, 见表 4。

表 4 盐知母炒制时间实验考察结果。n=3, $\bar{x} \pm s$

Tab. 4 The results of stir-frying time test of salt Anemarrhenae Rhizoma. n=3, $\bar{x} \pm s$

Frying time/min	Index							Comprehensive score
	Mangiferin /mg · g ⁻¹	Neomangiferin /mg · g ⁻¹	Isomangiferin /mg · g ⁻¹	Timosaponin A II /mg · g ⁻¹	Timosaponin A III /mg · g ⁻¹	Timosaponin B II /mg · g ⁻¹	Timosaponin B III /mg · g ⁻¹	
10	8.35 ± 0.70	7.93 ± 0.63	0.55 ± 0.04	1.39 ± 0.15	12.24 ± 0.56	35.60 ± 0.75	4.57 ± 0.41	86.44
15	9.92 ± 0.69	10.96 ± 0.79	0.56 ± 0.01	0.90 ± 0.10	8.81 ± 0.41	32.92 ± 0.72	3.47 ± 0.50	90.46
20	7.59 ± 0.73	8.60 ± 0.81	0.49 ± 0.04	1.15 ± 0.12	5.62 ± 0.39	16.11 ± 0.65	34.10 ± 0.43	88.89
25	7.35 ± 0.71	9.24 ± 0.70	0.50 ± 0.03	0.94 ± 0.15	7.08 ± 0.45	28.02 ± 0.81	10.40 ± 0.55	80.61
30	8.12 ± 0.65	8.67 ± 0.72	0.56 ± 0.01	0.81 ± 0.09	9.57 ± 0.58	27.88 ± 0.79	5.70 ± 0.45	79.04

2.5 Box-Behnken 响应面法优化知母盐炙工艺

2.5.1 Box-Behnken 实验设计与结果 在单因素实验的基础上, 应用 Design-Expert 12.0 软件设计 Box-Behnken 响应面法炮制工艺实验方案, 以盐水量、炒制时间、炒制温度为因素, 建立 3 因素 3 水平实验方案, 3 水平分别以 1、0、-1 进行编码, 因素水平表见

$$\left[\frac{x_i \text{知母皂苷 B II}}{x_i(\text{max}) \text{知母皂苷 B II}} + \frac{x_i \text{知母皂苷 B III}}{x_i(\text{max}) \text{知母皂苷 B III}} \right] \times 50\% \quad \text{公式(1)}$$

$x_i, x_i(\text{max})$ 分别表示第 i 个实验相应指标含量、第 i 个实验该指标含量的最大值。

2.4 单因素考察及结果

以“药透汤尽”作为闷润时间的判断标准, 确定闷润时间为 1 h, 按药典规定每 100 kg 饮片用食盐 2 kg。以盐水量、炒制时间、炒制温度为影响因素, 进行单因素考察。

2.4.1 盐水量的选择 取 200 g 知母饮片 5 份, 分别加入质量浓度为 133.3 mg · mL⁻¹ 的盐水 30 mL、100 mg · mL⁻¹ 的盐水 40 mL、80 mg · mL⁻¹ 的盐水 50 mL、66.7 mg · mL⁻¹ 的盐水 60 mL、57.1 mg · mL⁻¹ 的盐水 70 mL, 闷润 1 h, 140 °C 下炒 25 min 取出, 结合加权法, 选出盐水量为 40、50、60 mL 进行后续研究, 见表 3。

2.4.3 炒制温度的选择 取 200 g 知母饮片 5 份, 加质量浓度为 66.7 mg · mL⁻¹ 的盐水 60 mL, 闷润 1 h, 分别在 120、130、140、150、160 °C 炒 25 min, 结合加权法, 选出炒制温度为 130、140、150 °C 进行后续研究, 见表 5。

表 6。按“2.1.3”项下方法制备盐知母供试品溶液, 按“2.1.1”项下色谱条件, 测定样品中芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 A II、知母皂苷 A III、知母皂苷 B II、知母皂苷 B III 的含量, 以 7 种化学成分含量的综合评分作为评价指标, 实验设计与结果见表 7。

表5 盐知母炒制温度实验考察结果。n=3, $\bar{x} \pm s$

Tab. 5 The results of stir-frying temperature test of salt Anemarrhenae Rhizoma. n=3, $\bar{x} \pm s$

Frying temperature/°C	Index							Comprehensive score
	Mangiferin /mg · g ⁻¹	Neomangiferin /mg · g ⁻¹	Isomangiferin /mg · g ⁻¹	Timosaponin A II /mg · g ⁻¹	Timosaponin A III /mg · g ⁻¹	Timosaponin B II /mg · g ⁻¹	Timosaponin B III /mg · g ⁻¹	
120	7.74 ± 0.75	8.78 ± 0.71	0.56 ± 0.01	1.26 ± 0.11	13.47 ± 0.51	30.57 ± 0.69	3.93 ± 0.39	66.99
130	9.62 ± 0.73	10.76 ± 0.69	0.73 ± 0.05	0.81 ± 0.14	11.66 ± 0.57	17.97 ± 0.73	37.16 ± 0.35	86.58
140	7.79 ± 0.71	10.36 ± 0.76	0.56 ± 0.02	1.09 ± 0.07	13.18 ± 0.55	39.53 ± 0.70	34.84 ± 0.47	92.94
150	9.59 ± 0.69	11.44 ± 0.73	0.75 ± 0.02	0.90 ± 0.15	11.17 ± 0.56	11.13 ± 0.72	50.98 ± 0.52	91.84
160	8.99 ± 0.67	10.98 ± 0.80	0.64 ± 0.03	1.04 ± 0.19	10.49 ± 0.62	31.31 ± 0.71	4.64 ± 0.41	74.10

表6 盐知母 Box-Behnken 实验因素水平表

Tab. 6 Box-Behnken test factor level table of salt Anemarrhenae Rhizoma

Factors	Level		
	-1	0	1
A(Salt discharge/mL)	40	50	60
B(Frying time/min)	10	15	20
C(Frying temperature/°C)	130	140	150

2.5.2 模型拟合与方差分析 采用 Design-Expert 12.0 软件进行数据分析, 得到拟合方程为

$Y = +97.54 - 2.73A + 0.35B + 0.94C + 2.90AB + 3.55AC + 2.82BC - 8.49A^2 - 3.84B^2 - 6.33C^2$ ($r = 0.9765$), 方差分析结果见表 8。由表 8 可知, 该模型拟合具有极显著性 ($P < 0.0001$), 失拟误差为 0.3686, 表明该模型拟合度较好。方差分析结果显示, 盐水量(因素 A)对综合评分有极显著影响 ($P < 0.01$), 且因素交互作用 AB、AC 项有极显著影响 ($P < 0.01$), 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 均有极显著性影响 ($P < 0.01$)。

表7 盐知母 Box-Behnken 实验设计与结果

Tab. 7 Box-Behnken experimental design and results of salt Anemarrhenae Rhizoma

No.	Salt discharge/mL	Frying time /min	Frying temperature/°C	Mangiferin /mg · g ⁻¹	Neomangiferin /mg · g ⁻¹	Isomangiferin /mg · g ⁻¹	Timosaponin AII /mg · g ⁻¹	Timosaponin AIII /mg · g ⁻¹	Timosaponin BII /mg · g ⁻¹	Timosaponin BIII /mg · g ⁻¹	Comprehensive score
1	40	10	140	7.48	12.35	0.55	0.33	6.49	29.56	2.72	90.2605
2	60	10	140	7.48	8.52	0.49	0.53	6.93	26.56	1.90	77.7322
3	40	20	140	7.44	11.53	0.52	0.59	6.27	25.39	5.68	86.9147
4	60	20	140	7.07	9.60	0.48	0.38	5.72	32.03	3.89	85.9673
5	40	15	130	7.41	11.13	0.51	0.41	5.47	29.97	3.58	87.5304
6	60	15	130	6.87	8.15	0.47	0.53	7.15	27.26	1.72	76.2447
7	40	15	150	6.80	11.96	0.43	0.39	5.86	24.21	3.76	82.1121
8	60	15	150	7.75	8.69	0.53	0.56	8.14	29.34	3.53	85.0411
9	50	10	130	7.55	11.75	0.58	0.37	6.98	30.42	1.85	89.6806
10	50	20	130	8.09	10.28	0.56	0.32	4.88	27.82	2.53	82.9990
11	50	10	150	7.91	9.68	0.60	0.38	6.38	30.84	2.35	86.1286
12	50	20	150	7.77	10.67	0.49	0.51	7.87	30.05	4.17	90.7093
13	50	15	140	7.32	13.74	0.48	0.49	6.76	36.23	2.05	100.0000
14	50	15	140	7.02	13.33	0.45	0.50	6.48	34.88	2.14	96.6210
15	50	15	140	7.10	13.33	0.46	0.48	6.70	35.89	1.96	97.9787
16	50	15	140	7.12	13.30	0.46	0.48	6.64	34.68	1.78	96.3448
17	50	15	140	7.16	13.33	0.46	0.51	6.60	35.19	1.51	96.7740

2.5.3 响应面分析 采用 Design-Expert 12.0 软件依据回归方程式, 在回归模型方差分析结果的基础上绘制响应面图及等高线, 分析盐水量、炒制时间、炒制温度对综合评分的影响。各因素的交互作用对响应值的影响可用等高线图和响应面图表示, 响应面图和等高线图可以直接反映交

互作用对响应值的作用情况, 曲面越陡, 等高线越密集, 影响越显著; 等高线越接近椭圆, 代表两个因素的交互作用越强^[12-13], 结果见图 3。由图 3 可知, 知母最佳炮制工艺为: 每 200 g 知母加入质量浓度为 80 mg · mL⁻¹ 的盐水 50 mL, 炒制时间 15 min, 炒制温度 140 °C。

表 8 盐知母炮制工艺回归模型的方差分析结果

Tab. 8 The results of variance analysis of regression model of salt Anemarrhenae Rhizoma processing technology

Sources of variance	Quadratic sum	Degrees of freedom	Mean square	F value	P value
Model	772.31	9	85.81	32.36	<0.000 1
A	59.58	1	59.58	22.47	0.002 1
B	0.97	1	0.97	0.37	0.564 0
C	7.10	1	7.10	2.68	0.145 8
AB	33.53	1	33.53	12.64	0.009 3
AC	50.51	1	50.51	19.05	0.003 3
BC	31.71	1	31.71	11.96	0.010 6
A ²	303.22	1	303.22	114.34	<0.000 1
B ²	62.05	1	62.05	23.40	0.001 9
C ²	168.47	1	168.47	63.53	<0.000 1
Total residual	18.56	7	2.65		
Misfit error	9.46	3	3.15	1.39	0.368 6
Pure error	9.10	4	2.28		
Summation	790.87	16			

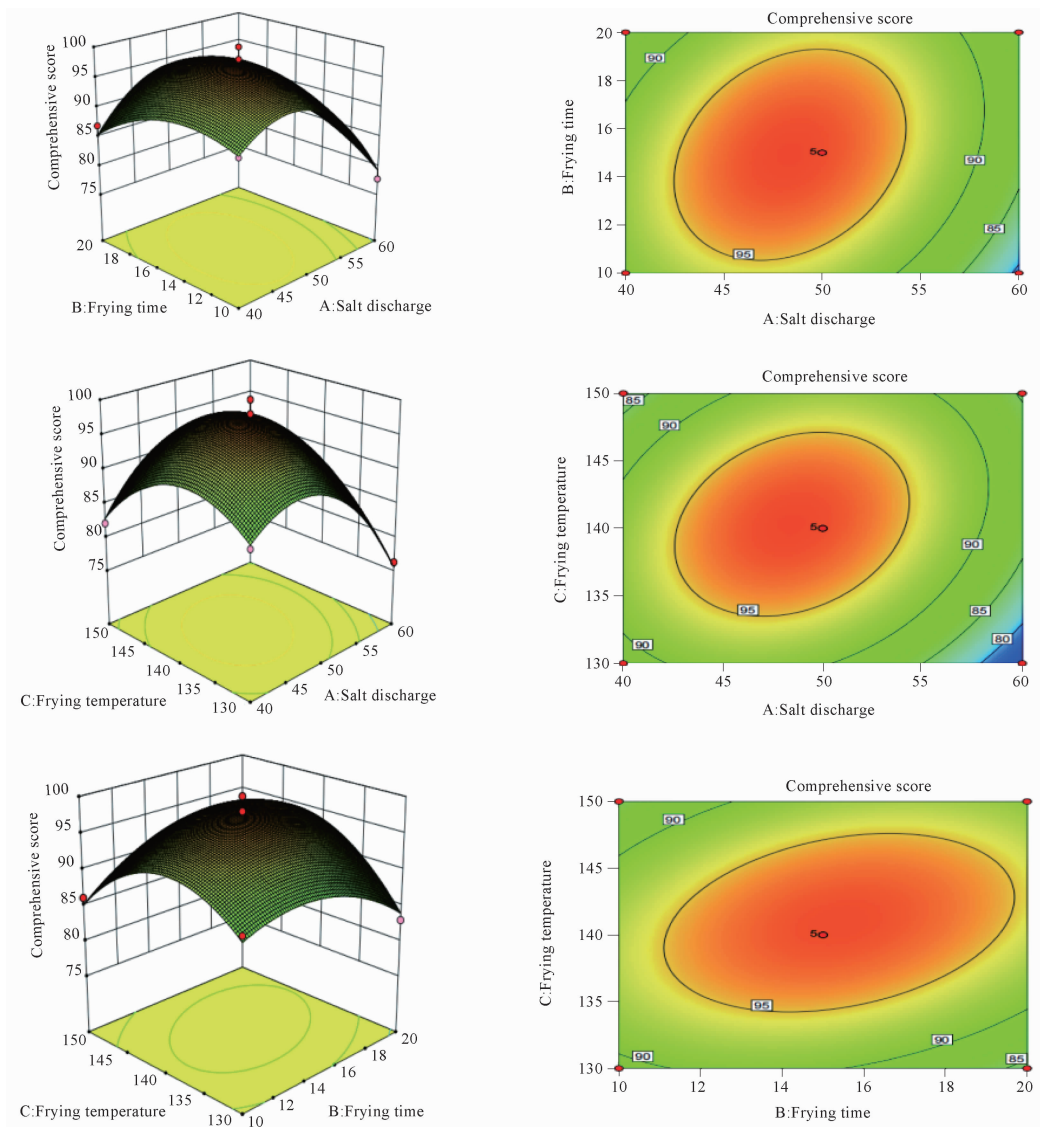


图 3 盐知母炮制工艺各因素响应面图

Fig. 3 Response surface diagram of each factor of salt Anemarrhenae Rhizoma processing technology

2.5.4 验证实验 按上述最佳工艺参数进行验证, 由表 9 可知, 3 次验证实验的平均综合评分为

99.325 6 (RSD = 0.61%, $n = 3$), 与模型预测值相近, 表明模型预测性较好。

表 9 盐知母 Box-Behnken 响应面法验证实验结果

Tab. 9 Experimental scheme and results of Box-Behnken response surface method of salt Anemarrhenae Rhizoma processing technology

No.	Salt discharge /mL	Frying time /min	Frying temperature /°C	Mangiferin /mg · g ⁻¹	Neomangiferin /mg · g ⁻¹	Isomangiferin /mg · g ⁻¹	Timosaponin A II /mg · g ⁻¹	Timosaponin A III /mg · g ⁻¹	Timosaponin B II /mg · g ⁻¹	Timosaponin B III /mg · g ⁻¹	Comprehensive score
1	50	15	140	7.22	13.23	0.48	0.49	6.58	35.11	2.11	98.649 5
2	50	15	140	7.40	13.28	0.47	0.48	6.64	35.70	2.09	99.820 1
3	50	15	140	7.33	13.42	0.47	0.49	6.56	35.37	2.05	99.507 1
RSD/%				1.20	0.75	1.26	1.17	0.58	0.83	1.57	0.61

2.6 盐知母色度测定

2.6.1 色度测定条件 设定参数为 D₆₅、LED 蓝光激发光源, 8° 视角视场, 8 mm 孔径, 仪器误差 $\Delta E_{ab}^* \leq 0.4$ 。校正后进行测定, 样品信息见表 10, 样品饮片及粉末图见图 4、5。

表 10 盐知母样品(S1~S17)试验条件及外观颜色

Tab. 10 Test conditions and appearance color of salt Anemarrhenae Rhizoma samples(S1 - S17)

Sample No.	Salt discharge /mL	Frying time/min	Frying temperature/°C	Appearance color
S1	40	10	140	Brown yellow
S2	60	10	140	Light brown yellow
S3	40	20	140	Brown yellow
S4	60	20	140	Light brown yellow
S5	40	15	130	Brown yellow
S6	60	15	130	Light brown yellow
S7	40	15	150	Brown yellow
S8	60	15	150	Brown yellow
S9	50	10	130	Light brown yellow
S10	50	20	130	Brown yellow
S11	50	10	150	Brown yellow
S12	50	20	150	Dark brown yellow
S13	50	15	140	Dark brown yellow
S14	50	15	140	Dark brown yellow
S15	50	15	140	Dark brown yellow
S16	50	15	140	Dark brown yellow
S17	50	15	140	Dark brown yellow

2.6.2 供试品的制备 取盐知母样品粉末(过 3 号筛)约 2 g, 均匀平铺于测试盒内, 待测。

2.6.3 精密度考察 分别按“2.4.2”和“2.4.1”项下方法制备 1 份供试品, 测定色度, 连续测定 6 次, 导出色泽指标 L*、a*、b* 值, 结果 RSD 均 < 2%, 表明仪器精密度良好。

2.6.4 重复性考察 分别按“2.4.2”和“2.4.1”项下方法制备 6 份供试品, 测定色度, 导出色泽指标

L*、a*、b* 值, 结果 RSD 均 < 2%, 表明方法重复性良好。

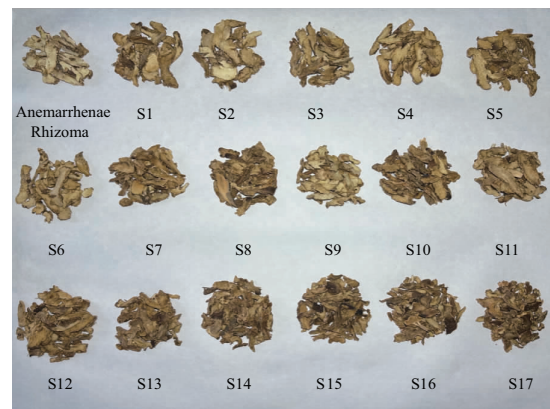


图 4 17 份盐知母饮片图

Fig. 4 Seventeen Pieces of salt Anemarrhenae decoction pieces

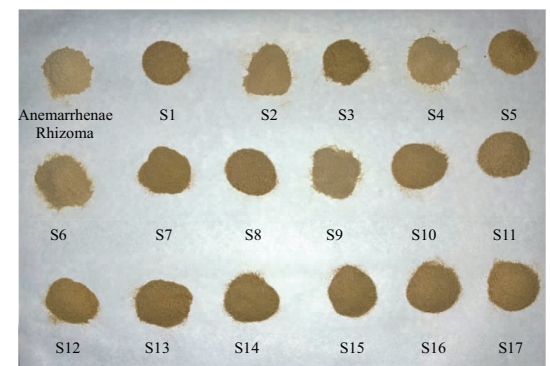


图 5 17 份盐知母粉末图

Fig. 5 Seventeen Pieces of salt Anemarrhenae powder figure

2.6.5 稳定性考察 分别按“2.4.2”和“2.4.1”项下方法制备 1 份供试品, 分别于 0、1、2、3、4、5、6 h 后测定色度, 导出色泽指标 L*、a*、b* 值, 结果 RSD 均 < 2%, 表明盐知母样品在 6 h 内稳定性良好。

2.6.6 盐知母色度值测定结果 分别按“2.4.2”和“2.4.1”项下方法制备 17 份供试品,每份重复测定色度 3 次,记录平均值,计算总色度值 Eab^* ,公式为 $Eab^* = (L^*^2 + a^*^2 + b^*^2)^{1/2}$,结果见表 11。

由表 11、图 6 可知,盐知母 L^* 、 a^* 、 b^* 、 Eab^* 范围分别为 67.92 ~ 49.89、8.25 ~ 7.00、16.99 ~ 14.02 和 69.77 ~ 53.33,多成分含量变化及盐知母色度趋势图,见图 7。

表 11 盐知母中各成分含量及色度值测量结果

Tab. 11 Measurement results of each component content and chromaticity value in salt Anemarrhena Rhizoma

Sample No.	Mangiferin /mg · g ⁻¹	Neomangiferin /mg · g ⁻¹	Isomangiferin /mg · g ⁻¹	Timosaponin A II /mg · g ⁻¹	Timosaponin A III /mg · g ⁻¹	Timosaponin B II /mg · g ⁻¹	Timosaponin B III /mg · g ⁻¹	L *	a *	b *	Eab *
S1	7.48	12.35	0.55	0.33	6.49	29.56	2.72	52.06	8.05	16.99	55.35
S2	7.48	8.52	0.49	0.53	6.93	26.56	1.90	64.41	7.49	15.07	66.57
S3	7.44	11.53	0.52	0.59	6.27	25.39	5.68	51.02	7.89	15.99	54.05
S4	7.07	9.60	0.48	0.38	5.72	32.03	3.89	60.99	7.28	15.18	63.27
S5	7.41	11.13	0.51	0.41	5.47	29.97	3.58	54.11	7.67	16.11	56.98
S6	6.87	8.15	0.47	0.53	7.15	27.26	1.72	67.92	7.00	14.02	69.70
S7	6.80	11.96	0.43	0.39	5.86	24.21	3.76	65.89	7.20	14.43	67.83
S8	7.75	8.69	0.53	0.56	8.14	29.34	3.53	52.26	7.95	16.85	55.48
S9	7.55	11.75	0.58	0.37	6.98	30.42	1.85	50.09	8.10	16.94	53.49
S10	8.09	10.28	0.56	0.32	4.88	27.82	2.53	49.89	8.19	16.96	53.33
S11	7.91	9.68	0.60	0.38	6.38	30.84	2.35	50.84	8.25	16.98	54.23
S12	7.77	10.67	0.49	0.51	7.87	30.05	4.17	53.59	7.64	15.83	56.40
S13	7.32	13.74	0.48	0.49	6.76	36.23	2.05	50.25	8.15	16.85	53.62
S14	7.02	13.33	0.45	0.50	6.48	34.88	2.14	52.59	8.02	16.70	55.76
S15	7.10	13.33	0.46	0.48	6.70	35.89	1.96	52.56	8.03	16.87	55.78
S16	7.12	13.30	0.46	0.48	6.64	34.68	1.78	52.45	8.01	16.60	55.59
S17	7.16	13.33	0.46	0.51	6.60	35.19	1.51	51.83	8.02	16.68	55.04

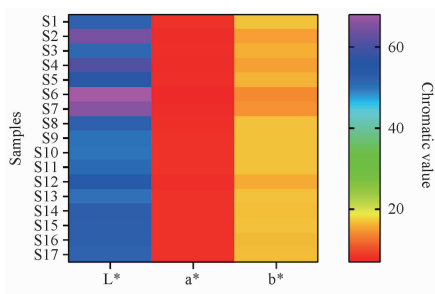


图 6 盐知母样品(S1 ~ S17)的色度热图

Fig. 6 Chromatic heat map of salt Anemarrhena Rhizoma samples(S1 - S17)

2.6.7 相关性分析 将盐知母中 7 种有效成分芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 A II、知母皂苷 A III、知母皂苷 B II、知母皂苷 B III 的含量分别与颜色指标值 L^* 、 a^* 、 b^* 导入 SPSS 26.0 软件,分析两者相关性分析,结果见表 12。用 Origin 软件做热图, Pearson 相关性分析热图见图 8。

结果表明,芒果苷含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 值双检验的概率值分别为 0.020、0.023、0.030, $P < 0.05$; 新芒果苷含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 值双检验的概率值分别为 0.039、0.043、0.047, $P < 0.05$; 异芒果苷含量

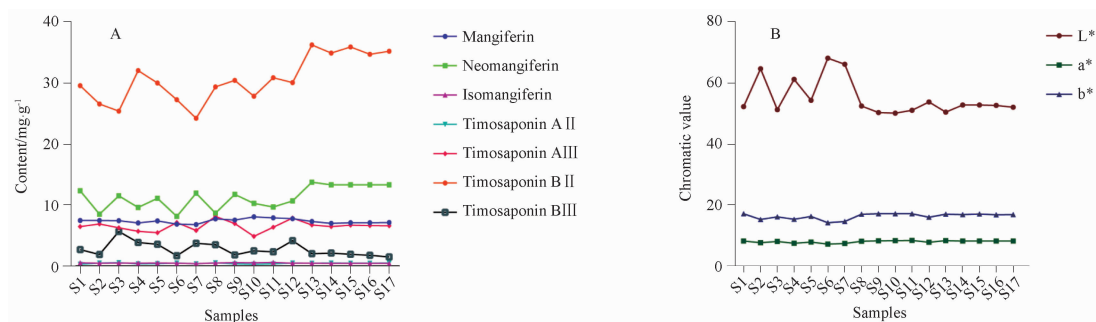


图 7 盐知母有效成分质量分数(A)和色度值变化趋势图(B)

Fig. 7 The mass fraction of effective components(A) and the change trend of chromaticity value(B) of salt Anemarrhena Rhizoma

与 L^* 、 a^* 、 b^* 值双检验的概率值分别为 0.049、0.041、0.049, $P < 0.05$; 知母皂苷 B II 含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 值双检验的概率值分别为 0.045、0.041、0.018, $P < 0.05$, 说明芒果苷、新芒果苷、异芒果苷与 L^* 呈负相关, 与 a^* 、 b^* 值均呈正相关, 在一定程度上, L^* 越小, a^* 越大, b^* 越大, 知母中芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 含量就越高。知母皂苷 A II、知母皂

苷 A III、知母皂苷 B III 与色度值的变化无相关性, 表明随着炮制程度改变, 盐知母中的成分也发生了变化。综上, 样品亮度越低, 红绿、黄蓝色度越高, 则芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 含量就越高。而芒果苷、知母皂苷 B II 也是盐知母的关键成分, 因此通过建立盐知母化学成分含量与外观颜色的相关性, 可对盐知母进行质量初步评价。

表 12 色泽指标 L^* 、 a^* 、 b^* 与盐知母有效成分含量相关性分析

Tab. 12 Correlation analysis between color index L^* , a^* , b^* and the content of effective components in salt Anemarrhena Rhizoma

Component	L^*		a^*		b^*	
	Pearson correlation	P	Pearson correlation	P	Pearson correlation	P
Mangiferin	-0.559 ¹⁾	0.020	0.548 ¹⁾	0.023	0.528 ¹⁾	0.030
Neomangiferin	-0.503 ¹⁾	0.039	0.495 ¹⁾	0.043	0.488 ¹⁾	0.047
Isomangiferin	-0.484 ¹⁾	0.049	0.499 ¹⁾	0.041	0.485 ¹⁾	0.049
Timosaponin A II	0.111	0.672	-0.158	0.544	-0.203	0.435
Timosaponin A III	0.006	0.983	-0.021	0.937	0.013	0.960
Timosaponin B II	-0.491 ¹⁾	0.045	0.499 ¹⁾	0.041	0.567 ¹⁾	0.018
Timosaponin B III	0.004	0.987	-0.240	0.353	-0.222	0.393

注: 与盐知母有效成分相比, ¹⁾ $P < 0.05$ 。

Note: ¹⁾ $P < 0.05$, vs effective components in salt Anemarrhena Rhizoma.

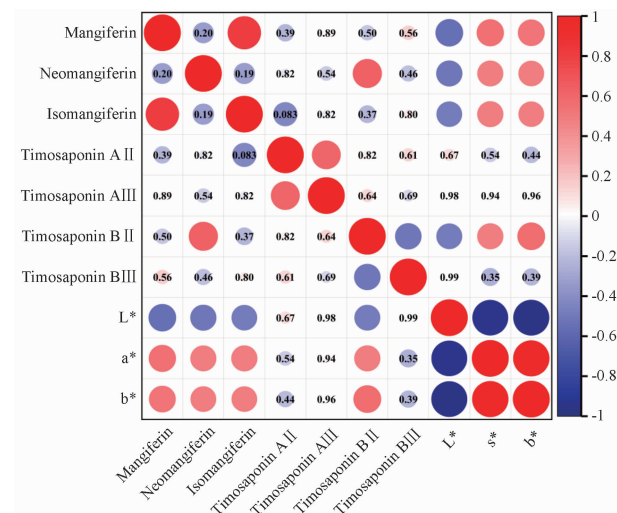


图 8 Pearson 相关性分析热图

Fig. 8 Pearson correlation analysis heat map

3 讨论

在选择盐知母工艺参数的评价指标时, 应尽量涵盖盐知母中主要化学成分黄酮类和皂苷类, 其中黄酮类成分中的芒果苷、皂苷类成分中的知母皂苷 B II 都是《中国药典》2020 年版规定的指标成分。有研究^[14-16]表明, 知母皂苷 B II 和知母皂苷 B III 是盐知母吸收入血的主要成分, 并表现出抗血小板聚集

活性, 提示其与盐知母的药效可能密切相关, 是盐知母整体质量监控中不可忽视的化学成分。最终选择芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 A II、知母皂苷 A III、知母皂苷 B II 和知母皂苷 B III 这 7 个成分的含量作为盐知母炮制工艺参数评价指标。以盐水量, 炒制温度, 炒制时间为影响因素进行工艺优化, 得到最佳炮制工艺为每 200 g 知母饮片加入质量浓度为 $80 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的盐水 50 mL, 闷润 1 h, $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 炒制 15 min。优选盐知母炮制工艺参数明确, 能在一定程度上保障有效成分的含量, 进而确保盐知母的品质。

本实验采用色差计法对盐知母色度值进行测定, 简便、快速地评价了盐知母颜色值的变化, 从而减少人为因素导致的误差, 得到精准的色度量值^[17-19]。为确保盐知母炮制的最佳工艺参数明确, 将盐知母样品色度与 7 种化学成分含量相关联, 探讨盐知母外观色泽与内在成分的关联性, Pearson 相关性分析结果发现, 知母皂苷 A II、知母皂苷 A III、知母皂苷 B III 含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 无显著相关, 芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 与 L^* 存在负相关, 与 a^* 、 b^* 存在正相关, L^* 值越小, a^* 值越大, b^* 值越大, 知母中芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 含量就越高; 说明盐知母颜色越

呈深黄色,芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 含量越高,表明盐知母在不同盐水量,炒制温度,炒制时间的炮制参数下,芒果苷、新芒果苷、异芒果苷、知母皂苷 B II 的含量与色度均有一定程度的变化且有明显相关性,故通过色度测定,可对其质量进行初步评价。

本实验基于“辨状论质”的观点,本实验在继承中医药传统理论思想的指导下,引入色度分析方法量化药材颜色,结合内在成分含量的对比研究,使得基于色度鉴别盐知母饮片的方法更加客观,盐知母炮制工艺参数更加明确,为盐知母炮制过程的质量控制提供参考,为保障中药的优质有效和中药产业的可持续发展奠定基础。

REFERENCES

- [1] LIU G, WANG H, ZHAO Z B. Functional herbal textual research and modern pharmacological understanding of Rhizoma Anemarrhenae[J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*(辽宁中医药大学学报),2018,20(12):191-194.
- [2] WENG L L, CHEN L, SU Y, *et al.* chemical constituents and pharmacological effects of Rhizoma Anemarrhenae[J]. *Jilin J Chin Med*(吉林中医药),2018,38(1):90-92.
- [3] XIA T L, WANG Y, WANG D, *et al.* Based on UPLC-Q-Exactive Orbitrap-MS, the analysis of the components of Rhizoma Anemarrhenae-Cortex Phellodendri into blood[J]. *Chin Pharm J*(中国药理学杂志),2024,59(4):330-337.
- [4] MARELLA C B, SHARP A E, SHEMWELL T A, *et al.* Anemarrhena asphodeloides Bunge and its constituent timosaponin-A III induce cell cycle arrest and apoptosis in pancreatic cancer cells[J]. *FEBS Open Bio*,2018,8(7):1155-1166.
- [5] *Ch. P*(2020). Vol I(中国药典 2020 年版. 一部)[S]. 2020:87.
- [6] YI M. *Shen Nong Ben Cao Jing*(神农本草经)[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1956.
- [7] LU Y, HONG W M, YAO X X, *et al.* Correlation analysis of pink color value and quality index of bran-fried *Atractylodes chinensis* decoction pieces and its processing time[J]. *J China Pharm*(中国药房),2021,32(21):2605-2612.
- [8] TANG Z Q, CHENG X M, LIU Q, *et al.* Study on the correlation between the appearance of honeysuckle and the content of main active ingredients[J]. *Shandong Agric Sci*(山东农业科学),2023,55(11):115-121.
- [9] HUANG J, XIE S F, TANG P L, *et al.* Differences in volatile components and color of frankincense and its processed products[J]. *Chin J Mod Appl Pharm*(中国现代应用药学),2023,40(18):2526-2534.
- [10] ZHENG W. Character identification in traditional Chinese medicine identification methods[J]. *World Latest Med Inf*(世界最新医学信息文摘),2019,19(2):141.
- [11] BAI Y, GONG J Y, GUO Y L, *et al.* Study on the correlation between chromaticity value and saponin content of red ginseng[J]. *J Chin Med Mater*(中药材),2020,43(10):2465-2470.
- [12] ZHAO Y, FENG R, ZHANG Y, *et al.* Response surface methodology was used to optimize the processing technology of fresh stewed sea cucumber[J]. *Food Ind*(食品工业),2024,45(2):77-82.
- [13] LIU L Y, JI Y H, WANG W L, *et al.* Study on the characteristic chromatogram and color change of steamed process of Radix Rehmanniae Preparata and the optimization of processing technology[J]. *J Nanjing Univ Tradit Chin Med*(南京中医药大学学报),2023,39(8):764-774.
- [14] ZHANG Y Z, HE Z J, JIANG H, *et al.* Establishment of HPLC-UVD-ELSD fingerprint of *Anemarrhena asphodeloides* and study on quality control method for content determination of multi-feature components[J]. *J Nanjing Univ Tradit Chin Med*(南京中医药大学学报),2020,36(2):252-258.
- [15] CONG Y, LIU X L, YU Z Y, *et al.* Screening of active components of saponins from *Anemarrhena asphodeloides* inhibiting platelet aggregation and analysis of structure-activity relationship[J]. *Med J Chin People's Lib Army*(解放军医学杂志),2010,35(11):1370-1373.
- [16] GENG J L, DAI Y, YAO Z H, *et al.* Metabolites profile of Xian-Ling-Gu-Baocapsule, a traditional Chinese medicine prescription, in rats by ultra performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry analysis[J]. *J Pharm Biomed Anal*,2014,96:90-103.
- [17] HE X F, RUAN H N, WANG L L, *et al.* Study on the correlation between antler specification and its color and chemical composition[J]. *Chin Pharm J*(中国药理学杂志),2019,54(15):1226-1230.
- [18] YUE C Y, CHEN Y Y, WANG L X, *et al.* Study on the changes of chromatography and chroma values during the processing of fried mulberry bark[J]. *China J Tradit Chin Med*(中国中药杂志),2024,49(7):1865-1871.
- [19] YU X T, GAN L F, DENG G H, *et al.* Study on the correlation between chroma value and characteristic chromatogram of *Rubia cordifolia* charcoal with different processing time[J]. *Chin Pharm J*(中国药理学杂志),2023,58(23):2157-2164.

(收稿日期:2024-05-29)