

多指标综合评价法优选黔产灰毡毛忍冬最佳初加工方法

罗文敏¹, 张珍明¹, 王芳¹, 刘盈盈¹, 刘燕¹, 段如雁¹, 洪江^{2*}

1. 贵州省生物研究所, 贵州 贵阳 550009

2. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550001

摘要: **目的** 探讨不同产地初加工方法对黔产灰毡毛忍冬外观性状、品质成分和加工效率多方面的影响, 为灰毡毛忍冬产地加工方法的优选提供依据。**方法** 采用传统加工方法组(晒干、蒸后晒干、阴干、蒸后阴干)、恒温烘干组(50、60、70、80 °C)、变温烘干组(50→60 °C、50→70 °C、50→80 °C)共 11 种方法加工灰毡毛忍冬, 对加工品从颜色和香气等外观指标, 水分、总灰分、酸不溶性灰分、绿原酸、总皂苷等成分指标, 加工时间和折干率等效率指标分别进行测定。**结果** 综合外观性状、品质成分和加工效率多方面的因素, 11 种加工方法中, 50 °C 恒温和变温方法的综合关联度值在 0.94~0.96, 远高于其他方法, 其中 50→60 °C 方法的综合关联度值最高, 达到了 0.959 8。**结论** 综合来看, 变温干燥是灰毡毛忍冬较好的产地初加工方法, 该方法可作为基地规模化加工灰毡毛忍冬的重要技术手段。

关键词: 灰毡毛忍冬; 产地初加工; 变温烘干; 多指标综合评价; 外观性状; 加工效率; 水分; 总灰分; 酸不溶性灰分; 绿原酸; 总皂苷; 加工时间; 折干率

中图分类号: R283.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2018)04-0826-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.04.012

Optimization of processing method for *Lonicera macranthoides* of Guizhou by multi-index evaluation

LUO Wen-min¹, ZHANG Zhen-ming¹, WANG Fang¹, LIU Ying-ying¹, LIU Yan¹, DUAN Ru-yan¹, HONG Jiang²

1. Guizhou Research Institute of Biology, Guiyang 550009, China

2. Guizhou Academy of Science, Guiyang 550001, China

Abstract: Objective To investigate the effects of different processing methods on the appearance, quality components and processing efficiency of *Lonicera macranthoides* that produced in Guizhou Province, in order to provide basis for the optimization of processing methods. **Methods** Eleven processing methods were used such as the traditional method group (sun drying, sun drying after steaming, drying in shade, and drying in shade after steaming), constant temperature drying group (50, 60, 70, and 80 °C) and variable temperature drying group (50→60 °C, 50→70 °C, 50→80 °C). Then the indicators such as color, aroma, moisture, total ash, acid insoluble ash, chlorogenic acid, total saponins, processing time, and drying rate were measured. **Results** According to all the indicators, the comprehensive correlation degree of the 50 °C and the variable temperature drying method was between 0.94 and 0.96, which was much higher than other methods, and the comprehensive correlation degree of 50→60 °C degrees was the highest, reaching 0.959 8. **Conclusion** In conclusion variable temperature drying method is a better processing method for *L. macranthoides*. This method can be used as an important technical means for large-scale processing.

Key words: *Lonicera macranthoides* Hand. -Mazz.; primary drying processing; variable temperature drying; multi-index comprehensive evaluation; appearance; processing efficiency; moisture; total ash; acid insoluble ash; chlorogenic acid; total saponins; processing time; drying rate

灰毡毛忍冬 *Lonicera macranthoides* Hand. -Mazz. 蕾或带初开的花, 具有清热解毒、凉散风热之功效, 是黔产山银花的主要品种, 山银花药材为其干燥花 主治痈肿疔疮、喉痹、丹毒、热毒血痢、风热感冒、

收稿日期: 2017-10-18

基金项目: 贵州省中药现代化重大专项“贵州地产石斛、半夏等 7 种中药材产地适宜性评价技术体系构建与应用示范”(黔科合重大专项字[2012] 6010 号)

作者简介: 罗文敏(1983—), 女, 贵阳人, 副研究员, 硕士, 研究方向为药材质量评价科研工作。E-mail: luowenmin2006@163.com

*通信作者 洪江(1969—), 女, 副研究员, 硕士, 主要从事药用植物科研工作。E-mail: hj-2786@163.com

温病发热等症^[1]。黔产山银花具有资源优势，但价格却始终偏低。除了市场原因以外，山银花加工技术粗放落后使得品质难以保证也是原因之一，提高山银花加工效率，提升药材品质，增强其市场竞争力，是顺应产业发展的迫切需求。在实际使用中山银花常与金银花混淆，但研究表明山银花和金银花存在很大差异^[2-11]，现代医学研究证实山银花含有独特化学成分，具有许多生物活性，是应用广泛的大宗药材品种^[12-14]。

目前，对山银花产地加工方法的研究有一些报道^[15-18]，但大多仅以山银花的绿原酸、皂苷等成分含量为评价指标，对山银花等级划分有重要影响的外观品相及水分、灰分等品质指标，以及加工时间和折干率等效率指标的研究很少，使得评价不全面，对指导实际生产有局限性。本研究以黔产山银花主要品种灰毡毛忍冬为研究对象，立足于目前加工基地实际生产条件，采用传统加工方法（晒干、蒸后晒干、阴干、蒸后阴干）、恒温烘干（50、60、70、80 °C）、变温烘干（50→60 °C、50→70 °C、50→80 °C）共 11 种方法，对加工品从外观、品质和加工效率等方面分别进行测定和评价，优选出黔产灰毡毛忍冬最佳的初加工技术。本研究构建包含药材外观形状、成分含量和加工效率共 9 个指标的评价体系，采用灰色关联度法构造最优“理想值”，然后结合层次分析法对各指标权重进行科学赋值，最后将实际值与“理想值”进行比较后按亲疏远近排序，最终得到最佳的加工方案。本实验运用多指标综合评价法克服了单一指标评价不全面的缺点^[19-20]，尤其是将难以定量比较的外观性状指标纳入评价体系使评价结果更准确，对实际生产更有科学指导作用。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Waters Acquity Ultra Performance LC 超高效液相色谱仪，配有四元超高压溶剂系统、在线真空脱气机、自动进样恒温样本管理器、PDA 和 ELSD 检测器联用、Empower3 色谱工作站，美国 Waters 公司；XS20S 型万分之一电子分析天平，瑞士 Mettler Toledo 公司；控温控风速干燥箱、FW100 型高速万能粉碎机，天津市泰斯特仪器有限公司；HHS11-8 型电热恒温水浴锅，上海博迅医疗生物仪器股份有限公司；EPED 超纯水系统，南京易普易达科技发展有限公司。

1.2 试剂

乙腈，色谱纯，德国 Merck 公司；超纯水，自制；其余试剂均为分析纯。

1.3 药材

实验所用材料均于夏初 6 月左右花开放前采自贵州省丹寨县灰毡毛忍冬种植基地，并由贵州省植物园魏德生研究员鉴定为忍冬科植物灰毡毛忍冬 *Lonicera macranthoides* Hand. -Mazz. 的花蕾或带初开的花。

1.4 对照品

对照品绿原酸（批号 110753-201314，质量分数为 99.3%）、灰毡毛忍冬皂苷乙（批号 111814-201001，质量分数为 94.4%）、川续断皂苷乙（批号 111813-201202，质量分数为 92.2%）均购自中国食品药品检定研究院。

2 方法与结果

2.1 样品制备

新鲜灰毡毛忍冬采摘后，去净杂质，剔除残缺或过小的，按拟定的加工方法加工成不同样品组，最后分别粉碎，过筛成细粉，作为供试品。晒干、阴干和蒸汽杀青是我国药材加工中常用手段，为了系统比较传统加工方法和现代干燥方法对灰毡毛忍冬药材性状的差异影响，设立了以下加工方法组进行比较。

2.1.1 传统加工方法 取预处理后的新鲜灰毡毛忍冬药材 6 kg，平均分为 4 组，每组平均分为 3 份，每组另取 0.02 kg 的药材作为小样用于记录质量变化，小样与同组药材进行相同的加工处理。第 1 组分别平铺于阳光下晾晒，第 2 组经沸水出蒸汽后蒸汽杀青 5 min 后平铺于阳光下晾晒，第 3 组分别平铺于室内阴凉处晾干，第 4 组蒸汽杀青 5 min 后平铺于室内阴凉处晾干。每天定时记录所有组小样的质量变化，至连读 2 次称量差异小于 0.005 g 为止，即得。

2.1.2 恒温烘干法 取预处理后的新鲜灰毡毛忍冬药材 6 kg，平均分为 4 组，每组平均分为 3 份，每组另取 0.02 kg 的药材作为小样用于记录质量变化，小样与同组药材进行相同的加工处理。从第 1 组到第 4 组分别放置于温度为 50、60、70、80 °C 的电热恒温鼓风干燥箱中，为保证受热情况一致，只铺一层，药材均匀摊放，其堆放密度为 2.5 kg/m²，期间不需翻动，每隔 20 min 取小样进行称量，持续烘至连读 2 次称量差异小于 0.005 g，取出置于干燥皿

中放凉, 即得。

2.1.3 分段变温烘干法 取预处理后的新鲜灰毡毛忍冬药材 4.5 kg, 平均分为 3 组, 每组平均分为 3 份, 每组另取 0.02 kg 的药材作为小样用于记录质量变化, 小样与同组药材进行相同的加工处理。每组均分别放置于 50 °C 的电热恒温鼓风干燥箱中, 为保证受热情况一致, 只铺一层, 堆放密度为 2.5 kg/m², 烘干 2 h, 然后分别放置于温度为 60、70、80 °C 的干燥箱中, 期间不需翻动, 每隔 20 min 取小样进行称量, 持续烘至连续两次称量差异小于 0.005 g, 取出置于干燥皿中放凉, 即得。

2.2 灰毡毛忍冬不同加工方法样品各指标测定方法及结果

2.2.1 外观性状测定方法及结果

(1) 外观性状测定方法: 目前中药材外观性状多以定性描述为主^[21-22], 对不同加工品药材之间的外观优劣难以定量比较, 对于药材外观颜色本实验采用 PANTONE 色卡获得鲜灰毡毛忍冬和各加工品外观色号的颜色配比基本数据, 由于加工以保持鲜品的外观颜色为优, 因此以鲜灰毡毛忍冬色号的颜色配比为参考序列。对于药材气味采用固定 5 人进行鉴评打分, 打分赋值范围为 [0, 10], 气味越香浓则赋值越高, 并以 10 分为最优参考值。采用灰色关联度法将各加工品的数据序列与参考序列进行关联计算, 越接近参考值说明外观性状越优。

(2) 不同加工方法灰毡毛忍冬外观性状的差异: 灰毡毛忍冬经过加工后, 颜色都有不同程度的加深, 并且颜色随着温度升高逐渐加深。其中 50 °C、50→60 °C、50→70 °C、50→80 °C 都能较好的保持灰毡毛忍冬黄绿色的外观性状, 而其他加工方法都使得灰毡毛忍冬外观出现不同程度褐变, 其中尤以阴干和蒸阴方法加工的药材颜色最深。本实验将鲜灰毡毛忍冬色卡中的颜色配比数据为参考值, 各加工品的颜色配比数据为比较值, 当比较值越接近参考值则颜色越优, 取值见表 1。

灰毡毛忍冬经过加工后气味都有不同程度的散失, 基本呈现加工温度越高气味散失越多的趋势, 这主要是与热敏性的化学成分随着温度升高逐渐散失有关。对于药材气味采用固定 5 人进行鉴评打分, 并以满分 10 分作为参考值, 各加工方法药材气味鉴评结果见表 1, 取值越高则气味越浓郁。

2.2.2 成分定量测定及结果

(1) 不同加工方法灰毡毛忍冬的水分、总灰分、

表 1 灰毡毛忍冬不同加工方法外观性状

Table 1 Appearance characteristics of different processing methods

加工方法	色号	颜色配比				气味
		黄色	四色蓝	透光白	其他	
参考值	380	23.4	1.6	75.00	0.0	10
晒干	457	87.5	6.2	0.00	6.3	8
蒸晒	464	60.1	13.3	0.00	26.6	7
阴干	463	56.6	12.5	0.00	30.9	8
蒸阴	462	48.1	10.6	0.00	41.3	8
50 °C	584	23.4	1.6	75.00	0.0	8
50→60 °C	584	23.4	1.6	75.00	0.0	8
50→70 °C	584	23.4	1.6	75.00	0.0	8
50→80 °C	584	23.4	1.6	75.00	0.0	8
60 °C	464	60.1	13.3	0.00	26.6	7
70 °C	464	60.1	13.3	0.00	26.6	6
80 °C	465	15	3.3	75.00	6.7	6

酸不溶性灰分含量测定方法结果: 按《中国药典》2015 年版一部通则 0832 (第二法)、通则 2302 分别测定各样品中的水分含量、总灰分和酸不溶性灰分含量, 具体操作步骤见《中国药典》2015 年版一部^[1], 实验在贵州省生物研究所实验中心完成。

药材中水分、总灰分和酸不溶性灰分等指标与药材品质一般呈负相关, 即这些指标含量在一定范围内越低药材的品质越好。11 种加工方法水分、总灰分和酸不溶性灰分 3 个指标均低于药典标准要求的 15%、10% 和 3% 的限值要求。其中采用现代加工方法的水分量基本在 5%~7%, 传统的晒干和阴干加工方法水分量基本在 7%~13%, 可见现代加工方法药材的水分量要略低于传统的加工方法; 不同加工方法灰毡毛忍冬的总灰分和酸不溶性灰分量也呈现差异, 为了保证不同方法比较的一致性, 需要将总灰分和酸不溶性灰分实测值折除水分差异后进行比较, 折算公式为折除后含量值=实测值/(1-水分量), 折除水分后总灰分和酸不溶性灰分结果见表 2。结果表明, 11 种加工方法灰毡毛忍冬的总灰分含量差异不显著, 含量集中在 6%~8%, 对于酸不溶性灰分, 恒温干燥组 (50、60、70、80 °C) 的酸不溶性灰分普遍高于传统方法和变温方法组, 酸不溶性灰分差异大的原因有待进一步研究。

(2) 不同加工方法灰毡毛忍冬的绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙和川续断皂苷乙含量测定方法及结果: 灰毡毛忍冬中绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙和川

表 2 不同加工方法灰毡毛忍冬成分含量测定结果

Table 2 Determination of contents of different processing methods

加工方法	水分/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%	绿原酸/%	灰毡毛忍冬皂苷/%	川续断皂苷/%	皂苷总和/%
晒干	8.407 5	6.912 0	0.037 92	2.995 8	5.926 1	0.415 5	6.341 6
蒸晒	6.676 9	3.349 1	0.034 76	2.055 8	5.514 1	0.353 3	5.867 5
阴干	12.831 6	7.867 7	0.066 45	0.838 1	4.087 1	0.252 6	4.339 7
蒸阴	12.664 7	7.227 7	0.078 26	1.181 1	5.916 9	0.454 3	6.371 2
50 °C	6.738 2	8.023 4	1.755 92	3.422 3	5.811 5	0.336 0	6.147 5
60 °C	7.428 0	8.156 7	1.914 14	1.531 9	6.027 1	0.403 3	6.430 4
70 °C	6.018 7	7.240 2	0.803 17	1.269 8	6.047 2	0.386 6	6.433 8
80 °C	6.161 9	7.793 5	1.524 08	1.832 8	6.063 5	0.319 7	6.383 3
50→60 °C	4.913 6	6.672 2	0.081 08	2.366 3	5.784 2	0.473 3	6.257 5
50→70 °C	4.416 2	6.567 5	0.134 17	2.832 2	6.309 9	0.395 7	6.705 6
50→80 °C	4.672 4	6.551 7	0.073 50	2.748 4	6.315 1	0.482 5	6.797 6

续断皂苷乙含量委托贵阳中医学院实验中心完成测定，具体测定方法参考文献文献^[23]。

色谱条件：采用 Acquity UPLC BEH C₁₈ (100 mm×2.1 mm, 1.7 μm) 色谱柱，流动相为乙腈-0.4% 醋酸水溶液，梯度洗脱：0~2.0 min, 7% 乙腈；2.0~2.3 min, 7%~28% 乙腈；2.3~10.0 min, 28% 乙腈；10.0~10.5 min, 28%~7% 乙腈；梯度体积流量：0~2.0 min, 0.35 mL/min；2.0~2.3 min, 0.35~0.25 mL/min；2.3~2.6 min, 0.25~0.15 mL/min；2.6~2.8 min, 0.15~0.10 mL/min；2.8~4.0 min, 0.10~0.20 mL/min；4.0~4.3 min, 0.20~0.30 mL/min；4.3~4.5 min, 0.30~0.35 mL/min；4.5~10.5 min, 0.35 mL/min；PDA 紫外检测器用于绿原酸检测，波长 330 nm；ELSD 蒸发光散射检测器检测灰毡毛忍冬皂苷乙和川续断皂苷乙含量，漂移管温度为 60 °C，喷雾器 48 °C，增益值 100，气体压力 137.91 kPa (20 psi)，柱温 50 °C。绿原酸分离度为 5.4，川续断皂苷分离度为 2.0，灰毡毛忍冬皂苷分离度为 2.3。色谱图见图 1、2。

混合对照品溶液的制备：取绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙和川续断皂苷乙对照品适量，精密称定，加 50% 甲醇制成含绿原酸 0.573 mg/mL、灰毡毛忍冬皂苷乙 0.588 mg/mL、川续断皂苷乙 0.232 mg/mL 的混合对照品溶液，即得。

供试品溶液的制备：取过筛后的灰毡毛忍冬粉末约 0.5 g，精密称定，置具塞锥形瓶中，精密加入 50% 甲醇 50 mL，称定质量，超声处理 40 min，放冷，再称定质量，用 50% 甲醇补足缺失的质量，摇匀，滤过，取续滤液，过 0.22 μm 微孔滤膜，即得。

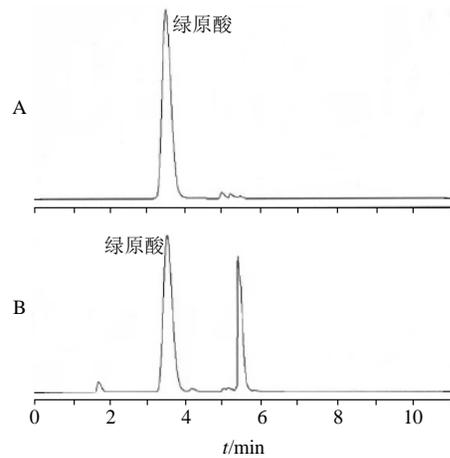


图 1 绿原酸对照品 (A) 和灰毡毛忍冬样品 (B) 的 HPLC-PDA 图

Fig. 1 HPLC-PDA of chlorogenic acid reference substance (A) and *L. macranthoides* sample (B)

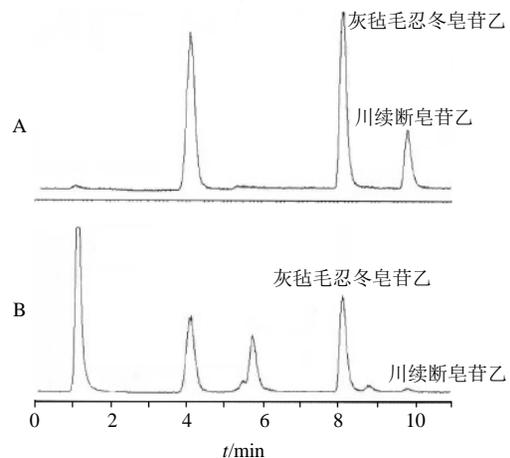


图 2 混合对照品 (A) 和灰毡毛忍冬样品 (B) 的 HPLC-ELSD 图

Fig. 2 HPLC-ELSD of mixed reference substances (A) and *L. macranthoides* sample (B)

灰毡毛忍冬中绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙和川续断皂苷乙含量是表征药材品质的特征活性成分，活性成分含量越高则药材的品质越好。由于样品含水量不同，为了保证比较的一致性，需要将各样品活性成分实测值折除水分差异后进行比较，折除水分差异后不同方法药材活性成分含量结果见表 2。结果表明，阴干方法的灰毡毛忍冬皂苷乙和川续断皂苷乙总含量为 4.34% 未达到标准要求，其余方法的皂苷总含量均高于 5.0% 的标准限值，其中 50→80 °C 方法的皂苷总量最高，达到了 6.80%。另外，不同加工方法绿原酸含量差异较大，绿原酸量以 50 °C 加工的最高，达到了 3.42%，次高的是晒干方法，达到 2.996%，但是其中阴干、蒸阴、60、70、80 °C 方法加工的药材绿原酸量均低于 2.0% 的标准限值。

2.2.3 加工效率指标测定

(1) 加工效率指标测定方法：实验过程中记录每种加工方法灰毡毛忍冬从鲜样到恒定质量时的加工时间，并记录干燥前后灰毡毛忍冬的质量，可得到不同加工方法的商品折干率指标，商品折干率=干燥后质量/干燥前质量。

(2) 不同加工方法灰毡毛忍冬干燥时间测定结果：灰毡毛忍冬干燥时间随着温度的升高而显著缩短，50、60、70、80 °C 干燥时间分别在 13、5、3、2 h 左右，采用变温干燥的方法，干燥时间为 5~8 h，比 50 °C 干燥缩短 4~7 h。其中晒干、蒸后晒干、阴干和蒸后阴干 4 种加工方法的干燥时间最长，晒干的干燥时间在 75 h (3 d) 左右，阴干的干燥时间在 314 h (13 d) 左右，结果见表 3。

(3) 不同加工方法灰毡毛忍冬的折干率测定结果：不同加工方法灰毡毛忍冬的折干率不同，总体来看，变温干燥的折干率在 30%~40%，其他加工方法的折干率多集中在 20%~30%，可见变温干燥能明显提高灰毡毛忍冬的成品量，结果见表 3。

2.3 多指标综合评价法优选最佳加工方法

2.3.1 权重确定 层次分析法是将定性分析与定量分析有机结合的科学决策方法，既包含了主观的逻辑判断和分析，又发挥了定量分析的优势^[24-25]。根据灰毡毛忍冬各性状指标间的相互关系和隶属关系，构建 3 个层次的综合评价结构模型 (表 4)。根据 T. L. Saaty 1-9 比率标度法^[26] (表 5)，通过因素间两两比较来构造判断矩阵 (表 6)，从而确定各指标对综合性状的影响权重，消除了由偶然因素造成

表 3 不同加工方法的加工时间和折干率

Table 3 Time and drying rate of different processing methods

加工方法	加工时间/h	折干率/%
晒干	74.5	23.020 1
蒸晒	74.5	23.703 7
阴干	314.0	22.268 5
蒸阴	314.0	23.509 9
50 °C	10.3	28.547 7
60 °C	5.0	28.665 0
70 °C	2.7	26.466 7
80 °C	1.7	23.829 5
50→60 °C	7.8	38.287 2
50→70 °C	6.5	38.598 8
50→80 °C	5.5	29.691 4

表 4 不同加工方法灰毡毛忍冬综合质量评价因子的分层结构模型

Table 4 Layed structure model of comprehensive evaluation factors

目标层 A	中间层 C	指标层 P
灰毡毛忍冬综合品质	C1 外观因子	P1 颜色
		P2 气味
	C2 成分因子	P3 水分
		P4 总灰分
		P5 酸不溶性灰分
		P6 绿原酸
		P7 总皂苷
	C3 效率因子	P8 加工时间
		P9 折干率

表 5 1~9 比率标度法

Table 5 1—9 ratio scale method

标度	含义
1	表示两个指标具有同样的重要性
3	表示一个指标比另一个指标稍微重要
5	表示一个指标比另一个指标明显重要
7	表示一个指标比另一个指标强烈重要
9	表示一个指标比另一个指标极端重要
2, 4, 6, 8	各位上述两相邻判断的中值
标度的倒数	如果指标 <i>i</i> 与 <i>j</i> 比较得 b_{ij} , 则 <i>j</i> 与指标 <i>i</i> 比较得 $1/b_{ij}$

的认识上的差异，使加权值更客观合理。为了保证结果的合理性，本实验对不同层次判断矩阵均进行了一致性检验 A-Ci 层、C1-Pi 层、C2-Pi 层和 C3-Pi

表 6 判断矩阵及权重、最大特征值 (λ_{\max})、CR 值
Table 6 Judgment matrix, weights, maximum eigenvalue (λ_{\max}), and its consistency check

项目	判断矩阵			权重	λ_{\max}	CR		
A-Ci	C1	C2	C3					
C1	1	1/2	5	0.352 2	3.053 6	0.046 2		
C2	2	1	5	0.559 1				
C3	1/5	1/5	1	0.088 7				
C1-Pi	P1	P2						
P1	1	5		0.833 3	2.00	0.00		
P2	1/5	1		0.166 7				
C2-Pi	P3	P4	P5	P6	P7			
P3	1	2	2	1/7	1/7	0.077 3	5.077 3	0.017 3
P4	1/2	1	1	1/7	1/7	0.051 0		
P5	1/2	1	1	1/7	1/7	0.051 0		
P6	7	7	7	1	1	0.410 3		
P7	7	7	7	1	1	0.410 3		
C3-Pi	P8	P9						
P8	1	1/7				0.125 0	2	0.00
P9	7	1				0.875 0		

层的随机一致性比率 (CR) 分别为 0.046 2、0.00、0.017 3 和 0.00, 均小于 0.10, 当 CR 小于 0.10 时, 便认为判断矩阵具有可接受的一致性。最终得到外观因子、成分因子和效率因子的权重分别为 0.352 2、0.559 1 和 0.088 7, 其中外观因子中颜色和气味指标的权重分别为 0.833 3 和 0.166 7, 成分因子中水分、总灰分、酸不溶性灰分、绿原酸和总皂苷指标的权重分别为 0.077 3、0.051 0、0.051 0、0.410 3 和 0.410 3, 效益因子中加工时间和折干率指标的权重分别为 0.125 0、0.875 0。

2.3.2 综合评价方法 根据灰色系统^[27-28]和多指标综合评价方法^[29]将加工后的灰毡毛忍冬各项指标视为灰色系统的单个因素, 联合灰色关联度法和综合评价法对各加工方法进行评价、排序和优选。具体方法为选择各个指标的最优 (大) 值作为参考数列 $x_0(k)$, 将不同方法相应指标含量设为比较数列 $x_i(k)=(k_1, k_2, k_3, \dots, k_n, k_{n+1})$, 因灰毡毛忍冬的各项指标中的水分、总灰分、酸不溶性灰分和加工时间的值越小越好, 则为逆指标, 其余均越大越好则为正指标, 为保证综合评价时正逆指标间的相容, 评价前需将逆指标对数化预处理后求倒数转化为正指标, 即 $x_{\text{正}}(k)=1/\lg x_{\text{逆}}(k)$ ^[30], 然后采用初值法, 即每个数列除以首数字对各数据进行无量纲化处

理, 设原数列 $x_i(k)=(k_1, k_2, k_3, \dots, k_n, k_{n+1})$, 初值化后的新标准化数列 $x_i(k)'=(k_1/k_1, k_2/k_1, k_3/k_1, \dots, k_n/k_1, k_{n+1}/k_1)$ 。

然后根据“2.3.1”层次分析法确定出各指标的权重值 w_i , 根据式 (1) 计算出关联系数 $\zeta_i(k)$, 根据式 (2) 计算出灰关联度值 (r_i), 根据式 (3) 计算出加权后的关联度值 (R_i)。 R_i 越大, 表明与参考序列越接近、效果越好; 得出不同加工方法外观性状指标、成分指标和效率指标的关联度后, 根据式 (4) 计算得到综合关联度 (R), 并根据 R 大小得出不同加工方法的优劣综合排序, 从而得出灰毡毛忍冬最佳的产地初加工方法。

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \quad (2)$$

$\zeta_i(k)$ 为第 k 个指标比较值 x_i 与参考值 x_0 的相对值, 即 x_i 对 x_0 在 k 个指标的关联系数; r_i 为灰色关联度; $|x_0(k) - x_i(k)|$ 称为 x_0 与 x_i 第 k 个指标的绝对差; $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 和 $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 分别称为两级极小差和两级极大差; ρ 为分辨系数, 其值在 0~1, 一般取 0.5; n 为单项指标的数量

$$R_i = \sum_{k=1}^n w_i \zeta_i(k) \quad (3)$$

R_i 为赋权后的灰色关联度, w_i 为各指标权重, $\zeta_i(k)$ 为各指标的关联系数

$$R = R_1 w_1 + R_2 w_2 + R_3 w_3 \quad (4)$$

R_1 为外观性状指标关联度, w_1 为外观性状指标权重, R_2 为成分指标关联度, w_2 为成分指标权重, R_3 为效率指标关联度, w_3 为效率指标权重

2.3.3 综合评价结果 正指标以数列中最优 (大) 值为参考值, 逆指标以数列中最小值为参考值, 随后按照“2.3.2”项方法将灰毡毛忍冬的逆指标 (水分、总灰分、酸不溶性灰分、加工时间) 包括参考值对数化预处理后求倒数转化为正指标, 然后将各指标数列分为外观性状指标、成分指标和效益指标 3 个子数列, 每个子数列分别进行初值化处理, 即该数列的每个数值除以该数列的首数字后得到新的标准化数列, 初值化后的标准数据见表 7。

采用“2.3.2”项中公式 (1) 和 (2) 计算出各指标的关联系数 (表 8), 再根据“2.3.1”项层次分析法确定的各指标的权重, 采用“2.3.2”项中公式 (3) 分别计算出外观性状指标、成分指标和效率指

表 7 初值化后的标准数据

Table 7 Standardized data

项目	外观性状指标					成分指标					效益指标	
	黄色	四色蓝	透光白	其他	气味	水分	总灰分	酸不溶性灰分	绿原酸	总皂苷	加工时间	折干率
参考值	1.0000	0.068 4	3.205 1	0.000 0	0.427 4	1.000 0	1.144 7	0.391 7	-0.027 1	-0.067 7	1.000 0	11.678 0
晒干	1.0000	0.070 9	0.000 0	0.072 0	0.091 4	1.000 0	0.926 7	0.314 3	-0.032 2	-0.068 2	1.000 0	2.320 3
蒸晒	1.0000	0.221 3	0.000 0	0.442 6	0.116 5	1.000 0	1.001 7	0.339 8	-0.024 2	-0.069 0	1.000 0	2.253 4
阴干	1.0000	0.220 8	0.000 0	0.545 9	0.141 3	1.000 0	0.807 6	0.280 6	-0.007 5	-0.038 7	1.000 0	1.798 5
蒸阴	1.0000	0.220 4	0.000 0	0.858 6	0.166 3	1.000 0	0.786 5	0.288 9	-0.010 6	-0.057 2	1.000 0	1.703 5
50 °C	1.0000	0.068 4	3.205 1	0.000 0	0.341 9	1.000 0	1.069 2	0.667 3	-0.040 1	-0.072 0	1.000 0	3.453 7
60 °C	1.0000	0.221 3	0.000 0	0.442 6	0.116 5	1.000 0	1.037 3	0.657 2	-0.017 3	-0.072 6	1.000 0	4.991 0
70 °C	1.0000	0.221 3	0.000 0	0.442 6	0.099 8	1.000 0	1.070 4	0.582 5	-0.015 5	-0.078 5	1.000 0	8.870 0
80 °C	1.0000	0.220 0	5.000 0	0.446 7	0.400 0	1.000 0	1.092 0	0.666 1	-0.022 2	-0.077 3	1.000 0	18.916 0
50→60 °C	1.0000	0.068 4	3.205 1	0.000 0	0.341 9	1.000 0	1.113 0	0.423 3	-0.031 0	-0.081 9	1.000 0	2.921 7
50→70 °C	1.0000	0.068 4	3.205 1	0.000 0	0.341 9	1.000 0	1.145 7	0.471 7	-0.038 4	-0.090 9	1.000 0	3.187 0
50→80 °C	1.0000	0.068 4	3.205 1	0.000 0	0.341 9	1.000 0	1.124 0	0.424 6	-0.036 6	-0.090 4	1.000 0	4.549 1

表 8 各指标关联系数和权重

Table 8 Correlation coefficient and weight of index

项目	外观性状指标					成分指标					效率指标	
	黄色	四色蓝	透光白	其他	气味	水分	总灰分	酸不溶性灰分	绿原酸	总皂苷	加工时间	折干率
权重	0.208 0	0.208 0	0.208 0	0.208 0	0.167 0	0.077 3	0.051 0	0.051 0	0.410 3	0.410 3	0.875 0	0.125 0
晒干	1.000 0	0.998 5	0.333 3	0.957 0	0.826 7	1.000 0	0.451 0	0.698 3	0.972 2	0.997 5	1.000 0	0.347 7
蒸晒	1.000 0	0.912 9	0.333 3	0.783 6	0.837 5	1.000 0	0.556 0	0.775 3	0.983 9	0.993 2	1.000 0	0.346 1
阴干	1.000 0	0.913 1	0.333 3	0.745 9	0.848 6	1.000 0	0.347 0	0.617 2	0.901 2	0.860 4	1.000 0	0.335 5
蒸阴	1.000 0	0.913 4	0.333 3	0.651 1	0.859 9	1.000 0	0.333 3	0.635 3	0.915 7	0.944 3	1.000 0	0.333 3
50 °C	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.949 4	1.000 0	0.703 4	0.393 9	0.932 4	0.976 7	1.000 0	0.377 5
60 °C	1.000 0	0.912 9	0.333 3	0.783 6	0.837 5	1.000 0	0.625 2	0.402 9	0.948 1	0.973 6	1.000 0	0.427 2
70 °C	1.000 0	0.912 9	0.333 3	0.783 6	0.830 3	1.000 0	0.706 6	0.484 2	0.939 2	0.943 3	1.000 0	0.639 8
80 °C	1.000 0	0.913 6	0.471 7	0.782 0	0.983 2	1.000 0	0.772 7	0.395 0	0.973 3	0.949 6	1.000 0	0.407 9
50→60 °C	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.949 4	1.000 0	0.849 5	0.849 9	0.978 9	0.926 8	1.000 0	0.362 9
50→70 °C	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.949 4	1.000 0	0.994 4	0.691 2	0.940 8	0.885 7	1.000 0	0.370 0
50→80 °C	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.949 4	1.000 0	0.896 4	0.845 0	0.949 8	0.887 6	1.000 0	0.411 6

标关联度，最后采用“2.3.2”项公式(4)计算出综合关联度值(表9)。

结果表明，从外观性状指标来看，50 °C恒温和变温加工的方法与参考序列关联度最高，达到了0.991 6，次高的是80 °C和晒干的方法，两者关联度均在0.8左右，其余方法关联度均在0.8以下；对成分指标而言，成分指标关联度最高的前3位分别为蒸晒、50→60 °C变温烘干和晒干，其关联度值分别为0.956 5、0.946 0和0.944 2，可见采用传统的晒干和蒸后晒干的方法在成分含量方面有微弱优

势，同时阴干和蒸后阴干方法药材的成分关联度值居11种方法中最末位，仅为0.849 4和0.889 9，说明采阴干和蒸阴的方法加工，将对药材的成分含量产生不利影响；从加工效率指标看，现代烘干方法比传统加工方法的关联度普遍要高，现代烘干方法的关联度值均在0.92~0.96，而传统加工方法的关联度值均低于0.92，其中以70 °C加工的效率关联度最高，达到0.955 0，以蒸后阴干的效率关联度最低，仅为0.916 7。

综合外观性状指标、成分指标和效率指标，得

表 9 灰毡毛忍冬不同产地初加工方法综合评价结果

Table 9 Result of comprehensive evaluation for different processing methods

加工方法	外观指标关联度	外观排序	成分指标关联度	成分排序	效益指标关联度	效益排序	综合关联度	综合排序
晒干	0.822 9	6	0.944 2	3	0.918 5	8	0.899 2	5
蒸后晒干	0.770 8	7	0.956 5	1	0.918 3	9	0.887 7	7
阴干	0.764 8	10	0.849 4	11	0.916 9	10	0.825 6	11
蒸后阴干	0.747 0	11	0.889 9	10	0.916 7	11	0.842 0	10
50 ℃	0.991 6	1	0.916 6	7	0.922 2	5	0.943 5	3
60 ℃	0.770 8	7	0.918 3	6	0.928 4	2	0.867 2	8
70 ℃	0.769 6	9	0.910 5	9	0.955 0	1	0.864 8	9
80 ℃	0.823 7	5	0.925 9	4	0.926 0	4	0.889 9	6
50→60 ℃	0.991 6	1	0.946 0	2	0.920 4	7	0.959 8	1
50→70 ℃	0.991 6	1	0.912 8	8	0.921 3	6	0.941 3	4
50→80 ℃	0.991 6	1	0.920 1	5	0.926 5	3	0.945 8	2

到不同加工方法灰毡毛忍冬综合关联度值，并据此得出不同加工方法综合指标的优劣排序，从而优选出灰毡毛忍冬最佳的产地初加工方法。从表 9 的结果可见，11 种加工方法综合关联度值由高到低排序为 50~60 ℃ > 50~80 ℃ > 50 ℃ > 50~70 ℃ > 晒干 > 80 ℃ > 蒸后晒干 > 60 ℃ > 70 ℃ > 蒸后阴干 > 阴干，结果表明，50 ℃ 恒温 and 变温加工的方法综合关联度值均在 0.94~0.96，明显高于其他加工方法，其他加工方法的综合关联度值均低于 0.90。可见 50 ℃ 的恒温 and 变温加工方法是灰毡毛忍冬较好的产地初加工方法，其中又以 50~60 ℃ 变温干燥的方法最佳。

3 讨论

3.1 药材外观性状的定量化分析比较

随着现代科学技术及仪器设备的高速发展，中药的理化鉴别、显微鉴别和有效成分测定都有了很大发展，但是在药材加工、饮片炮制、市场采购、医院药房等中药产购销一线，中药的外观性状鉴别仍然占有不可替代的地位，药材的性状鉴别主要包括颜色、气味、质地、性状等的考察，其中颜色的鉴别又是最直接的一环^[31]。颜色是中药材品种、质量优劣初步筛查的基础手段，是很多中药材等级划分一个重要的属性特征，在药材加工销售上具有很强的实用价值。但是，对于中药的颜色历来多以定性描述为主，表述模糊难以形成对同一种中药颜色的统一认知，使得中药颜色这一重要特征在实际应用中并未完全发挥其应有的作用。本实验采用国际上颜色通用语言——PANTONE 色卡作为药材颜色表达新手段，便于药材颜色的描述定量化，也便于

生产和销售中药材颜色信息交流和药材性状鉴别。同时，本实验根据 PANTONE 色卡颜色配比基本数据，采用灰色关联度法将不同样品间的颜色进行定量比较，为中药材颜色的定量描述和定量比较提供新思路。

3.2 多指标综合评价法优选最佳加工方法必要性分析

在生产实践中，对于药材加工不仅希望能保证药材的有效成分含量高，还希望药材能保持相对最佳的外观性状（如外观颜色、药材气味等），并能尽可能的提高加工效率（如缩短加工时间、提高商品折干率等）。面对这诸多复杂的影响因素，仅靠单一的成分指标含量比较是难以得到满意的结果，只有将药材加工的外观性状、成分含量和效率因素统一起来综合考虑，并给不同指标因素进行科学赋权，才能优选出生产实际中最适宜的加工方法。

本实验中不同加工方法灰毡毛忍冬的外观性状、成分含量、加工时间以及折干率等都表现出较大的差异，对外观性状而言，50 ℃ 的恒温及变温干燥方法药材的外观性状最优，均能保持接近鲜品的黄绿色外观颜色，而传统的加工方法及较高温度的加工都使得灰毡毛忍冬外观出现不同程度褐变，直接影响药材成品等级；对于成分含量而言，几种方法加工的灰毡毛忍冬成分含量虽有差异但差异不显著，侧面反映了只从成分含量一类指标进行比较是难以反映实际情况的；对于效率指标而言，采用现代烘干方法比传统加工方法有较大优势。因此，综合外观性状、成分含量和加工效率等 3 个方面的因素，得出 50 ℃ 变温干燥是灰毡毛忍冬较好的产地

初加工方法,该方法可作为基地规模化加工灰毡毛忍冬的重要技术手段。同时可见多指标综合评价的结果比单因素指标的评价结果考虑更全面,对生产实际更具有指导作用。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] 郑义,陈晓兰,丁宁,等. 金银花和山银花有效成分测定及比较分析 [J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(4): 170-174.
- [3] 耿世磊,赵晟,姚飞平,等. 金银花与山银花原植物叶表皮特征的比较研究 [J]. 中草药, 2006, 37(12): 1869-1872.
- [4] 饶伟文,黄海燕. 金银花与山银花主要有效成分含量比较 [J]. 国际中医中药杂志, 2016, 38(10): 926-931.
- [5] 王振中,毕宇安,尚强,等. 金银花与山银花挥发性成分 GC-MS 的研究 [J]. 中草药, 2008, 39(5): 672-674.
- [6] 李泮霖,李楚源,刘孟华,等. 基于 UFLC-Triple-Q-TOF-MS/MS 技术的金银花、山银花化学成分比较 [J]. 中南药学, 2016, 14(4): 363-369.
- [7] 王浩兵,邓力,马元春,等. 基于 UHPLC 的金银花和山银花的鉴别及测定研究 [J]. 中草药, 2017, 48(12): 2516-2521.
- [8] 欧水平,张文志,陈灵. 金银花与山银花抗病毒酚酸类和黄酮类成分的差异性研究 [J]. 中国药房, 2015, 26(33): 4750-4752.
- [9] 刘亚楠,石典花,雷留成. 金银花与山银花的 HPLC 指纹图谱鉴别研究 [J]. 中草药, 2017, 48(4): 773-776.
- [10] 吴飞燕,冯宋岗,曾建国. 金银花和山银花的鉴别与归属研究 [J]. 中草药, 2014, 45(8): 1150-1156.
- [11] 李泮霖,贺利利,李楚源,等. 金银花和山银花抗急性口腔炎症作用比较 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2016, 55(4): 118-122.
- [12] 汪宏锦,王红玉,何然,等. 灰毡毛忍冬花蕾提取物及其两种主要皂苷的溶血性研究 [J]. 中国药理学通报, 2016, 32(1): 43-48.
- [13] 陈灵,周艳萌,欧水平,等. 山银花水提取物体外抗甲型 H1N1 流感病毒的作用研究 [J]. 中国药房, 2017, 28(16): 2194-2197.
- [14] Hu X, Chen L, Shi S, et al. Antioxidant capacity and phenolic compounds of *Lonicerae macranthoides* by HPLC-DAD-QTOF-MS/MS [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2016, 30(124): 254-260.
- [15] 王芳,王小平,黎丹,等. 不同加工方法对山银花中主要成分含量的影响 [J]. 广东药学院学报, 2015, 31(4): 466-469.
- [16] 王君,曾静,谢红旗,等. 基于鲜山银花的产地初加工工艺研究 [J]. 中国现代中药, 2013, 15(5): 379-383.
- [17] 刘艳,何兵,熊伟,等. 不同加工方法对泸州山银花品质影响的研究 [J]. 药物分析杂志, 2013, 33(11): 1984-1988.
- [18] 张慧芳,罗国海,陈宗良. 不同加工方法对山银花中绿原酸含量测定的影响 [J]. 中医药导报, 2008, 14(11): 75-76.
- [19] 李红,朱建平. 综合评价方法研究进展评述 [J]. 统计与决策, 2012(9): 7-11.
- [20] 徐志伟,曹岗,杜伟锋,等. 多指标综合评价麸炒白芍的炮制工艺 [J]. 中草药, 2014, 45(13): 1867-1870.
- [21] 李林,季琳,程雪,等. 多指标综合优选黄芪药材硫磺熏蒸替代技术研究 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(14): 2581-2586.
- [22] 王小平,白吉庆,寇文龙,等. 不同加工与贮藏方法对商洛产丹参药材品质的影响 [J]. 中草药, 2013, 44(11): 1407-1411.
- [23] 赵留存,叶世芸,杨春,等. UPLC-PDA-ELSD 测定贵州灰毡毛忍冬中绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙和川续断皂苷乙的含量 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(7): 64-67.
- [24] 虞晓芬,傅玳. 多指标综合评价方法综述 [J]. 统计与决策, 2004, 179(11): 119-121.
- [25] 刘艳,邓博,邱玥,等. 基于模糊层次分析法优选红花通络方最佳提取工艺路线 [J]. 中草药, 2016, 47(17): 3009-3015.
- [26] Saaty T L. How to make a decision: The analytic hierarchy process [J]. *Eur J Oper Res*, 1990, 48(1): 9-26.
- [27] 肖新平,宋中民,李峰. 灰技术基础及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [28] 邓聚龙. 灰色系统基本方法 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [29] 邱东. 多指标综合评价方法的系统分析 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991.
- [30] 苏为华. 对数型功效系数法初探 [J]. 统计研究, 1993, 10(3): 63-66.
- [31] 孟庆安,刘恩顺. 实现中药颜色客观化表达的研究思路探讨 [J]. 天津中医药, 2014, 31(11): 696-699.