

杜仲饮料底浆的生产工艺研究

陈志远^{1,2*}

(1. 陕西理工大学, 陕西省资源生物重点实验室, 汉中 723000; 2. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 汉中 723000)

摘要: **目的** 研究杜仲饮料底浆的生产工艺条件。**方法** 以药食同源的杜仲叶为原料, 水为提取溶剂, 绿原酸的浸出率为主要评价指标, 采用单因素分析及 Box-Behnken 响应面法优化杜仲饮料底浆的生产工艺参数。根据获得的提取参数数据, 优选可用于实际生产监控饮料底浆质量的内控指标。**结果** 响应面法优化的最佳提取条件为提取时间 50 min, 提取温度为 86 °C, 料液比为 12:1(mL:g), 此条件下绿原酸浸出率为 13.2017 mg/g。相关性分析表明绿原酸浓度与可溶性固形物指标之间的相关性呈极显著水平($P < 0.01$), 但不足以构建可信的线性回归方程。**结论** 温度、提取时间、料液比是控制杜仲饮料底浆制备质量的主要参数, 而可溶性固形物适合作为中试及生产中的初步监控指标, 绿原酸浓度适合作为饮料配制的精细监控指标。

关键词: 杜仲叶; 响应面法; 植物饮料底浆

Study on the production process of *Eucommia ulmoides* beverage base slurry

CHEN Zhi-Yuan^{1,2*}

(1. Bio-Resources Key Laboratory of Shaanxi Province, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China;
2. College of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

ABSTRACT: Objective To study the production process of *Eucommia ulmoides* beverage base slurry. **Methods** The leaves of *Eucommia ulmoides* were used as raw materials, water was used as extraction solvent, and the leaching rate of chlorogenic acid was used as the main evaluation index, the production process parameters of *Eucommia ulmoides* beverage base slurry were optimized by single factor analysis and Box-Behnken response surface method. According to the obtained extraction parameter data, the internal control index that could be used for actual production monitoring of the quality of beverage bottom slurry was preferred. **Results** The optimal extraction conditions optimized by response surface method were the extraction time of 50 min, the extraction temperature of 86 °C, the solid-liquid ratio of 12: 1(mL: g), and the extraction rate of chlorogenic acid was 13.2017 mg/g under these conditions. The correlation analysis showed that the correlation between chlorogenic acid concentration and soluble solids was extremely significant ($P < 0.01$), but it was not sufficient to construct a reliable linear regression equation. **Conclusion** Temperature, extraction time, and material-liquid ratio are the main parameters that control the preparation quality of *Eucommia ulmoides* beverage base slurry. Soluble solids are suitable as preliminary monitoring indicators in pilot and production, and chlorogenic acid concentration is suitable as fine monitoring indicators for beverage preparation.

KEY WORDS: *Eucommia ulmoides*; response surface method; extracting solution for botanical beverage

基金项目: 陕西理工大学博士后专项基金(SLGQD13-18)、陕西 2011 秦巴生物协同创新中心项目(QBXT-17-2)

Fund: Supported by the Shaanxi University of Technology (SLGQD13-18), the 2011 Collaborative Innovation Center (QBXT-17-2)

*通讯作者: 陈志远, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为农产品种植、加工与分析检测。E-mail: zyswcy@sntu.edu.cn

*Corresponding author: CHEN Zhi-Yuan, Associate Professor, Bio-resources Key Laboratory of Shaanxi Province, Hanzhong 723000, Shaanxi province, China. E-mail: zyswcy@sntu.edu.cn

1 引言

近年来随着碳酸饮料的市场下滑以及人们对健康饮品的追求,植物性功能饮料正成长为新的饮品消费趋势^[1]。杜仲(学名 *Eucommia ulmoides* Oliver),是我国特有的木本植物^[2]。在我国民间有长期食用杜仲叶的历史,如湖南省和河南省等地会将杜仲嫩叶做菜、煮粥、杜仲茶或用杜仲叶汁做面条等。2018 年国家卫健委正式将杜仲叶列入了药食同源目录。陕西略阳是杜仲的原生地、适生区,是杜仲的中心产区,现有种植面积占全国杜仲地存总量的 1/8^[3]。陕西略阳县种植的杜仲已经有相当的规模,将规模化种植的杜仲林转化为当地百姓的经济效益是扶贫攻坚的重要抓手。目前开发的杜仲产品有杜仲胶、杜仲中药、杜仲雄花茶等。但以当前的种植规模来看,加工产品开发不足,种植户收益不高依然是杜仲产业迫在眉睫的问题。保健饮料产业有着广阔的市场空间,而杜仲保健饮料的开发将为完善杜仲产业链,提高杜仲产业收益提供新的途径。

目前植物功能性饮料有 2 种生产模式。(1)使用乙醇、丙酮等有机溶剂为提取溶液,从植物原料中提纯获得功能性成分的粗品,经挥发有机溶剂后制得浸膏形式的粗品,然后以此粗品为主要原料,辅以糖、酸、人工香精等其他口感调节原料与水按一定比例配制而成^[4]。此种生产模式在浸膏制备过程中因为需要使用到酒精、丙酮等有机溶剂,尽管在功能性成分上获得了较大的得率,但散失了植物中天然的香味成分,同时容易残留部分有机溶剂。配制生产的饮料不仅缺乏植物物种特色的香味,同时在消费者的心理上留下了非天然饮品的印象。(2)以安全健康的水为提取溶剂,从植物原料中提取获得液态形式的高浓度饮料底浆,然后以此饮料底浆为原料,辅以糖、酸、香精等其他口感调节原料与水按一定比例稀释配制而成^[5,6]。此种生产模式因为使用水为饮料底浆制备中的提取溶液,保证了饮料的安全性,同时能保留一定的植物物种特色香味成分,是较为安全的植物功能性饮料生产模式。但因为使用的不是最佳的提取溶剂,在功能性成分的得率上有所欠缺,因而在饮料的产出上不如第一种生产模式。

绿原酸是杜仲叶的主要功能性成分^[7],同时也是杜仲

叶苦味的主要贡献者,影响着杜仲保健饮料成品的口感和品质。目前关于以水为提取溶剂提取杜仲叶中的功能性成分研究较少。因此本文以杜仲叶为原料,以杜仲叶中的主要功能性成分绿原酸的得率为监测指标,旨在通过优化提取参数获得杜仲饮料底浆的最佳生产工艺,为后续的中试研究提供参考,同时筛选可以作为杜仲饮料中试及生产过程中用于质量控制的参考指标。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂与仪器

杜仲叶由汉中百盛实业有限公司提供,由公司统一自陕西省汉中市略阳县收购。

绿原酸标准品($C_{16}H_{18}O_9$, 纯度 98%, 陕西乐博生化科技有限公司)。

MARS_XPRESS 微波萃取仪(美国 CEM 公司); FW177 型中草药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司); UV-1750 紫外可见分光光度计(日本岛津仪器公司); MASTER-M 手持式折光仪糖度计(上海勃基仪器仪表有限公司)。

2.2 实验设计与方法

2.2.1 高精度微波萃取仪模拟杜仲饮料底浆中试提取

微波萃取仪具有高精度控温能力,提取温度可以控制在 ± 0.1 °C 范围内。该仪器与常规的微波加热仪不同,不具有设置微波功率的参数,而是直接设置提取温度。本实验中以该仪器模拟杜仲饮料底浆中试提取条件。仪器中可以设置爬升温度时间和达到指定温度后的提取时间。本研究中为了接近中试提取真实环境,固定设置爬升温度为 10 min,下文中述及的提取时间包含了爬升温度时间。如提取温度 80 °C,提取时间 50 min,指的是萃取仪从常温 25 °C 上升到 80 °C 所需时间为 10 min,达到 80 °C 后运行的时间为 40 min,合计提取时间为 50 min。

2.2.2 单因素优化实验设计

杜仲叶水溶剂提取试验按照表 1 设计进行,分别以提取时间、提取温度、液料比、叶片大小 4 个影响因素考察其对饮料底浆中绿原酸浸出率的影响。叶片粉碎在中草药粉碎机中完成。

表 1 杜仲叶提取绿原酸单因素实验设计

Table 1 Single factor experimental design of extracting chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves

因素	水平					
	1	2	3	4	5	6
提取时间/min	10	20	30	40	50	60
提取温度/°C	40	50	60	70	80	90
液料比(mL: g)	8: 1	10: 1	15: 1	20: 1	25: 1	/
叶片大小	粉碎成粉	1 cm ²	2 cm ²	/	/	/

2.2.3 响应面法优化试验设计

根据单因素试验结果,选择提取时间、提取温度、液料比作为响应面法二次优化实验条件的参数。响应面法试验按照表 2 设计进行。

表 2 试验因素及水平编码表
Table 2 Test factors and levels coding table

水平	因素		
	X ₁ 提取时间/min	X ₂ 提取温度/°C	X ₃ 液料比/(mL:g)
-1	30	80	10:1
0	40	90	15:1
1	50	100	20:1

注: 因水的沸点为 100 °C, 所以提取温度设置最高不超过 100 °C。

2.2.4 绿原酸检测方法

绿原酸在 327 nm 附近有最大光吸收, 可以使用紫外可见分光光度计检测。准确称取绿原酸标准品 10.7 mg, 以水定容至 100 mL, 制得 107 μg/mL 的绿原酸标准品母液。分别量取绿原酸母液 0.25、0.50、0.75、1.00、1.25 mL 定容至 10 mL。得到 2.665、5.350、8.025、10.700、13.375 μg/mL 的系列绿原酸标准溶液。使用紫外可见分光光度计在 327 nm 的波长下检测, 得到回归方程。稀释待检样品 200 倍, 同样在 327 nm 的波长下检测样品吸光度, 并由回归方程计算绿原酸浓度, 计算公式如下:

$$\text{绿原酸浸出率} = C * N * V / W * 1000$$

式中, C——测定绿原酸质量浓度, μg/mL; N——稀释倍数, 200; V——提取液的体积, 8 mL; W——杜仲叶的质量, g。

2.2.5 可溶性固形物的测定

使用手持折光仪测定饮料底浆的可溶性固形物。

3 结果与分析

3.1 绿原酸提取单因素实验

3.1.1 提取时间对绿原酸浸出率的影响

提取时间为 10、20、30、40、50、60 min 条件下, 设定提取温度为 80 °C, 液料比(mL/g)为 8:1, 测定提取液中绿原酸浓度, 并计算单位质量杜仲叶中的绿原酸浸出率。

由图 1 可知, 当固定提取温度为 80 °C、液料比为 8:1(mL:g)时, 在一定时间范围内绿原酸浸出率随着提取时间的延长而升高。当时间达到 40 min 时, 绿原酸浸出率达到最大, 继续延长提取时间绿原酸浸出率反而呈下降趋势。原因是绿原酸是不稳定物质, 在高温时间过长, 其降解的速率开始超过提取的速率, 因此随着提取时间的延长绿原酸的含量呈现先增加后减少的趋势。因此, 确定 40 min 为最佳提取时间。

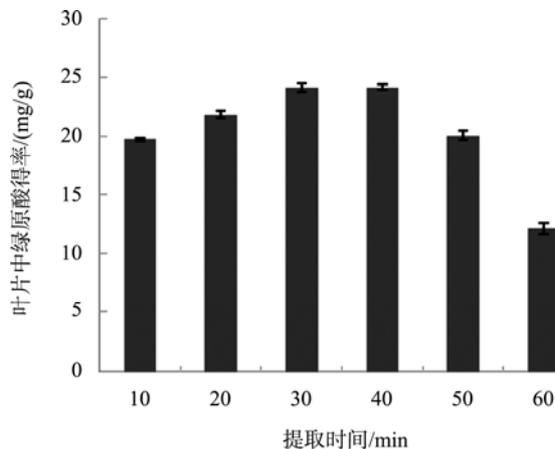


图 1 提取时间对绿原酸浸出率的影响(n=3)

Fig.1 Effect of extraction time on the yield of chlorogenic acid(n=3)

3.1.2 提取温度对绿原酸浸出率的影响

提取温度为 40、50、60、70、80、90 °C 条件下, 设定提取时间为 25 min, 液料比为 8:1(mL:g), 测定提取液中绿原酸浓度, 并计算单位质量杜仲叶中的绿原酸浸出率, 实验结果如图 2。当固定提取时间为 25 min、液料比为 8:1(mL:g)时, 在所设定提取温度范围内绿原酸浸出率呈快速上升趋势, 在 90 °C 时绿原酸浸出率达到最大值。因此可以确定 90 °C 为最佳提取温度。

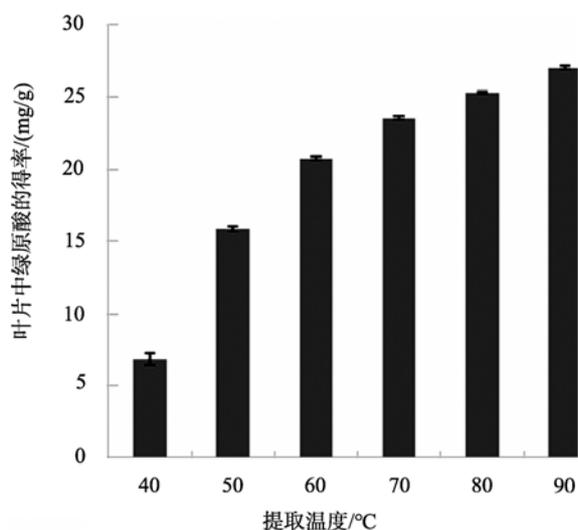


图 2 提取温度对绿原酸浸出率的影响(n=3)

Fig.2 Effect of extraction temperature on the yield of chlorogenic acid(n=3)

3.1.3 液料比对绿原酸浸出率的影响

液料比为 8:1、10:1、15:1、20:1、25:1 条件下, 设定提取时间为 25 min, 提取温度为 80 °C, 测定提取液中绿原酸浓度, 并计算单位质量杜仲叶中的绿原酸浸出率, 实验结果如图 3 所示。当固定提取时间为 25 min、提取温度

为 80 °C 时,在一定液料比范围内绿原酸浸出率不断上升,在液料比为 15:1(mL:g)时绿原酸浸出率达到最高,液料比继续上升浸出率反而呈下降趋势。因此,确定 15:1(mL:g)为最佳液料比。

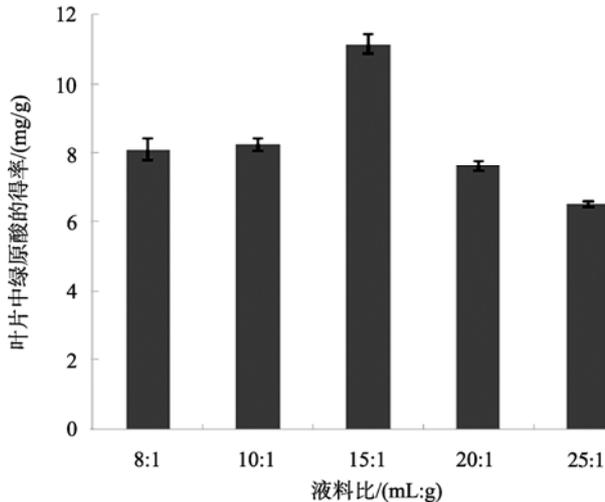


图 3 液料比对绿原酸浸出率的影响($n=3$)

Fig.3 Effect of liquid to material ratio on chlorogenic acid leaching rate($n=3$)

3.1.4 叶片大小对绿原酸浸出率的影响

在叶片大小为粉碎、1 cm²左右、2 cm²左右条件下,设定提取时间为 25 min,提取温度为 80 °C,液料比为 8:1(mL:g),测定提取液中绿原酸浓度,并计算单位质量杜仲叶中的绿原酸浸出率,实验结果如图 4 所示。当固定提取时间为 25 min、提取温度为 80 °C、液料比为 8:1(mL:g)时,绿原酸浸出率随叶面积增加而不断上升,说明叶面积越大越利于绿原酸的提取。

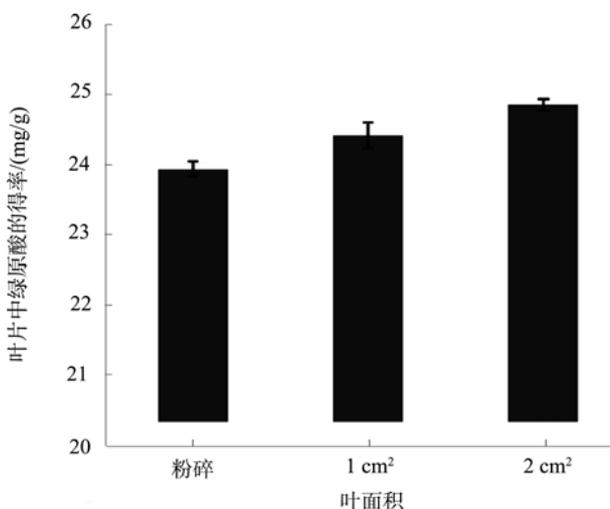


图 4 叶片大小对绿原酸浸出率的影响($n=3$)

Fig.4 Effect of leaf size on chlorogenic acid leaching rate($n=3$)

3.1.5 各单因素极差值数据处理分析

将上述各单因素条件下所得杜仲叶中绿原酸浸出率数据进行整理,如表 3,在本实验中主要影响绿原酸浸出率的因素依次为提取温度 > 提取时间 > 液料比。而叶片大小极差值小于 1,对绿原酸浸出率的影响很小,此外由单因素结果来看,叶片面积越大越利于绿原酸的提取,因此实际生产中对叶片不做剪切和粉碎处理更为合适。因此在响应面实验设计中也只考虑这 3 个因素对绿原酸浸出率的影响。

表 3 各因素极差值的影响
Table 3 Extreme difference of each factor

极值/(mg/g)	温度 /°C	时间 /min	液料比 (mL: g)	叶片大小 /(cm ²)
极大值	27.01	24.17	30.79	24.86
极小值	6.83	12.12	21.51	23.94
极差值	20.17	12.04	9.27	0.92

3.2 响应面法优化提取条件

为了考察提取温度、提取时间、液料比这 3 个影响因素之间的交互作用,根据 Box-Behnken 模型的中心组合试验设计原理,采用三因素三水平的响应曲面分析法,选取提取时间、提取温度、液料比为自变量,分别以 X_1 、 X_2 、 X_3 来表示,并以 1、0、-1 分别代表各自的高中低水平,以绿原酸浸出率为响应值,响应面实验设计见表 2。

以绿原酸干物质含量为响应值经 Design-Expert 8.0.6 分析软件对响应面实验数据(表 4)进行回归拟合分析得到回归方程为: $Y=5.03+1.53X_1+0.044X_2-0.60X_3+1.78X_1X_2-1.01X_1X_3-0.76X_2X_3+2.65X_1^2+1.73X_2^2+0.92X_3^2$ 。

由表 5 方差分析可知,模型 P 值极小($P<0.0001$),方差极显著,该模型可用来预测提取时间、提取温度、液料比对绿原酸浸出率的影响。总决定系数 r^2 定义为目标变化与总变化的比率,是适合度的度量。若 r^2 数值较小,表明模型中因变量的相关性较差,若接近于 1 时,表明模型能很好的拟合实际数据^[1]。本模型总决定系数 $r^2=0.9546$, $r^2_{Adj}=0.9290$,回归模型显著,表明建立的二次多项式回归模型能运用于杜仲叶绿原酸浸出率优化的理论预测。由方程一次项偏回归系数绝对值可知,各因子对绿原酸浸出率影响的主次顺序为:提取时间>液料比>提取温度。方程中 X_1 、 X_1X_2 、 X_1^2 、 X_2^2 的影响极显著($P<0.01$), X_1X_3 的影响显著($P<0.05$),表明其对响应值的影响为非线性关系,且二次项对其也有显著影响;而 X_2 、 X_3 、 X_2X_3 、 X_3^2 影响不显著($P>0.05$)表明其对响应值的影响为线性关系,且二次项对其无显著影响。根据响应面分析得到最优的提取条件为:提取时间 50 min,提取温度为 86 °C,液料比为 12: 1(mL:g),绿原酸预测浸出率为 13.2721 mg/g。我们对最优条件进

行实验验证, 得到绿原酸浸出率为 13.2017 mg/g, 与预测浸出率相差为 0.53%, 表明该方程可用于预测绿原酸的浸出率。

3.3 饮料底浆的绿原酸浓度与可溶性固形物关联性分析

为了考察底浆中绿原酸浓度与可溶性固形物之间的关系, 使用 SPSS 22.0 软件对 75 个底浆样品进行了绿原酸浓度与可溶性固形物指标之间的相关性分析, Pearson 双尾检验结果显示两者的相关性系数为 0.757, 呈极显著水平 ($P < 0.01$), 说明绿原酸浓度与可溶性固形物之间有一定的相关性。散点图和线性回归分析结果如图 5 所示, 其相关性并不足以构建可信的线性回归方程, 回归方程的 r^2 为 0.5737, 线性回归不显著。因此, 将可溶性固形物作为杜仲叶底浆制备过程中的实时监控指标得到的批次底浆, 在配置饮料时必须以绿原酸为质控指标再次进行分析, 以准确确定饮料配制时所需要的底浆配比。

表 4 响应面试验方案及结果

Table 4 Response surface test scheme and results

试验号	X ₁ 提取时间 /min	X ₂ 提取温度 /°C	X ₃ 料液比 (mL: g)	响应值 /(mg/g)
1	-1	1	0	5.467
2	1	0	1	7.2527
3	0	0	0	4.986
4	0	0	0	4.9762

续表 4

试验号	X ₁ 提取时间 /min	X ₂ 提取温度 /°C	X ₃ 料液比 (mL: g)	响应值 /(mg/g)
5	-1	-1	0	9.2666
6	1	-1	0	9.7979
7	0	0	0	5.0392
8	0	0	0	4.8702
9	0	-1	-1	6.5538
10	0	0	0	4.9673
11	0	1	-1	7.1605
12	0	0	0	4.973
13	0	0	0	5.1032
14	1	1	0	13.0998
15	0	0	0	5.0914
16	-1	0	-1	6.0947
17	0	0	0	4.9832
18	0	0	0	4.9734
19	0	0	0	4.981
20	0	0	0	5.183
21	0	1	1	9.5056
22	1	0	-1	10.1392
23	0	-1	1	6.5331
24	0	0	0	5.098
25	-1	0	1	7.2372
26	0	0	0	5.1306

表 5 模型回归系数显著性检验及结果

Table 5 Model regression coefficient significance test and results

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	112.3266	9	12.4807	37.3725	<0.0001	**
X ₁	18.6786	1	18.6786	55.9313	<0.0001	**
X ₂	0.0107	1	0.0107	0.0320	0.8603	
X ₃	2.0437	1	2.0437	6.1198	0.0250	
X ₁ X ₂	12.6078	1	12.6078	37.7530	<0.0001	**
X ₁ X ₃	4.0582	1	4.0582	12.1519	0.0031	*
X ₂ X ₃	1.2502	1	1.2502	3.7437	0.0709	
X ₁ ²	27.2045	1	27.2045	81.4614	<0.0001	**
X ₂ ²	11.5369	1	11.5369	34.5462	<0.0001	**
X ₃ ²	0.0000	1	0.0000	0.0000	0.9960	
残差	5.3433	16	0.3340			
失拟项	2.5011	2	1.2506	6.1601	0.0120	*
纯误差	2.8422	14	0.203011			
总合	117.6699	25				

$$r^2=0.9546 \quad r^2_{\text{Adj}}=0.9290 \quad r^2_{\text{pred}}=0.1490 \quad \text{CV}=8.92\%$$

注: *表示差异显著, $P < 0.05$; **表示差异极显著, $P < 0.01$ 。

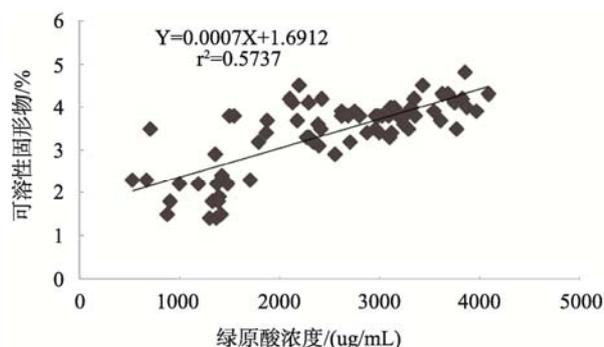


图 5 绿原酸浓度与可溶性固形物关联性分析

Fig.5 Correlation analysis between chlorogenic acid concentration and soluble solids

4 讨论

本研究的目标是优化以水为提取溶剂制备杜仲饮料底浆的生产工艺条件,为中试生产杜仲饮料底浆提供参考依据。杜仲叶的有益化学成分有很多,其中绿原酸是杜仲叶中已知的主要功能性成分之一^[7],同时更是杜仲叶水溶出物产生苦味的主要物质。本文以绿原酸为杜仲饮料底浆的条件优化参数,可以预见的是其他功能性成分的得率必然有所损失。

关于绿原酸的提取条件的优化报道很多,其中主要考虑的优化参数主要有提取溶剂、提取时间、提取温度、原料粒度、料液比等^[8-10]。在提前溶剂方面,文献中常以一定浓度的乙醇为提取溶剂^[8,10],但本研究中因为出于配制健康保健饮品的研发目标,提取溶剂只能选择水为提取溶剂。绿原酸是易氧化物质,过长的提取时间和过高的提取温度容易加速绿原酸的降解,导致得率降低^[11]。提取时间、提取温度、料液比的条件优化情况与文献报道的基本一致,基本范围为提取时间 40~90 min,提取温度 40~90 °C,料液比 8:1~15:1(mL:g),不同的提取溶剂的最终优化条件有所不同^[8-10]。值得注意的是本研究中原料粒径的参数最优条件与文献中报道不同。按照通常的理解,适度范围内提取原料的粒径越小,原料与提取溶剂的接触表面积越大,其提取效率越高。因此一般情况下研究人员普遍采用将叶片干燥打粉后再萃取的工艺^[12-14]。李旭等^[15]对杜仲叶中总黄酮的提取效率符合这样的规律,最佳范围为 80~100 目。然而本文中发现杜仲叶原料粒径越小,其绿原酸的提取效率反而越低。可能的原因一方面绿原酸热稳定性差,在打粉时粉碎机产生高温,氧化了部分绿原酸,同时绿原酸在水提取时也易氧化损耗,粒径越小损耗越大,另一方面也可能是本实验所选的粒径范围有限。裴晓红等^[16]研究显示不同的干制工艺对杜仲叶中的绿原酸有着显著影响,说明了绿原酸的热敏感性。但总体来看,粒径对绿原酸得率的影响较小,在正式生产线中如果考虑粒径,则需要增

加叶片粉碎设备及颗粒传送系统,增加了生产环节和固定资产投入。为了减少生产环节,降低生产成本,实际生产中可不考虑粒径对杜仲底浆制备的影响。

在杜仲饮料底浆制备的中试以及正式生产过程中,每批次生产需要投入大批量的原料,需要有简便易操作的质量控制指标,以实时监测饮料底浆的提取情况。而绿原酸的紫外分光光度检测法依然显得复杂,不适合作为底浆品质的实时监测指标。因此可使用可溶性固形物作为实时监测指标。但本研究结果显示可溶性固形物与绿原酸得率没有明确的函数关系,而绿原酸是影响饮料口感的主要成分。因此在饮料配制前,依然需要以绿原酸作为准确定量指标,确定底浆与其他辅料和水的配比关系。

5 结论

本研究以杜仲叶中主要苦味来源绿原酸的浸出率为考量指标,水为提取溶剂,研究杜仲叶饮料底浆的制备工艺,经单因素试验和响应面试验分析最佳制备条件为提取时间 50 min,提取温度为 86 °C,料液比为 12:1(mL:g),绿原酸预测浸出率为 13.2721 mg/g,此条件下绿原酸实际浸出率为 13.2017 mg/g,与预测浸出率相差为 0.53%。在杜仲叶中试提取过程中,可使用可溶性固形物作为实时监控指标,在饮料配制时可使用绿原酸浓度作为饮料配比定量指标。

参考文献

- [1] Tahmassebi JF, Banihani A. Impact of soft drinks to health and economy: A critical review [J]. *Eur Arch Paediatr Dent*, 2020, 21(1): 109-117.
- [2] 马博,张媛,张达义,等.杜仲的化学成分及其药理作用研究进展[J].*西部中医药*,2013,26(12):153-159.
Ma B, Zhang Y, Zhang DY, et al. Advance at chemical ingredients and pharmacological activity of duzhong [J]. *Western J Chin Med*, 2013, 26(12): 153-159.
- [3] 江海.陕西略阳杜仲叶中绿原酸的含量分析[J].*光谱实验室*,2012,29(2):757-761.
Jiang H. Content analysis of chlorogenic acid in *Eucommia ulmoides* leaves of Shaanxi Lueyang [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2012, 29(2): 757-761.
- [4] 朱向东.天然草本(植物)饮料新品研发与市场趋势的思考[J].*中国食品添加剂*,2012,(5):192-202.
Zhu XD. Thoughts on the research and development of new natural herbal drinks and the market trend [J]. *Chin Food Addit*, 2012, (5): 192-202.
- [5] 邓腾.无糖凉茶植物饮料的研制[J].*食品与机械*,2013,29(4):210-213.
Deng T. Preparation of a sugar free herbal tea [J]. *Food Mach*, 2013, 29(4): 210-213.
- [6] 胡洪森,陈其国.降脂减肥发酵植物饮料的研制[J].*湖北农业科学*,2014,53(17):4154-4157.
Hu HS, Chen QG. Developing fermented plant beverage for reducing weight and fat [J]. *Hubei Agric Sci*, 2014, 53(17): 4154-4157.
- [7] 王茜,李智,何琦,等.杜仲叶中绿原酸提取分离工艺条件的研究[J].*离子交换与吸附*,2008,(1):73-80.

- Wang Q, Li Z, He Q, *et al.* Study on technique of extraction and separation chlorogenic acid from leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. *Chin J React*, 2008, (1): 73–80.
- [8] 聂凌鸿, 岳森. 金银花中绿原酸提取工艺的优化[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(1): 51–55.
- Nie LH, Yue M. Optimum extraction process for chlorogenic acid in *flosloniceræ* [J]. *Food Res Dev*, 2008, 29(1): 51–55.
- [9] 刘志平, 韩伟, 李想. 金银花中绿原酸的微波辅助提取[J]. *华东理工大学学报(自然科学版)*, 2008, (4): 543–546.
- Liu ZP, Han W, Li X. Extraction of chlorogenic acid from *Flos loniceræ* by microwave-assisted extraction [J]. *J East Chin Univ Sci Technol (Nat Sci Ed)*, 2008, (4): 543–546.
- [10] 兰小艳, 黄敏, 张学俊. 杜仲叶中绿原酸醇提法的工艺研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(18): 84–88.
- Lan XY, Huang M, Zhang XJ. Study on the alcohol extraction technology of chlorogenic acid from the leaf of *Eucommia ulmoides* oliv [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, 25(18): 84–88.
- [11] 向灿辉, 罗景, 王文君, 等. 杜仲叶绿原酸抗氧化稳定性研究[J]. *食品科技*, 2013, 38(1): 224–227.
- Xiang CH, Luo J, Wang WJ, *et al.* The stability on the antioxidant capacity of chlorogenic acid extracted from *Eucommia ulmoides* olive leaves [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(1): 224–227.
- [12] 侯伟峰, 郭超, 范云鹏, 等. 响应面法优化杜仲叶提取物的制备工艺[J]. *动物医学进展*, 2016, 37(11): 74–77.
- Hou WF, Guo C, Fan YP, *et al.* Optimization of preparation technics of extract from *Eucommia folia* using response surface methodology [J]. *Prog Vet Med*, 2016, 37(11): 74–77.
- [13] 王翔, 彭胜, 彭密军. 杜仲叶总多酚超声波-微波辅助提取及其抗氧化活性研究[J]. *林产化学与工业*, 2018, 38(5): 85–92.
- Wang X, Peng S, Peng MJ. Extraction of total polyphenols from *Eucommia ulmoides* oliver leaves assisted by ultrasound-microwave and their antioxidant activity [J]. *Chem Ind Forest Prod*, 2018, 38(5): 85–92.
- [14] 邓佑林, 陆婷婷, 杨盼盼, 等. 杜仲叶中京尼平苷的酶法提取工艺研究[J]. *化工技术与开发*, 2019, 48(8): 6–10.
- Deng YL, Lu TT, Yang PP, *et al.* Catalytic synthesis of tributyl citrate with fly ash supported solid acid [J]. *Technol Dev Chem Ind*, 2019, 48(8): 6–10.
- [15] 李旭, 刘停. 杜仲叶总黄酮微波辅助提取工艺的优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2013, (4): 243–248.
- Li X, Liu T. Optimization of microwave-assisted extraction of flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaf and investigation of their antioxidative effect [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, (4): 243–248.
- [16] 裴晓红, 吴仙, 张林鑫, 等. 不同制干工艺对杜仲叶药效成分的影响[J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(5): 95–98.
- Pei XH, Wu X, Zhang LX, *et al.* Effects of different drying methods on medicinal components in leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2017, 45(5): 95–98.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



陈志远, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为农产品种植、加工与分析检测。
E-mail: zyswcz@snut.edu.cn