

梵净山紫苏紫苏醛的提取及其含量分析

谭善财, 袁波, 黄珍, 沈易华, 雷茹淋 (铜仁职业技术学院, 贵州铜仁 554300)

摘要 [目的]利用高效液相色谱测定梵净山4种紫苏(FMPF)茎、叶、果萼和籽4个部位中紫苏醛含量。[方法]在单因素试验结果的基础上,以甲醇为提取剂,紫苏醛提取率为响应值,对料液比、提取时间进行响应面法优化。其他固定条件为超声提取温度35℃,提取1次,频率40 kHz,功率300 W。以最佳条件提取、高效液相色谱测定4种紫苏4个部位中紫苏醛。[结果]最优条件:料液比1:60、提取时间24 min;同一紫苏茎、叶、果萼、籽中紫苏醛含量均有显著差异($P<0.05$),叶>果萼>茎>籽;4种紫苏叶、果萼紫苏醛含量差异显著($P<0.05$);FMPF1(叶阔卵形、两面紫色、边缘锯齿浅)和FMPF4(叶卵形、两面紫色、具狭而深锯齿)紫苏叶中紫苏醛含量分别为7.537和6.139 mg/g,果萼中的含量分别为3.712和3.887 mg/g。[结论]梵净山紫苏(FMPF1、FMPF4)是提取紫苏醛的优质资源,同时提示紫苏醛含量与叶型具有一定的相关性。

关键词 梵净山;紫苏;紫苏醛;不同部位;响应面法

中图分类号 R282 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)08-0174-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.046



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Extraction and Content Analysis of Perillaldehyde of *Perilla frutescens* from Fanjing Mountain

TAN Shan-cai, YUAN Bo, HUANG Zhen et al (Tongren Polytechnic College, Tongren, Guizhou 554300)

Abstract [Objective] The content of perillaldehyde in stems, leaves, fruit calyx and seeds of four kinds of *Perilla frutescens* from Fanjing Mountain (FMPF) was determined by high performance liquid chromatography (HPLC). [Method] Based on the single factor test results, taking methyl alcohol as the extraction solvent, solid-liquid ratio and extraction time were considered for the further optimized using response surface method (RSM) when perillaldehyde content (PAC) was used as response. And other ultrasonic conditions were fixed for extraction temperature 35℃, times of 1, frequency 40 kHz, power 300 W. Perillaldehyde from four parts of *P. frutescens* were extracted under optimal conditions and determined by HPLC. [Result] The optimum conditions were obtained as follows: solid-liquid ratio 1:60, extraction time 24 min. PAC in stems, leaves, fruit calyx and seeds of the same *P. frutescens* were significantly differences ($P<0.05$), leaves>fruit calyx>stems>seeds. PAC in leaves or fruit calyx between 4 kinds of *P. frutescens* also had significant differences ($P<0.05$), and PAC in leaves of FMPF1 (broad ovate, purplish on both sides leaves and its margin is shallow sawtooth) or FMPF4 (ovate, purplish on both sides leaves and its margin is deep sawtooth) were 7.537 and 6.139 mg/g, respectively, and PAC of their fruit calyx is 3.712 and 3.887 mg/g, respectively. [Conclusion] The *P. frutescens* (FMPF1, FMPF4) from Fanjing Mountain is a good resource for extracting perillaldehyde. Simultaneously, it is suggested that there is a correlation between leaf morphology and PAC.

Key words Fanjing Mountain; *Perilla frutescens*; Perillaldehyde; Different parts; Response surface method

紫苏(*Perilla frutescens*)属于唇形科紫苏属一年生草本植物,有1种3变种,分别为紫苏原变种、野生紫苏、耳齿紫苏、回回苏,其叶、茎、籽均可入药^[1-2]。紫苏醛是一种单萜类化合物,是紫苏叶挥发油的主要成分和特征香气成分,广泛地应用于食用香料配方和日用香精配方^[3]。《中国药典》规定:紫苏叶应使用紫苏醛型药材,藿香正气口服液的紫苏叶挥发油中紫苏醛的含量不低于25%;日本药局方规定紫苏叶中紫苏醛的含量不得少于0.08%。现代药理试验表明,紫苏醛具有抗衰老、降血脂、抗炎、抗抑郁、增强免疫、抑菌抗肿瘤等功能^[4-11]。可见,紫苏醛是紫苏叶挥发油中主要的一种活性物质。

梵净山是武陵山脉的主峰,蕴含着丰富的紫苏资源^[12],然而针对贵州梵净山紫苏(FMPF)紫苏醛含量的研究鲜见报道。笔者利用高效液相色谱测定梵净山4种紫苏茎、叶、果萼和籽4个部位紫苏醛的含量,并揭示紫苏醛的含量与紫苏叶型的相关性,为梵净山紫苏资源的利用与开发提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试材。梵净山紫苏(FMPF)由铜仁职业技术学院梁玉

勇教授鉴定。FMPF1:叶阔卵形,先端短尖,基部圆形或阔楔形,上面紫绿,背面紫色,边缘锯齿;FMPF2:叶阔卵形,基部圆形或阔楔形,两面绿色,边缘锯齿;FMPF3:叶卵形,先端长而尖,基部圆形或阔楔形,上面绿,背面紫绿色,边缘具粗锯齿;FMPF4:叶卵形,先端长而尖,基部圆形或阔楔形,上面紫绿,背面紫色,具狭而深锯齿。样品图如图1所示。2017年11月在梵净山收集种子,2018年3月播种于铜仁市漾头镇,12月15日收获,自然晾干茎、叶、果萼、种子。

1.1.2 仪器。Agilent1100高效液相色谱仪(美国安捷伦公司);色谱柱 Agilent 5 TC C₁₈(2) 150 mm×4.6 mm;电子精密分析天平 CPA225D(赛多利斯斯泰迪有限公司);粉碎机 RRHP-100(上海菲力博实业有限公司);旋转蒸发器 RE-52AA(上海亚荣生化仪器厂);超声波清洗机 SB52000(宁波新芝生物科技股份有限公司);超纯水仪 New Human Power I (Human Corporation)。

1.1.3 试剂。紫苏醛对照品(中国食品药品检定研究院,批号:111806-201806,纯度≥95.7%)、甲醇(色谱纯, Tedia Company, Inc.)、超纯水(自制)。

1.2 方法

1.2.1 紫苏醛的测定方法。

1.2.1.1 样品溶液的制备。将紫苏叶(FMPF1)药材粉碎,粉末过40目,精密称定1.0 g,置具塞锥形瓶中,加入甲醇

基金项目 铜仁市科技局科学计划项目(铜市科研[2017]24号)。

作者简介 谭善财(1976—),男,湖南怀化人,副教授,博士,从事药用植物研究。

收稿日期 2019-02-23;修回日期 2019-03-12

40 mL,于 35 ℃ 水浴中超声提取 10 min(频率 40 kHz, 功率 300 W),提取液过滤,滤液旋干,甲醇定容至 10 mL。

1.2.1.2 色谱条件。色谱柱为 Agilent 5 TC C₁₈(2) 150 mm×4.6 mm,流动相为甲醇:水(78:22),流速 1.0 mL/min,检测波长 230 nm,柱温 25 ℃,进样量 20 μL。

1.2.1.3 标准曲线的绘制。精密移取 200 μL 紫苏醛对照品,

用甲醇定容至 10 mL,得到 20 μL/mL 紫苏醛对照品储备液(紫苏醛密度为 0.96 g/mL)。精密吸取 3、6、12、24、48、96、192 μL 紫苏醛对照品储备液,分别置于 10 mL 容量瓶中,甲醇定容至刻度。按“1.2.1.2”色谱条件测定紫苏醛的含量,以对照品紫苏醛的质量浓度 $X(\mu\text{g/mL})$ 和峰面积 Y 绘制回归曲线。

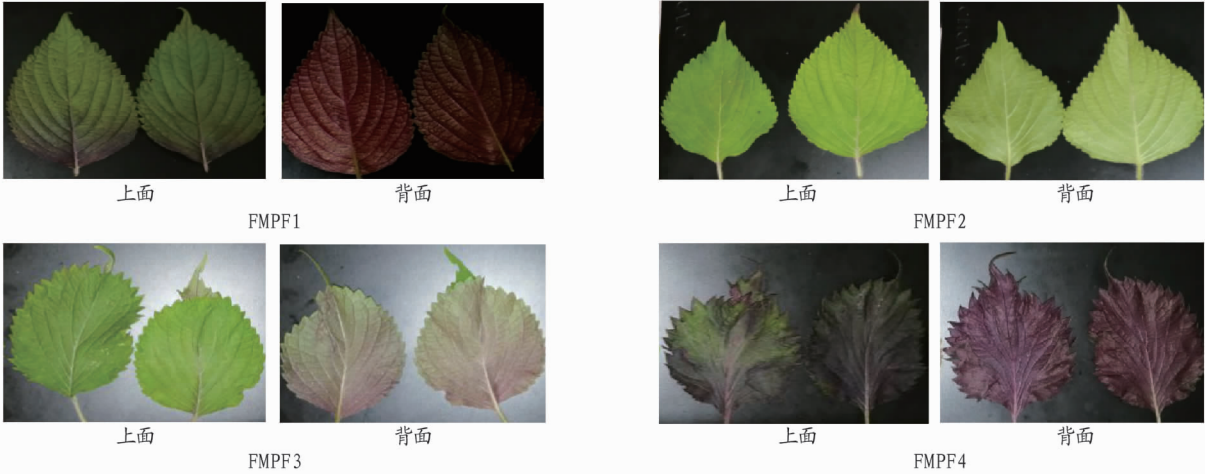


图 1 梵净山 4 种不同紫苏叶外部形态的比较

Fig.1 Comparisons of the external morphology of 4 kinds of *P.frutescens* leaves from Fanjin Mountain

1.2.1.4 精密度。同一对照品溶液,连续进样 6 次,记录紫苏醛峰面积。

1.2.1.5 稳定性。同一紫苏样品溶液,在 2、4、8、16、24、48 h 记录紫苏醛峰面积。

1.2.1.6 回收率。向 5 个 1.0 mL 已知浓度的样品溶液分别加入 3、6、12、24、48 μL 对照品储备液,测定加样回收率。

1.2.2 单因素试验。

1.2.2.1 提取温度对紫苏醛提取率的影响。称取 4 份 0.5 g 紫苏叶,以料液比 1:60($m:V$) 加入甲醇溶液,分别在 25、35、45 和 55 ℃ 的条件下,以频率 40 kHz、功率 300 W 超声提取 10 min,提取液过滤后浓缩旋干,用甲醇定容至 10 mL。

1.2.2.2 料液比对紫苏醛提取率的影响。称取 4 份 0.5 g 紫苏叶,分别以料液比 1:40、1:60、1:80、1:100 加入甲醇溶液,以温度 35 ℃、频率 40 kHz、功率 300 W 超声提取 10 min,提取液过滤后浓缩旋干,用甲醇定容至 10 mL。

1.2.2.3 提取时间对紫苏醛提取率的影响。称取 4 份 0.5 g 紫苏叶,以料液比 1:60 加入甲醇溶液,以温度 35 ℃、频率 40 kHz、功率 300 W 超声分别提取 5、10、15、20 min,提取液过滤后浓缩旋干,用甲醇定容至 10 mL。

1.2.2.4 提取次数对紫苏醛提取率的影响。称取一份 0.5 g 紫苏叶,以料液比 1:60 加入甲醇溶液,以温度 35 ℃、频率 40 kHz、功率 300 W 超声提取 3 次,每次 10 min,提取液过滤后浓缩旋干,用甲醇定容至 10 mL。

1.2.3 响应面优化设计。在单因素试验结果的基础上,选出对紫苏醛提取效果影响较大的 2 个因素进行响应面优化。其他条件固定为提取次数 1 次、温度 35 ℃、频率 40 kHz、功率 300 W。采用两因素三水平的中心组合设计(central com-

posite design, CCD), 如表 1 所示。以紫苏醛提取率为响应值,利用 Design-Expent 8.0 软件进行数据分析,得出紫苏醛的最优提取条件,并对其进行验证。

表 1 响应面试验设计中的因素及其水平

Table 1 Factors and levels in response surface test design

编码水平 Coding level	A(料液比 Solid-liquid ratio)	B(提取时间 Extraction time//min)
-1.414	1:31.7	7.93
-1	1:40	10
0	1:60	15
1	1:80	20
1.414	1:88.28	22.07

1.2.4 4 种紫苏及其不同部位紫苏醛含量的比较。采用响应面优化分析得到的以紫苏醛提取率为响应值的最佳提取条件,对 4 种紫苏(FMPF1、FMPF2、FMPF3、FMPF4)茎、叶、果萼和籽 4 个部位中紫苏醛进行提取,并采用“1.2.1.2”HPLC 色谱分析方法对紫苏醛进行含量测定。

1.2.5 不同生长时期紫苏叶中紫苏醛含量的变化。以最佳的提取条件对 4 种紫苏 3 个不同生长时期的叶中紫苏醛含量进行测定。营养生长期,茎叶生长旺盛,简称营养期,于 8 月 17 日采集;开花期,于 10 月 15 日采集;果熟期,叶片开始发黄并脱落,于 12 月 15 日采集。

1.3 数据处理 利用 Design-Expert 8.0 软件对紫苏醛提取率进行多元回归拟合分析,不同紫苏中紫苏醛组间显著差异分析采用软件 SPSS 15.0 进行。

2 结果与分析

2.1 样品溶液中紫苏醛的确定 基于“1.2.1.2”HPLC 色谱

条件,对比紫苏醛对照品和紫苏叶样品溶液色谱峰的保留时间(图 2)可知,紫苏醛的保留时间为 6.023 min。该试验流动相为甲醇:水=78:22,流速 1.0 mL/min,与文献[13] 乙腈水(体积比 75:25,流速 0.5 mL/min,紫苏醛保留时间为

6.576 min)、文献[14] 甲醇水(体积比 72:28,流速 1.3 mL/min,紫苏醛保留时间为 13.10 min,)做流动相比,该方法快速、成本低、毒性小。

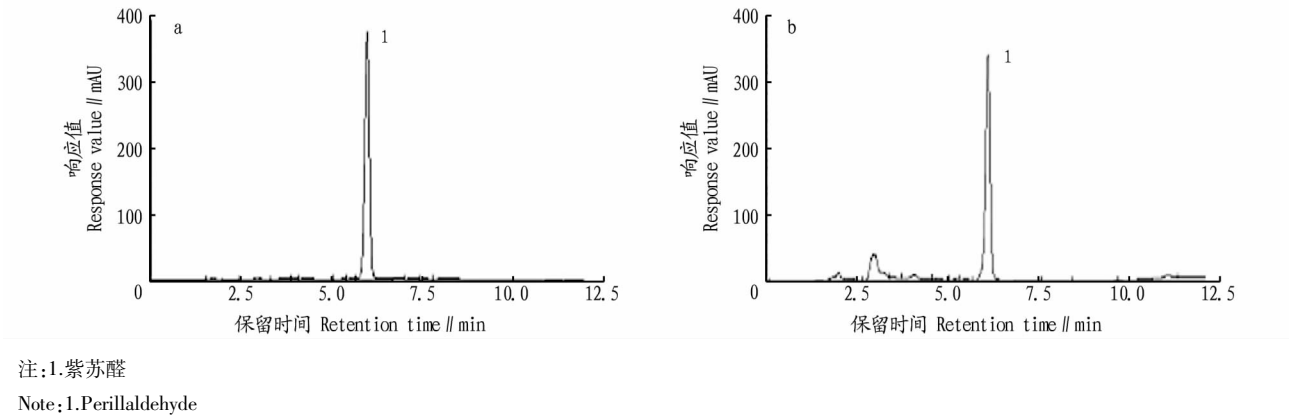


图 2 紫苏醛对照品(a)和紫苏叶样品(b)HPLC 色谱图(λ=230 nm)

Fig.2 HPLC chromatograms of perillaldehyde reference (a) and *P. frutescens* leaf sample (b) (λ=230 nm)

2.2 紫苏叶中紫苏醛提取条件的优化

2.2.1 标准曲线绘制。以紫苏醛对照品的质量浓度 X ($\mu\text{g/mL}$)为横坐标、峰面积 Y 为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程: $Y=36.181X-8.1209(R^2=0.9997, n=7)$,表明浓度在 5.76~368.64 $\mu\text{g/mL}$ 线性关系良好。

2.2.2 方法学考察。精密吸取对照品溶液,连续进样 6 次,紫苏醛峰面积 RSD 为 0.79%,可见仪器精密度高;同一样品溶液,分别于 2、4、8、16、24、48 h 测定,紫苏醛峰面积 RSD 为 1.07%,表明样品溶液在 48 h 内稳定性良好;向 5 个 1.0 mL 已知浓度的样品溶液分别加入 3、6、12、24、48 μL 对照品储备液,测得平均回收率为 99.74%,RSD 为 1.05%。

2.2.3 单因素试验。参照《中国药典》(2015 版),选择甲醇为提取剂,超声辅助提取,考察提取温度、提取时间、料液比、提取次数 4 个因素对紫苏醛提取率的影响。如图 3 所示,当温度从 25 $^{\circ}\text{C}$ 上升至 35 $^{\circ}\text{C}$ 时,紫苏醛的提取率明显增加,在 35~55 $^{\circ}\text{C}$,提取率没有明显变化,考虑节省成本,设定温度为 35 $^{\circ}\text{C}$;在提取时间 5~15 min,提取率不断增加,随着时间的延长,提取率变化不明显;料液比对紫苏醛提取的作用,与提取时间对提取率的影响有类似的变化规律;随着提取次数的增加,提取率显著下降,第 1 次提取紫苏醛得率为 95.31%,因此选择提取 1 次。

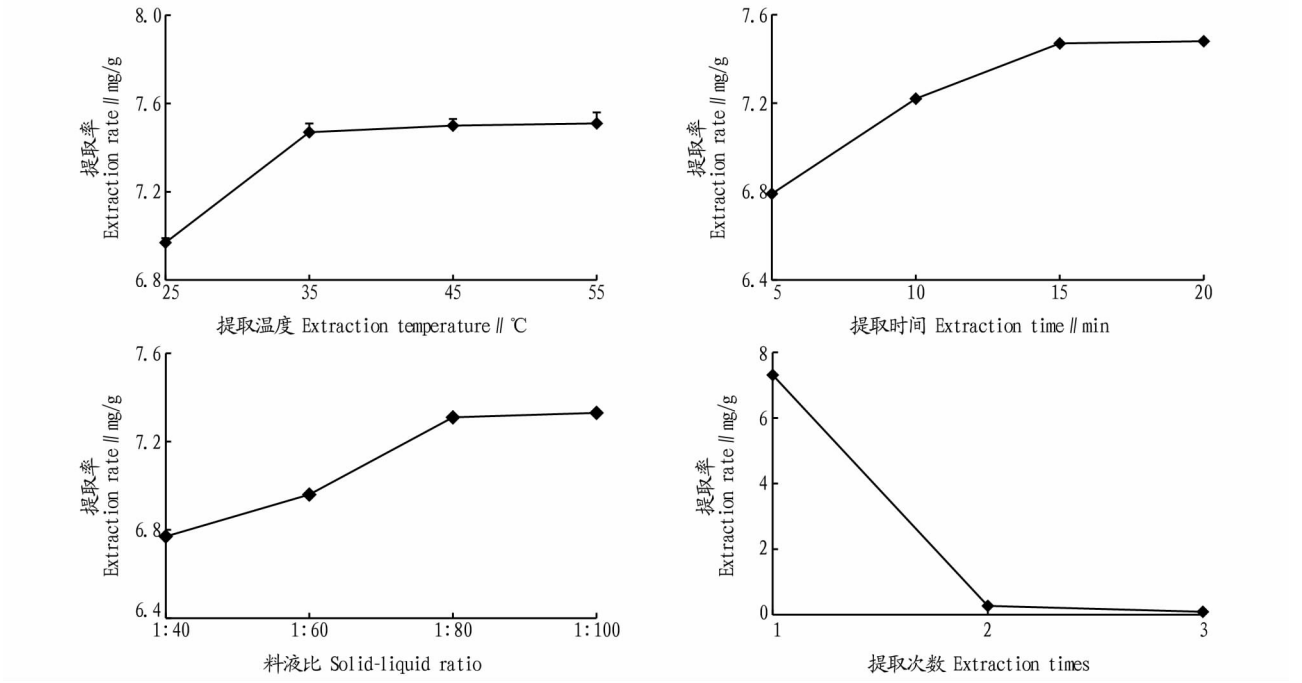


图 3 提取温度、提取时间、料液比和提取次数对紫苏醛提取率的影响

Fig.3 Effect of extraction temperature,extraction time,solid-liquid ratio and extraction times on extraction rate of perillaldehyde

试验结果表明,提取温度在 35~55 ℃ 对紫苏醛提取率影响不大,第 1 次提取得率为 95.31%,所以确定提取温度为 35 ℃,提取次数为 1 次。料液比和提取时间对紫苏醛提取率有较大的影响,因此确定料液比和提取时间 2 个单因素为响应分析待优化因素。

2.2.4 提取条件优化。利用 CCD 设计法,以料液比(A)和提取时间(B)2 个单因素为待优化因素,进行响应面优化设计,方案与结果如表 2 所示。

表 2 响应面优化设计试验方案和测定结果
Table 2 Test plan and measurement results of response surface optimization design

序号 No.	A(料液比 Solid-liquid ratio)	B(提取时间 Extraction time//min)	紫苏醛提取率 Extraction rate of perillaldehde//mg/g
1	1:60	22.07	7.488
2	1:60	15	7.249
3	1:88.28	15	7.155
4	1:60	15	7.300
5	1:40	20	7.254
6	1:60	15	7.224
7	1:60	15	7.218
8	1:80	20	7.516
9	1:60	15	7.266
10	1:60	7.93	6.959
11	1:40	10	7.132
12	1:31.72	15	7.181
13	1:80	10	7.063

利用 Design-Expert 8.0 软件对表 2 中紫苏醛提取率数据进行多元回归拟合分析,得出二次回归方程为 $Y=7.15-2.34\times10^{-3}A-0.013B+8.28\times10^{-4}AB-7.58\times10^{-5}A^2-1.03\times10^{-4}B^2$ 。方程方差分析结果表明,该模型具有显著性($P<0.01$),且失拟项不显著($P=0.095\ 0$),说明该模型适宜;决定系数 $R^2=0.931\ 1$,表明方程相关性良好;变异系数为 0.72%,说明试验操作稳定,模拟方程能较好地反映真实的试验值。B、AB 两项 $P<0.05$,说明提取时间、提取时间和料液比的交互作用对紫苏醛提取有显著的影响。

图 4 是根据回归方程绘出的以紫苏醛为响应值、提取时间和料液比对紫苏醛提取效率影响的响应曲面。通过分析,紫苏醛提取的最佳条件是:料液比 1:57.9,提取时间 23.6 min,在此条件下,提取率可达 7.511 mg/g。根据实际情况,以料液比 1:60、提取时间 24 min,其他条件与优化设计方案中一致,平均提取 3 次,对预测结果进行验证,试验值达 7.517 mg/g,与响应面优化得到的方程理论预测值相吻合。

从单因素试验和响应面优化设计的结果可以得出,以甲醇为提取剂,紫苏醛提取率为响应值,超声(频率 40 kHz,功率 300 W)辅助提取的最佳条件为提取温度 35 ℃、时间 24 min、料液比 1:60、提取 1 次。

2.3 4 种紫苏及其不同部位紫苏醛含量的比较 采用响应面优化得到的最佳提取条件,对 4 种紫苏(FMPF1、FMPF2、FMPF3、FMPF4)茎、叶、果萼和籽 4 个部位中紫苏醛进行提

取。结果表明(表 3),同一紫苏茎、叶、果萼、籽中紫苏醛含量均有显著差异($P<0.05$),且叶>果萼>茎>籽,主要集中在叶和果萼中,籽中含量极少;4 种紫苏叶、果萼的紫苏醛含量差异显著($P<0.05$),FMPF1、FMPF4 紫苏叶中紫苏醛含量分别为 7.537 和 6.139 mg/g,果萼中的含量分别为 3.712 和 3.887 mg/g。因此,仅从紫苏醛的含量用药来考虑,可凭紫苏叶的外部形态来判断,FMPF1 和 FMPF4 最佳,FMPF2、FMPF3 次之;用药部位选择叶最理想,果萼次之。

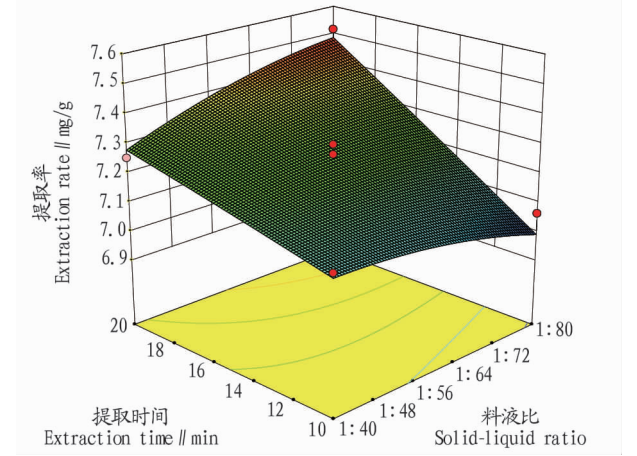


图 4 以紫苏醛提取率为响应值的响应曲面
Fig.4 Response surface with response rate of perillaldehde

魏长玲等^[15]对河南、河北、重庆、安徽、四川、甘肃等国内紫苏主产地区 43 份样品叶中紫苏醛检测显示,其中 21 份没有检测到紫苏醛;张琛武^[16]对 38 份样品叶中紫苏醛进行检测,仅 4 份样品检测到紫苏醛,同时对 9 种含紫苏醛的紫苏叶检测显示,各种质的紫苏醛平均含量在 0.5~3.0 mg/g,最高含量为 6.6 mg/g;耿裕徽等^[13]利用不同方法提取河北承德紫苏叶中紫苏醛,检测结果紫苏醛最高含量为 3.89 mg/g。该研究显示梵净山紫苏叶中紫苏醛平均含量在 1.848~7.537 mg/g,果萼中平均含量在 0.554~3.887 mg/g。可见梵净山紫苏(FMPF1、FMPF4)是紫苏醛提取的优质资源,同时提示紫苏醛含量与叶型具有一定的相关性。

2.4 不同生长时期紫苏叶中紫苏醛含量的变化 对 4 种紫苏营养期、开花期和果熟期 3 个不同生长时期的叶中紫苏醛含量测定如表 4 所示,同一紫苏不同生长时期的叶中紫苏醛含量均有显著性差异($P<0.05$),变化规律为开花期>营养期>果熟期。因此,仅从紫苏醛的含量用药来考虑,选择开花期前后采摘紫苏叶为最佳时期,同时提示果熟期的老叶也具有较高的药用价值。

3 结论

该研究建立了高效液相色谱快速检测紫苏中紫苏醛的方法,流动相为甲醇:水=78:22,流速为 1.0 mL/min,柱温 25 ℃,进样量 20 μL,紫苏醛的保留时间为 6 min 左右,与文献[13-14]报道的相比,该方法快速、成本低、毒性小。

在单因素试验结果的基础上,以甲醇为提取剂,紫苏醛提取率为响应值,对紫苏醛提取率影响较大的料液比、提取时间进行响应面法优化,采用两因素三水平的 CCD 设计,其

他条件固定为超声提取温度 35 ℃、提取 1 次、频率 40 kHz、功率 300 W,最优条件为料液比 1:60、提取时间 24 min,试验

表 3 4 种紫苏不同部位紫苏醛含量比较分析

Table 3 Comparative analysis of the perillaldehyde content in different parts of 4 kinds of <i>P.frutescens</i>				mg/g
种类 Kind	茎 Stem	叶 Leaf	果萼 Fruit calyx	籽 Seed
FMPF1	0.384±0.004 Cc	7.537±0.011 Aa	3.712±0.009 Bb	0.045±0.002 Db
FMPF2	0.416±0.002 Cb	2.139±0.017 Ac	0.554±0.007 Bd	—
FMPF3	0.240±0.008 Cd	1.848±0.013 Ad	0.688±0.011 Bc	—
FMPF4	0.581±0.009 Ca	6.139±0.003 Ab	3.887±0.005 Ba	0.061±0.005 Da

注:“—”表示紫苏醛的含量小于 0.01 mg/g。大写字母表示同一行中同一来源不同部位间紫苏醛含量差异显著($P<0.05$),小写字母代表同一列中不同来源同一部位间紫苏醛含量差异显著($P<0.05$)
Note:“—” indicates that the perillaldehyde content is less than 0.01 mg/g.Uppercase letters indicate significant differences in perillaldehyde content between different parts of the same source in the same row ($P<0.05$),lowercase letters represent significant differences in perillaldehyde content between the same parts of different sources in the same column ($P<0.05$)

表 4 紫苏叶不同生长时期紫苏醛含量的变化

Table 4 Changes of perillaldehyde content in different growth stages of <i>P.frutescens</i> leaves				mg/g
生长时期 Growth period	FMPF1	FMPF2	FMPF3	FMPF4
营养期 Nutrition period	6.885±0.018 b	1.988±0.003 b	1.623±0.003 b	5.741±0.014 b
开花期 Flowering period	7.482±0.025 a	2.114±0.009 a	1.803±0.005 a	6.111±0.018 a
过熟期 Overripe period	6.331±0.021 c	1.531±0.005 c	1.431±0.006 c	5.322±0.022 c

注:小写字母代表同一紫苏不同生长时期间紫苏醛含量差异显著($P<0.05$)
Note:The lowercase letters represent a significant difference in the perillaldehyde content during the different growth periods of the same *P.frutescens*($P<0.05$)

对梵净山 4 种紫苏(FMPF1、FMPF2、FMPF3、FMPF4)茎、叶、果萼和籽 4 个部位中紫苏醛检测结果显示,同一紫苏茎、叶、果萼、籽中紫苏醛含量均有显著差异($P<0.05$),主要集中在叶和果萼中;4 种紫苏叶、果萼的紫苏醛含量差异显著($P<0.05$),FMPF1、FMPF4 紫苏叶中紫苏醛含量分别为 7.537 和 6.139 mg/g,果萼中的含量分别为 3.712、3.887 mg/g。与文献报道相比^[13,15-16],梵净山紫苏(FMPF1、FMPF4)是紫苏醛提取的优质资源。仅从紫苏醛的含量用药来考虑,紫苏醛含量与叶型具有一定的相关性,可凭紫苏叶的外部形态来判断,其变化规律为 FMPF1>FMPF4>FMPF2>FMPF3;用药部位选择叶最理想,果萼次之;同时选择开花期前后采摘紫苏叶为最佳时期。这一结果为梵净山紫苏资源利用与开发提供了科学的理论依据。

参考文献

[1] 中国科学院《中国植物志》编委会.中国植物志:第 66 卷[M].北京:科学出版社,1977:282-287.
[2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:2015 版第一部[S].北京:中国医药科技出版社,2015:338-339.
[3] 伍富童,秦少容,刘世琪.紫苏叶油的研究进展[J].时珍国医国药,2007,18(8):2019-2020.
[4] OMARI-SIAW E,WANG Q L,SUN C Y,et al.Tissue distribution and enhanced *in vivo* anti-hyperlipidemic-antioxidant effects of perillaldehyde-loaded liposomal nanoformulation against Poloxamer 407-induced hyperlipidemia[J].International journal of pharmaceutics,2016,513(1/2):68-77.

[5] ZHU J X,HU W Q,DONG S Q,et al.Hippocampal BDNF signaling is required for the antidepressant effects of perillaldehyde[J].Pharmacological reports,2019-01-16[2019-01-11].https://doi.org/10.1016/j.pharep.2019.01.009.
[6] 周美玲.紫苏挥发油及其主要成分紫苏醛和柠檬烯对小鼠生长和免疫功能的影响[D].扬州:扬州大学,2014.
[7] XU L X,LI Y B,FU Q,et al.Perillaldehyde attenuates cerebral ischemia-reperfusion injury-triggered overexpression of inflammatory cytokines via modulating Akt/JNK pathway in the rat brain cortex[J].Biochem Biophys Res Commun,2014,454(1):65-70.
[8] 张嫚.紫苏醛对甘薯采后黑斑病的防治及其病原真菌的作用机制[D].徐州:江苏师范大学,2018.
[9] 石程仁,张初署,杜咏梅,等.不同植物抑制剂对黄曲霉菌生长和产毒的影响[J].食品安全质量检测学报,2017,8(8):2892-2897.
[10] TIAN J,WANG Y Z,ZENG H,et al.Efficacy and possible mechanisms of perillaldehyde in control of *Aspergillus niger* causing grape decay[J].International journal of food microbiology,2015,202:27-34.
[11] ELEGBEDE J A,FLORES R,WANG R C.Perillyl alcohol and perillaldehyde induced cell cycle arrest and cell death in BroTo and A549 cells cultured in vitro[J].Life sciences,2003,73(22):2831-2840.
[12] 何顺志,徐文芬.贵州中草药资源研究[M].贵阳:贵州科技出版社,2007:281-282.
[13] 耿榕徽,杨宇杰,胡春兰,等.紫苏叶中紫苏醛的提取与含量测定[J].中国当代医药,2014,21(7):4-7.
[14] TAO L H,PEREIRA M A.Quantification of carvone,cineole,perillaldehyde,perillyl alcohol and sobrerol by isocratic high-performance liquid chromatography[J].Journal of chromatography A,1998,793(1):71-76.
[15] 魏长玲,郭宝林,张琛武,等.中国紫苏资源调查和紫苏叶挥发油化学型研究[J].中国中药杂志,2016,41(10):1823-1834.
[16] 张琛武.紫苏醛型紫苏种质筛选及紫苏醛含量变化规律研究[D].太原:山西医科大学,2017.